

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХІД ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.72

Неізнестна Н.В., канд. техн. наук, Красильнікова О.В., канд. техн. наук

РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КІЛЬЦЕВИХ РОЗВ'ЯЗОК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З УРАХУВАННЯМ КОЕФІЦІЄНТА ПОДОВЖНЬОГО ЗЧЕПЛЕННЯ

Анотація. У статті представлена залежність, яка показує вплив зміни коефіцієнта подовжнього зчеплення на пропускну здатність кільцевої розв'язки автомобільних доріг на одному рівні.

Ключеві слова: кільцева розв'язка автомобільних доріг на одному рівні, мінімальний інтервал часу при проїзді розв'язки, пропускна здатність руху, коефіцієнт подовжнього зчеплення, динамічний габарит.

Аннотация. В статье представлена зависимость, которая показывает влияние изменения коэффициента продольного сцепления на пропускную способность кольцевой развязки автомобильных дорог на одном уровне.

Ключевые слова: кольцевая развязка автомобильных дорог на одном уровне, минимальный интервал времени при проезде развязки, пропускная способность движения, коэффициент продольного сцепления, динамический габарит.

Annotation. Dependency that shows the effect of changing the longitudinal coupling coefficient on the carrying capacity of road circular interchange at one level is presented in the article.

Key words: road circular interchange at one level, minimum time interval at interchange passage, traffic carrying capacity, longitudinal coupling coefficient, dynamic size.

Постановка проблеми

Ефективність функціонування кільцевої розв'язки автомобільних доріг на одному рівні може характеризуватися пропускною здатністю. Існуючі методики розрахунку практичної пропускної здатності не враховують, як змінюється динамічний габарит між автомобілями в залежності від зміни коефіцієнту подовжнього зчеплення, що впливає на величину пропускної здатності. Дані обставини обумовлюють необхідність в розробці залежності практичної пропускної здатності з урахуванням величини коефіцієнта зчеплення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розв'язанням даної проблеми займалися: Бабков В.Ф., Лобанов Є.М., Сільянов В.В., Поліщук В.П., Красильнікова О.В. та інші.

Задача дослідження полягає в розробці залежності мінімального інтервалу часу між автомобілями на основі дослідження Красильніковою О.В. величини динамічного габариту в залежності від коефіцієнта подовжнього зчеплення, на основі якої розраховувати практичну пропускну здатність кільцевої розв'язки автомобільних доріг на одному рівні.

Основний матеріал дослідження. Пропускна здатність кільцевої розв'язки – гранично допустима інтенсивність руху на всіх її в'їздах.

При проектуванні кільцевих розв'язок автомобільних доріг на одному рівні необхідно визначити гранично допустиму інтенсивність на смугах руху на кільцевому проїзді, а потім порівняти її з перспективною інтенсивністю руху на розв'язці та встановити границі дозволеної інтенсивності руху на в'їздах на розв'язку.

Сумарна інтенсивність руху на всіх в'їздах на кільцевий проїзд не повинна перевищувати гранично допустиму інтенсивність руху на кільцевому проїзді.

$$\sum_{i=1}^n N_{ni\delta i\gamma\delta i} \leq P. \quad (1)$$

де $\sum_{i=1}^n N_{ni\delta i\gamma\delta i}$ – сумарна інтенсивність руху автомобілів на всіх в'їздах до кільцевої розв'язки, авт/год;

P – практична пропускна здатність кільцевої розв’язки автомобільних доріг на одному рівні, авт/год ($P = N_{max}$, де N_{max} – максимально допустима інтенсивність руху на кільцевій розв’язці):

$$P = N_{max} = \frac{3600}{T_{осн}}, \quad (2)$$

де $T_{осн}$ – мінімальний інтервал часу при проїзді кільцевої розв’язки в одному рівні, с.

Зменшення коефіцієнта подовжнього зчеплення впливає на збільшення динамічного габариту між автомобілями, а це спричиняє зменшення пропускної здатності розв’язки. На зменшення коефіцієнта подовжнього зчеплення впливають такі фактори як зношування шорсткості покриття, наявність на покритті бруду, вологи та продуктів зносу шин. Зі збільшенням швидкості руху автомобіля, також знижується коефіцієнт зчеплення, що особливо відчутно на зволожених покриттях. Значення коефіцієнта зчеплення суттєво змінюється протягом року, підвищуючись влітку і зменшуючись взимку, особливо в період зимових ожеледиць.

Для зони примикань і пересічень на одному рівні подовжній коефіцієнт зчеплення повинен бути $\varphi_{nod} \leq 0,6$, що є характерним для умов сухого чистого покриття.

Величина динамічного габариту, яка залежить від коефіцієнта подовжнього зчеплення визначається за формулами:

- для легкових автомобілів з середньою довжиною $\bar{L} = 5$ м:

$$D = 0,102\bar{V}^{\overline{(1,52-0,109\varphi)}} + (29,15\varphi^2 - 34,95\varphi + 11,27), \quad (3)$$

де D – динамічний габарит, м;

$\bar{V}$ – середня швидкість руху транспортного потоку, м/с;

φ – коефіцієнт подовжнього зчеплення.

- для вантажних автомобілів з середньою довжиною $\bar{L} = 7$ м:

$$D = 0,103\bar{V}^{\overline{(1,67-0,21\varphi)}} + (6,07^2 - 14,13\varphi + 8,68). \quad (4)$$

- для вантажних автомобілів з середньою довжиною $\bar{L} = 10$ м:

$$D = 0,105\bar{V}^{\overline{(1,76-0,24\varphi)}} + (12,86^2 - 21,07\varphi + 10,57). \quad (5)$$

- для автобусів та автопоїздів з середньою довжиною $\bar{L} = 12$ м:

$$D = 0,107\bar{V}^{\overline{(1,75-0,16\varphi)}} + (17,26^2 - 27,58\varphi + 12,73). \quad (6)$$

Динамічний габарит згідно встановленої залежності «інтервал – швидкість» Неізнаною Н.В., що відповідає коефіцієнту подовжнього зчеплення $\varphi_{\text{под}} = 0,6$:

$$D = \frac{V(L_a + 1)(0,003V^2 - 0,015V + 0,61)}{3,6}, \quad (7)$$

де L_a – середня довжина автомобіля в транспортному потоці, м:

$$L_a = l_{\text{лег}} \cdot a + l_{\text{ван}} \cdot в + l_{\text{авт}} \cdot с + l_{\text{ан}} \cdot \partial, \quad (8)$$

де $l_{\text{лег}}, l_{\text{ван}}, l_{\text{авт}}, l_{\text{ан}}$ – відповідно довжина легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів, м;

$a, в, с, \partial$ – відповідно частка легкових, вантажних автомобілів, автобусів та авто потягів в транспортному потоці.

При порівнянні значень динамічного габариту для різних довжин автомобілів в транспортного потоці згідно залежностей, величини динамічного габариту від коефіцієнта зчеплення та функціональної залежності «інтервал – швидкість» в транспортному потоці кільцевої розв’язки автомобільних доріг на одному рівні, що відповідають коефіцієнту подовжнього зчеплення $\varphi_{\text{под}} = 0,6$ було встановлено, що розбіжність між даними залежностями не перевищує 2%.

Після аналізу відношення $\frac{D}{D_{0,6}}$ – динамічного габариту при різних коефіцієнтах зчеплення до динамічного габариту при коефіцієнті зчеплення $\varphi_{\text{под}} = 0,6$ встановлений динамічний габарит, який враховує вплив коефіцієнта зчеплення:

$$D = \frac{1,6e^{-0,8\varphi} V(L_a + 1)(0,0003V^2 - 0,015V + 0,61)}{3,6}. \quad (9)$$

Отже, інтервал слідування при різних значеннях коефіцієнту зчеплення визначається за формулою:

$$t_{\text{min}} = 1,6e^{-0,8\varphi} (L_a + 1)(0,003V - 0,015V + 0,61). \quad (10)$$

Для визначення величини практичної пропускної здатності необхідно встановити динамічний габарит, який відповідає фактичній швидкості руху та коефіцієнту подовжнього зчеплення (формула (8)) на розв'язці.

При необхідності визначення величини максимальної пропускної здатності на кільцевій розв'язці на одному рівні використовується наступна формула:

$$P_{\max} = \frac{3600V_0}{D_0} . \quad (11)$$

де D_0 – динамічний габарит, який відповідає швидкості руху при пропускній здатності $V_0 = 25$ км/год, м.

Аналізуючи дану формулу з використанням залежностей зміни величини динамічного габариту від коефіцієнта подовжнього зчеплення встановлена залежність зміни величини максимальної пропускної здатності від середньої довжини автомобіля в транспортному потоці:

$$P_{\max} = (4025,7 - 209,52l_a)e^{(1,079-0,0321l_a)\varphi} . \quad (12)$$

Для підвищення пропускної здатності при зменшенні коефіцієнта зчеплення необхідно встановити обмеження швидкості руху на розв'язці.

Висновок

Встановлена залежність зміни мінімального інтервалу часу між автомобілями при різних коефіцієнтах подовжнього зчеплення (формула (10)), яка дає можливість прогнозувати виникнення черг та зменшення пропускної здатності на кільцевій розв'язці автомобільних доріг на одному рівні.

Література

1. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / Сильянов В.В. – М.: Транспорт, 1977. – С. 97 – 118, 276 – 282.
2. Поліщук В.П., Красильнікова О.В. Дослідження умов безпеки руху щільних транспортних потоків // Автошляховик України. – 1995. – №1. – С.33.
3. Неизвестна Н.В., Пропускна здатність кільцевої розв'язки на одному рівні / Н.В. Неизвестна // Проблеми транспорту: зб. наук. Праць – К.: НТУ, 2010. – С. 106 – 108.

МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЧЕРВОНОЇ ЛІНІЇ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ОПУКЛИМИ ВЕРТИКАЛЬНИМИ КРИВИМИ ЗМІННОГО РАДІУСА

Анотація. У роботі наведено метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг кривими змінного радіуса. Досліджена зміна відстані видимості поверхні дороги при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг опуклими вертикальними кривими. Розроблений метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг опуклими вертикальними кривими змінного радіуса із розробкою алгоритмів визначення проектних відміток.

Ключові слова: метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг

Аннотация. В работе приведен метод проектирования красной линии продольного профиля автомобильных дорог кривыми переменного радиуса. Исследовано изменение расстояния видимости поверхности дороги при проектировании красной линии продольного профиля автомобильных дорог выпуклыми вертикальными кривыми. Разработан *метод* проектирования красной линии продольного профиля автомобильных дорог вогнутыми вертикальными кривыми переменного радиуса с разработкой алгоритмов определения проектных отметок.

Ключевые слова: метод проектирования красной линии продольного профиля автомобильных дорог

Annotation. The thesis covers the method of designing of the red line of longitudinal profile of roads on the basis of changing-radius curves. We also change of safe visibility distance during designing of the red line of longitudinal profile of roads using protuberant vertical curves. We developed the method of designing of the red line of longitudinal profile of roads on the basis of concave vertical changing-radius curves with elaboration of algorithm of definition marks determination.

Key words: design method red line longitudinal profile of highways

Збільшення інтенсивності руху на мережі автомобільних доріг викликає необхідність проведення їх реконструкції або будівництва. Основним фактором, що впливає на вартість реконструкції або будівництва є поздовжній профіль.

Проектування червоної лінії поздовжнього профілю є основним елементом по визначенню об'ємів земляних робіт. Існуючі методи проектування червоної лінії поздовжнього профілю через обмеження радіусів вертикальних кривих не завжди дозволяють запроектувати її через контрольні точки, що значно збільшує об'єми земляних робіт. Використання кривих змінного радіуса дозволяють запроектувати червону лінію через ці контрольні точки та зменшити об'єми земляних робіт.

При реконструкції автомобільних доріг керуюча відмітка визначається шаром підсилення дорожнього одягу. Червона лінія поздовжнього профілю запроектована кривими змінного радіуса дозволить максимально дотримуватись керуючої відмітки на відміну від існуючих методів проектування червоної лінії.

Для розрахунку використаємо залежності:

–рівняння кубічної параболи:

$$y = \frac{x^3}{6RL}, \quad x = L, \rightarrow \quad y = \frac{x^2}{6R}, \quad (1)$$

де y – залежить від конкретних умов проектування, наприклад:

$y = 1,2$ – око водія над поверхнею дороги, м;

– (при проектуванні водоперепускної труби, враховуються такі фактори як:

$$H_{3П} = d_{\text{труби}} + t_{\text{ст. тр.}} + h_{\text{засипки}} + h_{\text{ДО}}, \quad (2)$$

де $d_{\text{труби}}$ – діаметр труби, м;

$t_{\text{ст. тр.}}$ – товщина стінки труби, мм;

$h_{\text{засипки}}$ – товщина засипки над трубою, зазвичай $h_{\text{засипки}} = 0,5$ м;

$h_{\text{ДО}}$ – товщина дорожнього одягу, см

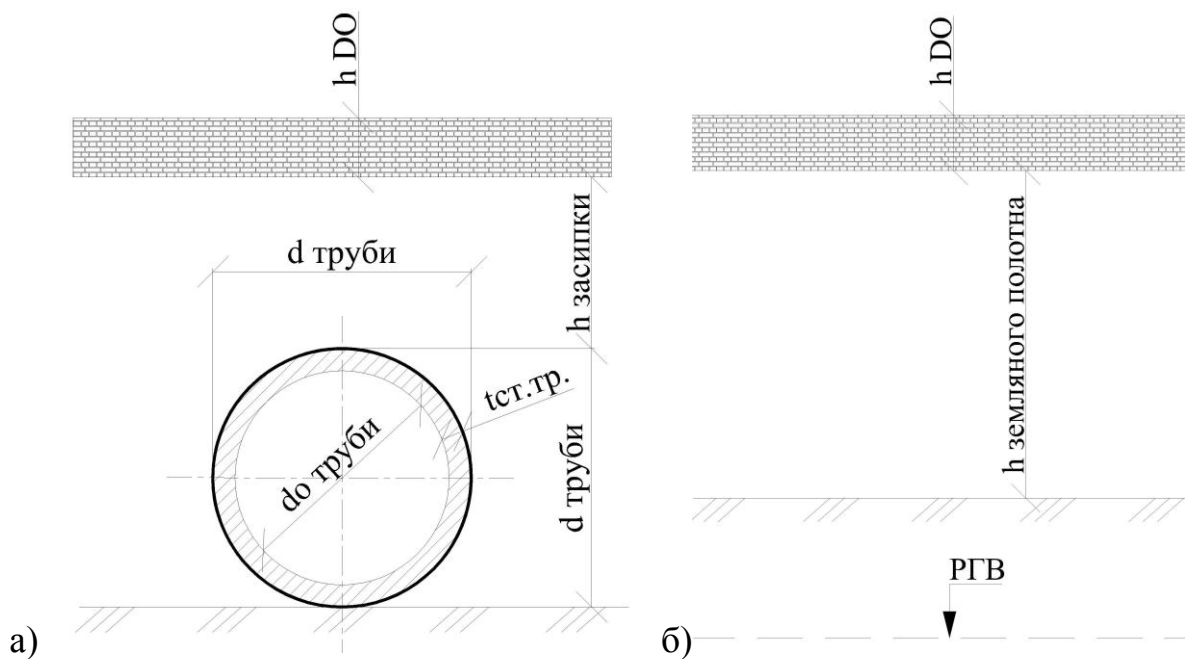


Рисунок 1 – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг вертикальними кривими змінного радіуса з урахуванням водоперепускної труби

– за відсутності водоперепускної труби рекомендовано взяти до уваги ДБН В.2.3-4:2007, щодо мінімально необхідної висоти земляного полотна від рівня ґрунтових вод, або поверхні землі, (табл. 6.1.):

Таблиця 1 – Найменші підвищення поверхні покриття над розрахунковим рівнем води

Ґрунт верхньої частини земляного полотна (робочого шару)	Дорожньо-кліматична зона		
	У-І	У-ІІ	У-ІІІ
Пісок	<u>1,1</u> 0,9	<u>0,9</u> 0,7	<u>0,75</u> 0,55
Пісок пилюватий, супісок піщанистий	<u>1,5</u> 1,2	<u>1,2</u> 1,0	<u>1,1</u> 0,8
Суглинок піщанистий, глина	<u>2,2</u> 1,6	<u>1,8</u> 1,4	<u>1,5</u> 1,1
Супісок пилюватий, суглинок пилюватий	<u>2,4</u> 1,8	<u>2,1</u> 1,5	<u>1,8</u> 1,3

– з умови снігозанесення, згідно з ДБН В.2.3-4:2007, п.6.4.11.

Висоту насипу на ділянках доріг, що проходять на відкритій місцевості і заносяться снігом під час хуртовин, слід визначати розрахунком за формулою:

$$h=h_c+h_n, \quad (3)$$

де h – висота снігонезаносимого насипу, м;

h_c – розрахункова висота снігового покриву в місці, де споруджується насип, з ймовірністю перевищення 5%, м. За відсутності вказаних даних допускається спрощене визначення h_c з використанням метеорологічних довідників;

h_n – підвищення брівки насипу над розрахунковим рівнем снігового покриву, яке необхідне для його незанесення снігом, м.

Примітка. У випадку коли h_n виявляється менше підвищення брівки насипу над розрахунковим рівнем снігового покриву h_{nc} (див. нижче), у формулу (3) замість h_n вводиться h_{nc} .

Підвищення брівки насипу (h_n) над розрахунковим рівнем снігового покриву необхідно призначати не менше:

1,0м – для доріг I-а, I-б категорій;

0,7м – "- "- II категорії;

0,6м – "- "- III "-";

0,5м – "- "- IV "-";

0,4м – "- "- V "-".

При частих переломах профілю, що виникають при проектуванні дороги по пересіченому рельєфу місцевості, поздовжній профіль отримує пилкоподібний обрис, при якому знак похилу при кожному переломі профілю може змінюватися. При пересіченні двох сусідніх ділянок поздовжнього профілю, що має різні похили, утворюється перелом. Всі переломи можна поділити на опуклі та угнуті.

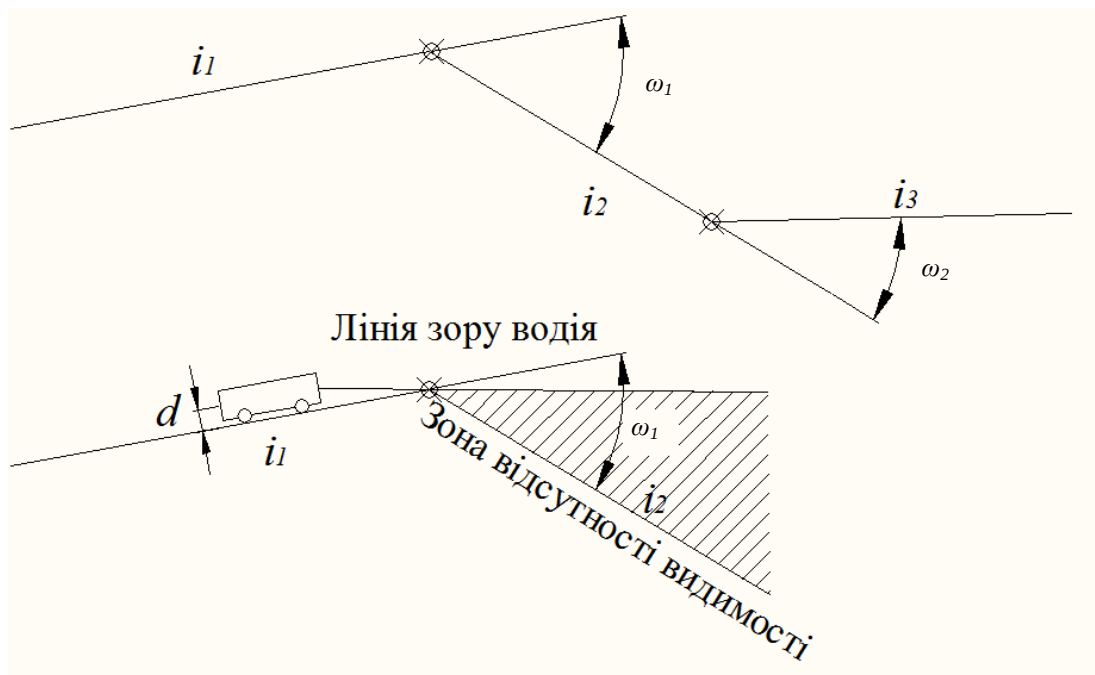


Рисунок 2 –Переломи поздовжнього профілю як перешкода для видимості

Кут перелому, (або просто перелом) виражається алгебраїчною різницею двох сусідніх похилів:

$$\omega_1 = i_1 - (-i_2) = i_1 + i_2. \quad (4)$$

Опуклий перелом є перешкодою для видимості дороги попереду автомобіля що рухається. Дослідження показали, що шляхом пом'якшення перелому покращується видимість. Опуклі переломи можуть бути поділені з точки зору забезпечення на них видимості на дві категорії:

Малі опуклі переломи на яких видимість достатня, проектують без пом'якшення перелому.

Великі опуклі переломи, на яких задана відстань видимості не забезпечується, проектуються з пом'якшенням за рахунок опуклих кривих, при умові:

$$\omega \geq \frac{(\sqrt{d_1} + \sqrt{d_2})^2}{S}, \quad (5)$$

де ω – кути перелому між похилами і горизонтальною лінією, град;
 d_1 – око водія над поверхнею дороги, м;
 d_2 – висота верху перешкоди, м;
 S – відстань видимості, м.

При розрахунку необхідного радіуса може бути три випадки.

Випадок I. Величина перелому мала і видимість забезпечена без вставки кривої.

Випадок II. Довжина видимості S така, що око водія і перешкода, знаходяться у межах вертикальної кривої, тобто довжина кривої K більше видимості S .

$$R = \frac{S^2}{2(\sqrt{d_1} + \sqrt{d_2})^2}, \quad (6)$$

де R – радіус вертикальної кривої, м.

Якщо $d_2 = 0$ (видимість дороги), то

$$R = \frac{S^2}{2d_1}. \quad (7)$$

Випадок III. Довжина видимості S більше довжини кривої, тобто $K < S$.

$$R = \frac{2}{\omega} \left[S - \frac{4d}{\omega} \right]. \quad (8)$$

$$\text{При } d_2 = 0, \quad R = \frac{2}{\omega} \left[S - \frac{d_1}{\omega} \right]. \quad (9)$$

Видимістю поверхні дороги називається мінімальна відстань у метрах, на якій водії автомобілів повинні бачити дорогу і перешкоду на ній, щоб мати можливість прийняти заходи проти наїзду на перешкоду. Видимість є функція розрахункової швидкості руху.

Необхідна відстань видимості поверхні дороги може бути встановлена з умов можливої зупинки автомобіля, що рухається з розрахунковою швидкістю, та з умови об'їзду перешкоди.

Таблиця 2 – Радіуси опуклих вертикальних кривих у поздовжньому профілі, що залежать від відстані видимості поверхні дороги (ДБН В.2.3 – 4:2007)

Найменування елементів	Радіуси опуклих вертикальних кривих у поздовжньому профілі, м;									
	30000	25000	15000	12500	10000	7500	5000	2500	1500	600
Найменша відстань видимості, м:										
поверхні дороги, м;	300	300	250	225	200	175	150	85	75	45

Радіуси опуклих вертикальних кривих визначаються з умови відстані видимості поверхні дороги:

Для розрахунку використаємо залежності:

–рівняння кубічної параболи:

$$y = \frac{x^3}{6RL}, \quad x = L \rightarrow y = \frac{x^2}{6R}, \text{ де } y=1,2; \quad R = \frac{S^2}{1,2},$$

де S – відстань видимості, м;

$y=1,2$ – око водія над поверхнею дороги, м.

$$L_{кр(заг)} = (i_1 \pm i_2) \times R; \quad L_{кр} = \frac{(i_1 \pm i_2) \times R}{2}; \quad (10)$$

$$y = \frac{x^2}{6R}; \quad \frac{L_{кр}}{R} = \frac{\left(\frac{(i_1 \pm i_2) \times R}{2} \right)^2}{6R}; \quad 24y = \frac{(i_1 \pm i_2)^2 \times R}{6R}; \quad (11)$$

$$y = \frac{(i_1 \pm i_2)^2 \times R}{24}; \quad (12)$$

$$R = \frac{24 \times y}{(i_1 \pm i_2)^2}. \quad (13)$$

Розглянемо такі методи проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг:

– за мінімальною довжиною кривої при умові зміни $RC(\infty, Rmin]$ $U [Rmin, \infty)$:

Випадок I. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною), при похилах один з яких дорівнює нулю ($i_1 = +i_1, i_2 = 0$). При умові зміни $RC(\infty, Rmin]$ $U [Rmin, \infty)$.

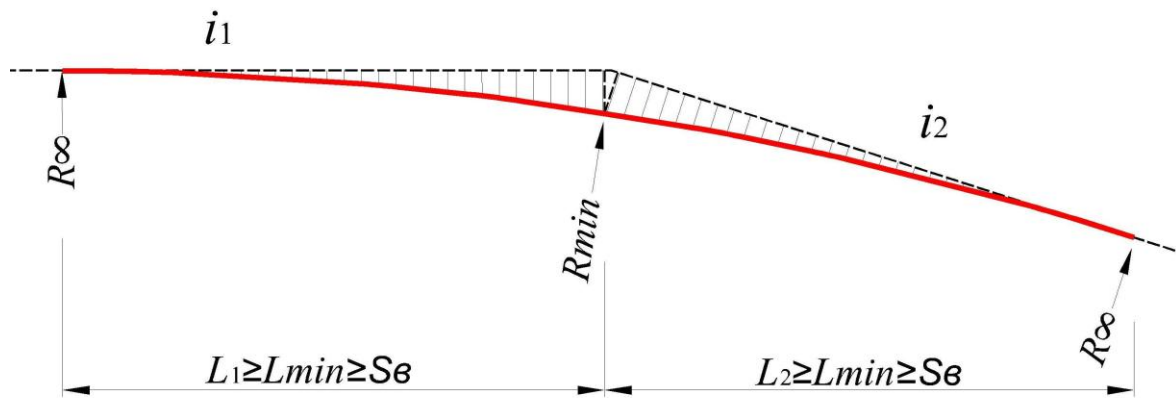


Рисунок 3 –Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, за мінімальною довжиною, яка дорівнює кроку проектування, при похилах один з яких дорівнює нулю ($i_1 = +i_1, i_2 = 0$)

Випадок II. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною), при похилах в різних напрямках ($i_1 = +i_1, i_2 = -i_2$). При умові зміни $RC(\infty, Rmin]$ U $[Rmin, \infty)$.

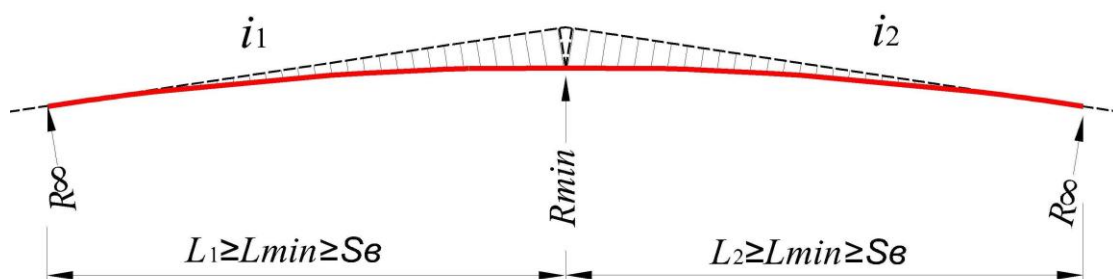


Рисунок 4 –Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, за мінімальною довжиною, яка дорівнює кроку проектування, при похилах в різних напрямках ($i_1 = +i_1, i_2 = -i_2$)

Випадок III. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною), при похилах в один бік ($i_1 = +i_1, i_2 = +i_2$). При умові зміни $RC(\infty, Rmin]$ U $[Rmin, \infty)$.

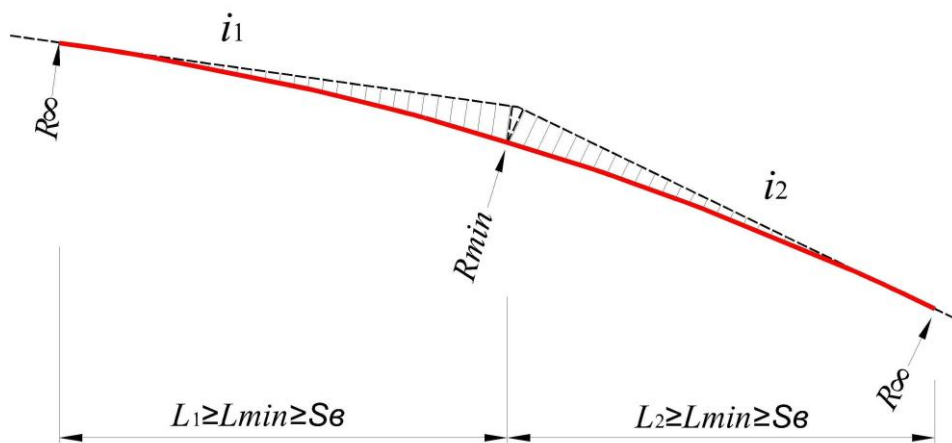


Рисунок 5 –Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, за мінімальною довжиною, яка дорівнює кроку проектування, при похилах в один бік ($i_1 = +i_1$, $i_2 = +i_2$)

Приклад 1.

Наприклад, дано: $i_1 = 0\text{‰}$, $i_2 = 20\text{‰}$, $H_{м.н.н.} = 100,00\text{м}$, відстань видимості поверхні дороги $Sв=300\text{м}$ (для розрахункової швидкості $V=150\text{км/Г}$):

Задаємось залежністю довжини опуклої вертикальної кривої змінного радіуса від відстані видимості, яка буда визначена відповідно для розрахункової швидкості $V=150\text{км/Г}$.

У випадку $y=0,6\text{м}$ для однієї кривої.

$i_1 = 0\text{‰}$, $i_2 = 20\text{‰}$, відстань видимості поверхні дороги $Sв=300\text{м}$ (для розрахункової швидкості $V=150\text{км/Г}$, $H_{м.н.н.} = 100,00\text{м}$.

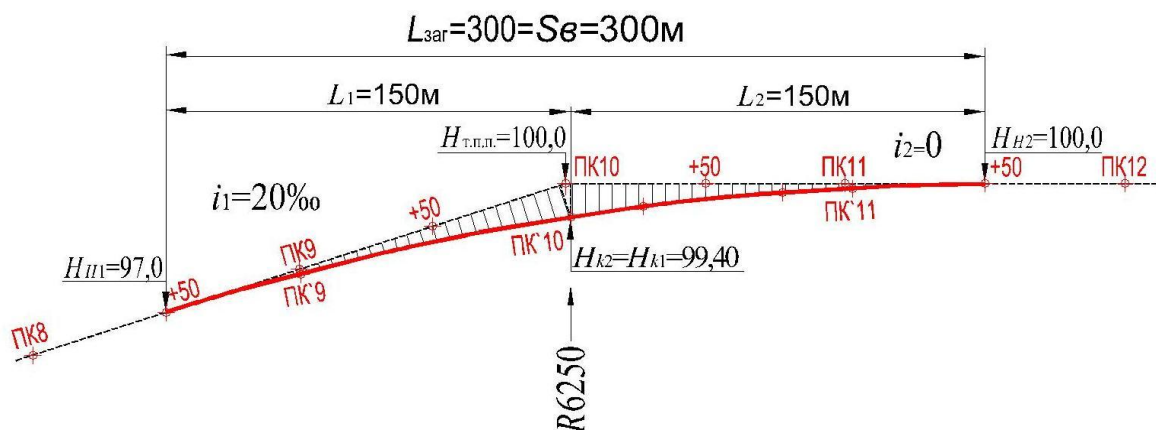


Рисунок 6 –Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах один з яких дорівнює нулю ($i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 0\text{‰}$)

$$L_{кр.} = \frac{S}{2} = 150\text{м}; \quad 0.6 = \frac{150^2}{6 \times R}; \quad R = \frac{150^2}{6 \times 0.6} = \frac{150^2}{3.6} = 6250\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 150 \times 0,02 = 97,0\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 150 = \text{ПК } 8+50; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}9+00 = 97,0 + 50 \times 0,02 - \frac{50^2}{6 \times 6250} = 97,933;$$

$$\text{ПК}9+50 = 97,0 + 100 \times 0,02 - \frac{100^2}{6 \times 6250} = 97,733;$$

$$\text{ПК}10+00 = 97,0 + 150 \times 0,02 - \frac{150^2}{6 \times 6250} = 99,4;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 150 = \text{ПК } 11+50; \text{ПК}11+50 = 100,0;$$

$$\text{ПК}11+00 = 100,0 - \frac{50^2}{6 \times 6250} = 99,933;$$

$$\text{ПК}10+50 = 100,0 - \frac{100^2}{6 \times 6250} = 99,733;$$

$$\text{ПК}10+00 = 100,0 - \frac{150^2}{6 \times 6250} = 99,4.$$

Задаємось залежністю радіуса опуклої вертикальної кривої від існуючих похилів та враховуючи що довжина кривої має бути не менше відстані видимості, яка буде визначена відповідно для розрахункової швидкості $V=150\text{км/г.}$

У випадку $y = 0,6\text{м}$ для однієї кривої.

$i_1 = 0\text{‰}$, $i_2 = 20\text{‰}$, відстань видимості поверхні дороги $S_v=300\text{м}$ (для розрахункової швидкості $V=150\text{км/г.}$, $H_{м.н.н.} = 100,00\text{м.}$

$$R = \frac{24 \times 1,2}{(i_1 + i_2)^2} = \frac{24 \times 0,6}{(0 + 0,02)^2} = 36000;$$

$$L_{заг.кривої} = (i_1 + i_2) \times R = (0 + 0,02) \times 36000 = 720; \quad L_{кр.} = \frac{L_{заг.кривої}}{2} = 360;$$

$$H_1 = 100,0 - 360 \times 0,02 = 92,80\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 360 = \text{ПК } 6+40; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}6+50 = 92,80 + 10 \times 0,02 - \frac{20^2}{6 \times 36000} = 93,00;$$

$$\text{ПК}7+00 = 92,80 + 60 \times 0,02 - \frac{60^2}{6 \times 36000} = 93,98;$$

$$\text{ПК}8+00 = 92,80 + 160 \times 0,02 - \frac{160^2}{6 \times 36000} = 95,88;$$

$$\text{ПК}9+00 = 92,80 + 260 \times 0,02 - \frac{260^2}{6 \times 36000} = 97,69;$$

$$\text{ПК}10+00 = 92,80 + 360 \times 0,02 - \frac{360^2}{6 \times 36000} = 99,40;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 360 = \text{ПК } 13+60; \text{ПК}13+60 = 100,0;$$

$$\text{ПК}13+00 = 100,0 - \frac{60^2}{6 \times 36000} = 99,98;$$

$$\text{ПК}12+00 = 100,0 - \frac{160^2}{6 \times 36000} = 99,88;$$

$$\text{ПК}11+00 = 100,0 - \frac{260^2}{6 \times 36000} = 99,68;$$

$$\text{ПК}10+00 = 100,0 - \frac{360^2}{6 \times 36000} = 99,4.$$

У випадку $y = 1,2\text{м}$ для однієї кривої.

$i_1 = 0\text{‰}$, $i_2 = 20\text{‰}$, відстань видимості поверхні дороги $S_B=300\text{м}$ (для розрахункової швидкості $V=150\text{км/г}$, $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$).

$$R = \frac{24 \times 1,2}{(i_1 + i_2)^2} = \frac{24 \times 1,2}{(0 + 0,02)^2} = 72000\text{м};$$

$$L_{кр.зас.} = (i_1 + i_2) \times R = (0 + 0,02) \times 72000 = 1440\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.зас.}}{2} = 720\text{м};$$

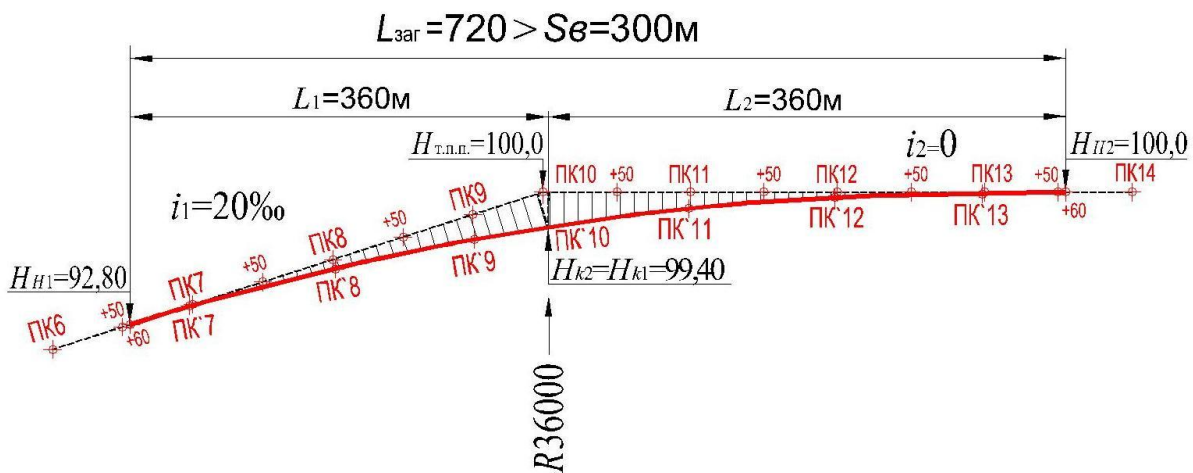


Рисунок 7 – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса при похилах один з яких дорівнює нулю ($i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 0\text{‰}$)

$$H_1 = 100,0 - 720 \times 0,02 = 85,60\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 720 = \text{ПК } 2+80; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}3+00 = 85,60 + 20 \times 0,02 - \frac{20^2}{6 \times 72000} = 85,99;$$

$$\text{ПК}4+00 = 85,60 + 120 \times 0,02 - \frac{120^2}{6 \times 72000} = 87,97;$$

$$\text{ПК}5+00 = 85,60 + 220 \times 0,02 - \frac{220^2}{6 \times 72000} = 89,88;$$

$$\text{ПК}6+00 = 85,60 + 320 \times 0,02 - \frac{320^2}{6 \times 72000} = 91,76;$$

$$\text{ПК}7+00 = 85,60 + 420 \times 0,02 - \frac{420^2}{6 \times 72000} = 93,59;$$

$$\text{ПК}8+00 = 85,60 + 520 \times 0,02 - \frac{520^2}{6 \times 72000} = 95,37;$$

$$\text{ПК}9+00 = 85,60 + 620 \times 0,02 - \frac{620^2}{6 \times 72000} = 97,11;$$

$$\text{ПК}10+00 = 85,60 + 720 \times 0,02 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 98,80;$$

ПК₂ ПК 10+00; КК₂ ПК 10+00 + 720 = ПК 17+20; ПК17+20 = 100,0;

$$\text{ПК}17+00 = 100,0 - \frac{20^2}{6 \times 72000} = 99,99;$$

$$\text{ПК}16+00 = 100,0 - \frac{120^2}{6 \times 72000} = 99,96;$$

$$\text{ПК}15+00 = 100,0 - \frac{220^2}{6 \times 72000} = 99,88;$$

$$\text{ПК}14+00 = 100,0 - \frac{320^2}{6 \times 72000} = 99,76;$$

$$\text{ПК}13+00 = 100,0 - \frac{420^2}{6 \times 72000} = 99,59;$$

$$\text{ПК}12+00 = 100,0 - \frac{520^2}{6 \times 72000} = 99,37;$$

$$\text{ПК}11+00 = 100,0 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 99,11;$$

$$\text{ПК}10+00 = 100,0 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 98,8.$$

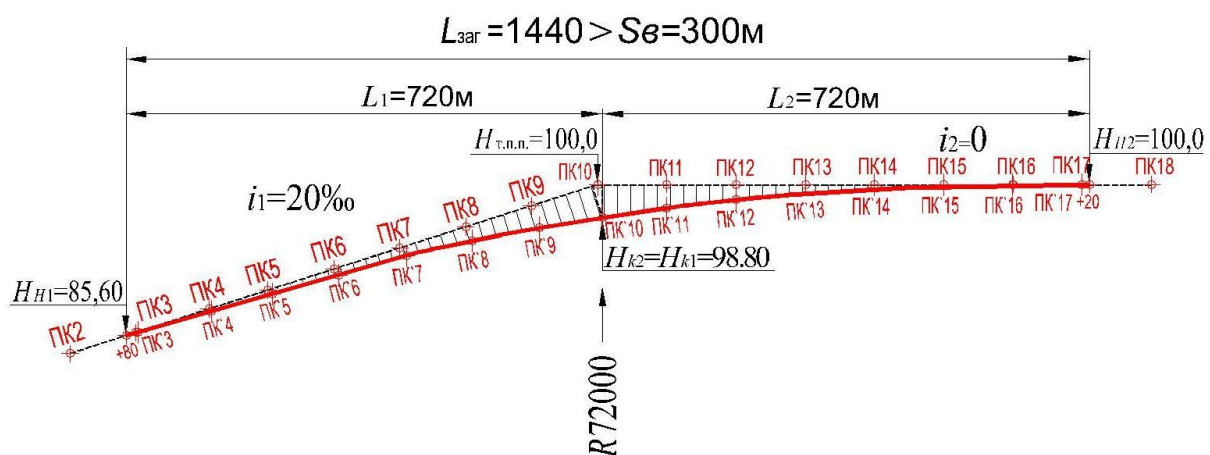


Рисунок 8 – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса при похилах один з яких дорівнює нулю ($i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 0\text{‰}$)

Приклад 2.

Задаємось залежністю довжини опуклої вертикальної кривої змінного радіуса від відстані видимості, яка буда визначена відповідно для розрахункової швидкості $V=120\text{км/г.}$

У випадку $y=0,6\text{м}$ для однієї кривої.

$i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 30\text{‰}$, відстань видимості поверхні дороги $S_v=250\text{м}$ (для розрахункової швидкості $V=120\text{км/г.}$, $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$.

$$L_{кр.} = \frac{S}{2} = \frac{250}{2} = 125\text{м}; \quad 0.6 = \frac{125^2}{6 \times R}; \quad R = \frac{125^2}{6 \times 0.6} = \frac{125^2}{3.6} = 4340\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 125 \times 0,02 = 97,50\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 125 = \text{ПК } 8+75; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}9+00 = 97,50 + 25 \times 0,02 - \frac{25^2}{6 \times 4340} = 97,97;$$

$$\text{ПК}9+50 = 97,50 + 75 \times 0,02 - \frac{75^2}{6 \times 4340} = 98,78;$$

$$\text{ПК}10+00 = 97,50 + 125 \times 0,02 - \frac{125^2}{6 \times 4340} = 99,40;$$

$$H_1 = 100,0 - 125 \times 0,03 = 96,25\text{м};$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \quad \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 125 = \text{ПК } 11+25; \quad \text{ПК}11+25 = 96,25;$$

$$\text{ПК}11+00 = 96,25 + 25 \times 0,03 - \frac{25^2}{6 \times 4340} = 96,97;$$

$$\text{ПК}10+50 = 96,25 + 75 \times 0,03 - \frac{75^2}{6 \times 4340} = 98,28;$$

$$\text{ПК}10+00 = 96,25 + 125 \times 0,03 - \frac{125^2}{6 \times 4340} = 99,40;$$

Задаємось залежністю радіуса опуклої вертикальної кривої від існуючих похилів та враховуючи що довжина кривої має бути не менше відстані

видимості, яка буде визначена відповідно для розрахункової швидкості $V=120\text{км/Г.}$

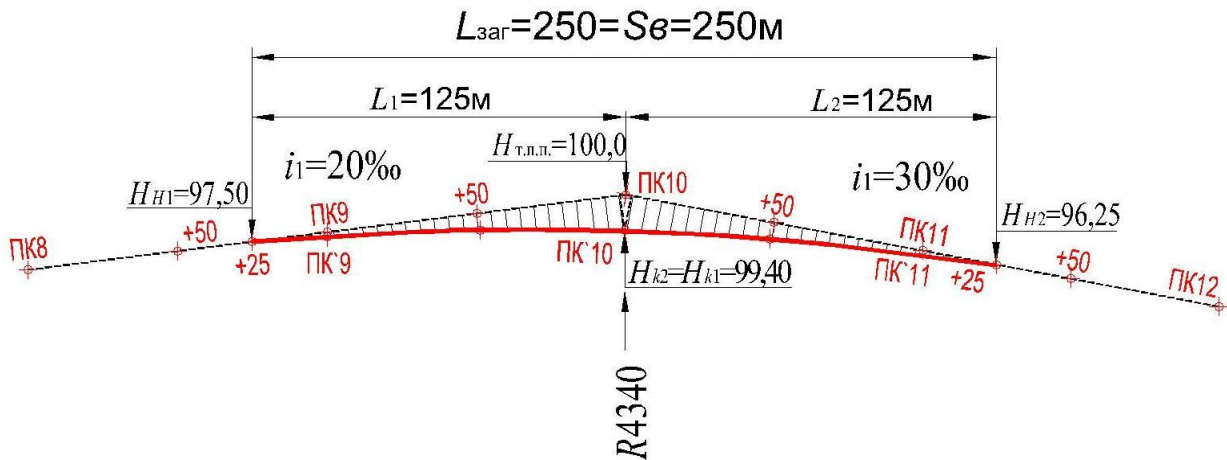


Рисунок 9 – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ($i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 30\text{‰}$)

У випадку $y = 0,6\text{м}$ для однієї кривої.

$i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 30\text{‰}$, $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м.}$

$$R = \frac{24 \times 0,6}{(i_1 + i_2)^2} = \frac{24 \times 0,6}{(0,02 + 0,03)^2} = 5760\text{м};$$

$$L_{кр.заг.} = (i_1 + i_2) \times R = (0,02 + 0,03) \times 5760 = 288\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.заг.}}{2} = 144\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 144 \times 0,02 = 97,12\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 144 = \text{ПК } 8+56; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК} 8+75 = 97,12 + 19 \times 0,02 - \frac{19^2}{6 \times 5760} = 97,49;$$

$$\text{ПК} 9+00 = 97,12 + 44 \times 0,02 - \frac{44^2}{6 \times 5760} = 97,94;$$

$$\text{ПК}9+50 = 97,12 + 94 \times 0,02 - \frac{94^2}{6 \times 5760} = 98,74;$$

$$\text{ПК}10+00 = 97,12 + 144 \times 0,02 - \frac{144^2}{6 \times 5760} = 99,40;$$

$$H_2 = 100,0 - 144 \times 0,03 = 95,68\text{м};$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК}10+00 + 144 = \text{ПК}11+44; \quad \text{КК}_2 \text{ ПК}11+44;$$

$$\text{ПК}10+50 = 95,68 + 50 \times 0,03 - \frac{50^2}{6 \times 5760} = 97,11;$$

$$\text{ПК}11+00 = 95,68 + 100 \times 0,03 - \frac{100^2}{6 \times 5760} = 98,39;$$

$$\text{ПК}11+44 = 95,68 + 144 \times 0,03 - \frac{144^2}{6 \times 5760} = 99,40;$$

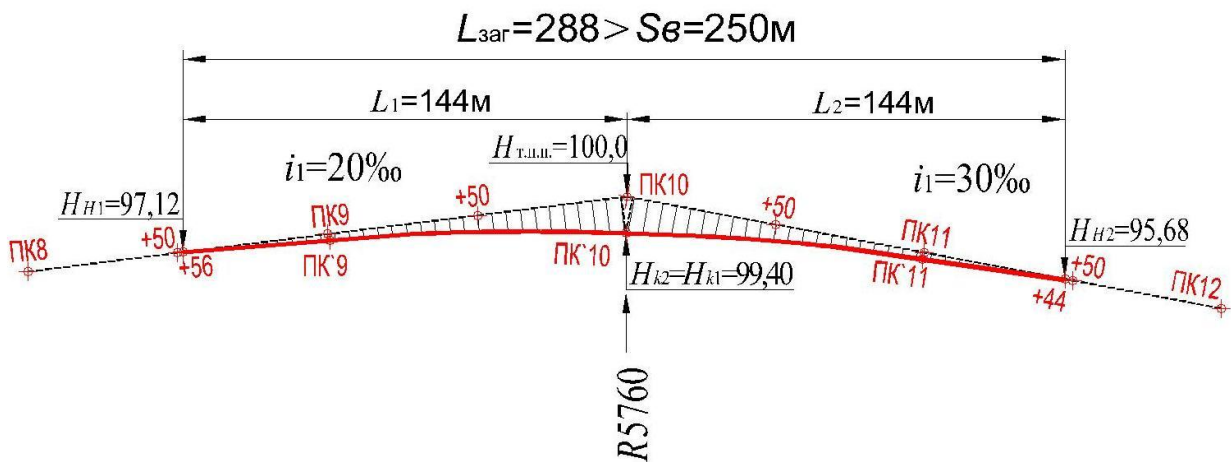


Рисунок 10 – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ($i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 30\text{‰}$)

У випадку $y = 1,2\text{м}$ для однієї кривої.

$i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 30\text{‰}$, $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$.

$$R = \frac{24 \times 1,2}{(i_1 + i_2)^2} = \frac{24 \times 1,2}{(0,02 + 0,03)^2} = 11520\text{м};$$

$$L_{кр.зав.} = (i_1 + i_2) \times R = (0,02 + 0,03) \times 11520 = 576\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.зав.}}{2} = 288\text{м};$$

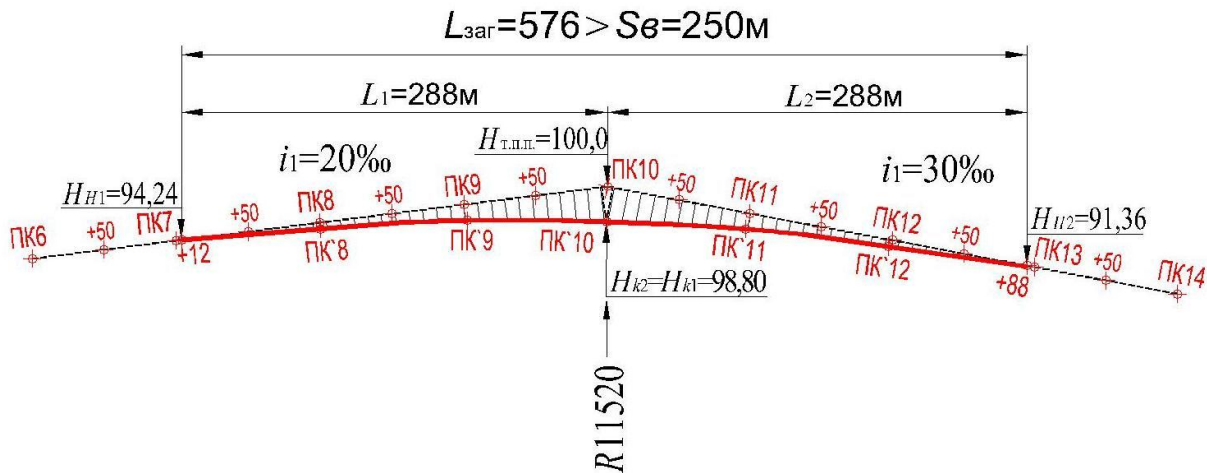


Рисунок 11 – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ($i_1 = 20\text{‰}$, $i_2 = 30\text{‰}$)

$$H_1 = 100,0 - 288 \times 0,02 = 94,24\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 288 = \text{ПК } 7+12; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}7+50 = 94,24 + 38 \times 0,02 - \frac{38^2}{6 \times 11520} = 94,98;$$

$$\text{ПК}8+00 = 94,24 + 88 \times 0,02 - \frac{88^2}{6 \times 11520} = 95,89;$$

$$\text{ПК}9+00 = 94,24 + 188 \times 0,02 - \frac{188^2}{6 \times 11520} = 97,49;$$

$$\text{ПК}10+00 = 94,24 + 288 \times 0,02 - \frac{288^2}{6 \times 11520} = 98,80;$$

$$H_2 = 100,0 - 288 \times 0,03 = 91,36\text{м};$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК}10+00 + 288 = \text{ПК}12+88; \quad \text{КК}_2 \text{ ПК}12+88$$

$$\text{ПК}12+50 = 91,36 + 38 \times 0,03 - \frac{38^2}{6 \times 11520} = 92,48;$$

$$\text{ПК}12+00 = 91,36 + 88 \times 0,03 - \frac{88^2}{6 \times 11520} = 93,89;$$

$$\text{ПК}11+00 = 91,36 + 188 \times 0,03 - \frac{188^2}{6 \times 11520} = 96,49;$$

$$\text{ПК}10+00 = 91,36 + 288 \times 0,03 - \frac{38^2}{6 \times 11520} = 98,80;$$

Приклад 3.

Задаємось залежністю довжини опуклої вертикальної кривої змінного радіуса від відстані видимості, яка буда визначена відповідно для розрахункової швидкості $V=150\text{км/г.}$

У випадку $y=0,6\text{м}$ для однієї кривої.

$i_1 = 30\text{‰}$, $i_2 = 10\text{‰}$, відстань видимості поверхні дороги $S_v=300\text{м}$ (для розрахункової швидкості $V=150\text{км/г.}$, $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м.}$

$$L_{кр.} = \frac{S}{2} = 150\text{м}; \quad 0.6 = \frac{150^2}{6 \times R}; \quad R = \frac{150^2}{6 \times 0.6} = \frac{150^2}{3.6} = 6250\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 150 \times 0,03 = 95,5\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 150 = \text{ПК } 8+50; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}9+00 = 95,5 + 50 \times 0,03 - \frac{50^2}{6 \times 6250} = 96,93;$$

$$\text{ПК}9+50 = 95,5 + 100 \times 0,03 - \frac{100^2}{6 \times 6250} = 92,23;$$

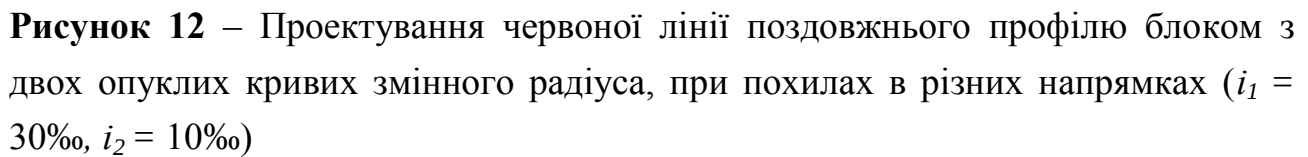
$$\text{ПК}10+00 = 95,5 + 150 \times 0,03 - \frac{150^2}{6 \times 6250} = 99,4;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 150 = \text{ПК } 11+50; \text{ПК}11+50 = 101,50;$$

$$H_2 = 100,0 + 150 \times 0,01 = 101,5\text{м};$$

$$\text{ПК}11+00 = 101,5 - 50 \times 0,01 - \frac{50^2}{6 \times 6250} = 100,93;$$

$$\text{ПК10+00} = 101,5 - 150 \times 0,01 - \frac{150^2}{6 \times 6250} = 99,40.$$



У випадку $y = 0,6\text{м}$ для однієї кривої.

$$R = \frac{24 \times 0,6}{(i_1 - i_2)^2} = \frac{24 \times 0,6}{(0,03 - 0,01)^2} = 36000 \text{ м};$$

$$L_{kr.3az.} = (i_1 - i_2) \times R = (0,03 - 0,01) \times 36000 = 720 M; \quad L_{kr.} = \frac{L_{kr.3az.}}{2} = 360 M;$$

26

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 180 = \text{ПК } 6+40; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}7+00 = 89,20 + 60 \times 0,03 - \frac{60^2}{6 \times 36000} = 90,98;$$

$$\text{ПК}8+00 = 89,20 + 160 \times 0,03 - \frac{160^2}{6 \times 36000} = 93,88;$$

$$\text{ПК}9+00 = 89,20 + 260 \times 0,03 - \frac{260^2}{6 \times 36000} = 96,68;$$

$$\text{ПК}10+00 = 89,20 + 360 \times 0,03 - \frac{360^2}{6 \times 36000} = 99,40;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 360 = \text{ПК } 13+60; \text{ПК}13+60 = 103,60\text{м};$$

$$H_2 = 100,0 + 360 \times 0,01 = 103,60\text{м};$$

$$\text{ПК}13+00 = 103,60 - 60 \times 0,01 - \frac{60^2}{6 \times 36000} = 102,98;$$

$$\text{ПК}12+00 = 103,60 - 160 \times 0,01 - \frac{160^2}{6 \times 36000} = 101,88;$$

$$\text{ПК}11+00 = 103,60 - 260 \times 0,01 - \frac{260^2}{6 \times 36000} = 100,68;$$

$$\text{ПК}10+00 = 103,60 - 360 \times 0,01 - \frac{360^2}{6 \times 36000} = 99,40.$$

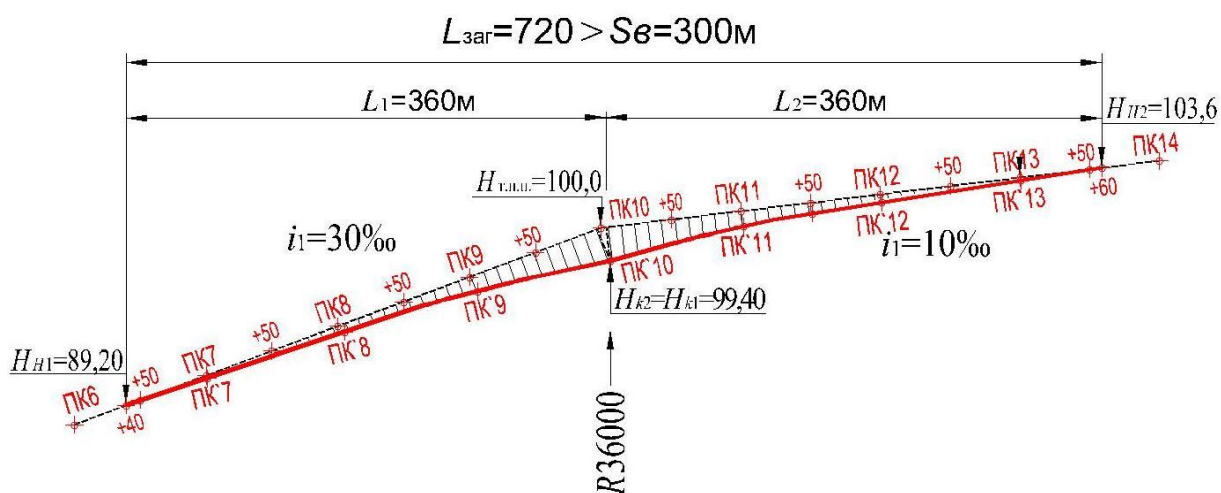


Рисунок 13 – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ($i_1 = 30\text{‰}$, $i_2 = 10\text{‰}$)

У випадку $y = 0,6\text{м}$ для однієї кривої.

$i_1 = 30\text{‰}$, $i_2 = 10\text{‰}$, відстань видимості поверхні дороги $S_v=300\text{м}$ (для розрахункової швидкості $V=150\text{км/г}$, $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$

$$R = \frac{24 \times 1,2}{(i_1 - i_2)^2} = \frac{24 \times 1,2}{(0,03 - 0,01)^2} = 72000\text{м};$$

$$L_{кр.заг.} = (i_1 + i_2) \times R = (0,03 - 0,01) \times 72000 = 1440\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.заг.}}{2} = 720\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 720 \times 0,03 = 78,40\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 720 = \text{ПК } 1+80; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}2+00 = 78,40 + 20 \times 0,03 - \frac{20^2}{6 \times 72000} = 78,99;$$

$$\text{ПК}3+00 = 78,400 + 120 \times 0,03 - \frac{120^2}{6 \times 72000} = 81,36;$$

$$\text{ПК}4+00 = 78,40 + 220 \times 0,03 - \frac{220^2}{6 \times 72000} = 84,88;$$

$$\text{ПК}6+00 = 78,40 + 420 \times 0,03 - \frac{420^2}{6 \times 72000} = 90,59;$$

$$\text{ПК}8+00 = 78,400 + 620 \times 0,03 - \frac{620^2}{6 \times 36000} = 96,11;$$

$$\text{ПК}10+00 = 78,40 + 720 \times 0,03 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 98,80;$$

$$ПК_2 \text{ ПК } 10+00; КК_2 \text{ ПК } 10+00 + 720 = \text{ПК } 17+20; \text{ПК} 17+20 = 107,20\text{м};$$

$$H_2 = 100,0 + 720 \times 0,01 = 107,20\text{м};$$

$$\text{ПК} 17+00 = 107,20 - 20 \times 0,01 - \frac{20^2}{6 \times 72000} = 106,89;$$

$$\text{ПК} 16+00 = 107,20 - 120 \times 0,01 - \frac{120^2}{6 \times 72000} = 105,96;$$

$$\text{ПК} 15+00 = 107,20 - 220 \times 0,01 - \frac{220^2}{6 \times 72000} = 104,88;$$

$$\text{ПК} 13+00 = 107,20 - 420 \times 0,01 - \frac{420^2}{6 \times 72000} = 102,59;$$

$$\text{ПК} 11+00 = 107,20 - 620 \times 0,01 - \frac{620^2}{6 \times 72000} = 100,11;$$

$$\text{ПК} 10+00 = 107,20 - 720 \times 0,01 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 98,80.$$

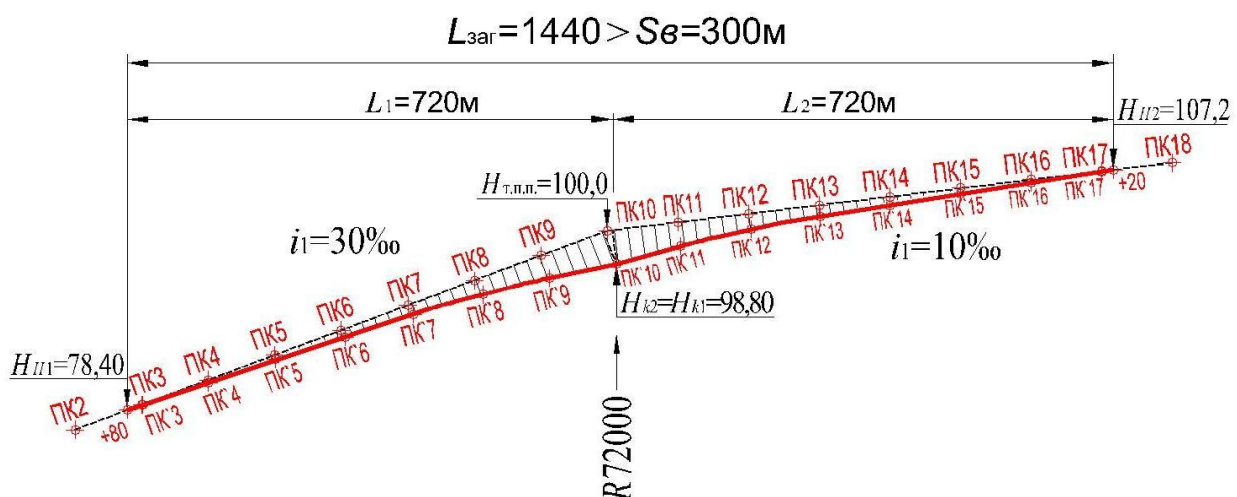


Рисунок 14 – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ($i_1 = 30\text{‰}$, $i_2 = 10\text{‰}$)

Різніченко О.С.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА МОСТАХ ЗА УМОВОЮ ЗСУВОСТІЙКОСТІ

Анотація. У статті подана характеристика основних методів випробування асфальтобетону при зсувостійкості.

Ключові слова: зсувостійкість, асфальтобетон, деформації асфальтобетонного покриття.

Аннотация. В статье изложена характеристика основных методов испытаний асфальтобетона при сдвиге.

Ключевые слова: сдвигоустойчивость, асфальтобетон, деформации асфальтобетонного покрытия.

Annotation. In the article the given description of basic methods of test of bituminous concrete is at shear resist.

Key words: shear resist, bituminous concrete, deformations of asphalt pavements.

Вступ

Однією з основних причин утворення пластичних деформацій (зсувів, напливів) є недостатня зсувостійкість асфальтобетону при високих температурах (рис.1). Поява деформацій асфальтобетонного покриття призводить до погіршення безпеки руху, додаткових витрат, пов'язаних з передчасними ремонтами.



Рисунок 1 – Стан покриття штучних споруд, м. Київ

Аналіз існуючих методів

Для оцінки зсувостійкості запроектованого складу асфальтобетону використовують різні методи випробувань при різних схемах стиску і при плоскопаралельному зсуві. Найбільш поширеними методами випробування при стиску є: одновісний стиск, метод Маршала, трьохосьовий стиск. При використанні будь-якого з них за результатами випробувань визначають коефіцієнт внутрішнього тертя, який характеризує опір зсуву мінерального кістяка асфальтобетону і показник зчеплення асфальтобетону при зсуві (при $t = 50^{\circ}\text{C}$) [1].

Метод Маршала оснований на лабораторних випробуваннях циліндрів висотою 64 мм і діаметром 102 мм (рис. 2). Ці розміри обумовлені циліндричними затискачами, які також мають діаметр 102 мм. Випробування проводиться на приладі Маршала, максимальний розмір зерен асфальтобетонної суміші – 25 мм [2]. Основною метою методу Маршала є визначення оптимального вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші (рис.3).

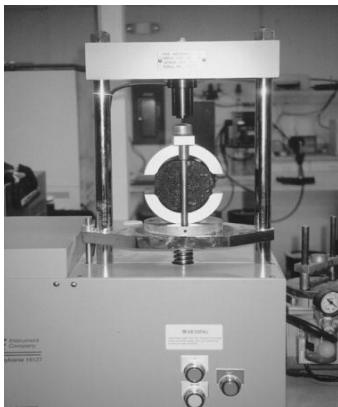


Рисунок 2 – Випробування зразку асфальтобетону за методом Маршала

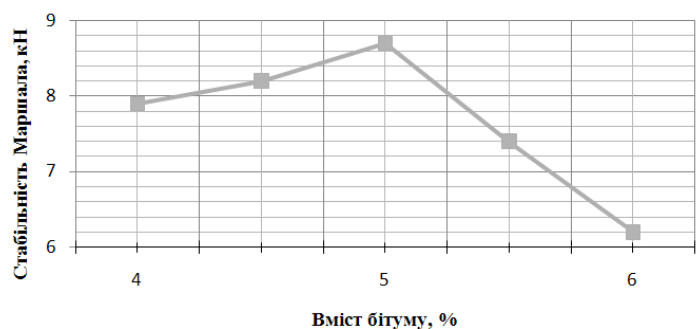


Рисунок 3 – Залежність стабільності Маршала від вмісту бітуму

Метод трьохвісного стиску широко використовується в дорожній галузі для характеристики всіх видів дорожніх матеріалів. Проте, до недоліків традиційних трьохвісних апаратів слід віднести обмеження напруженого стану і можливість перевірки температури при випробуванні.

Суттєву роль в забезпеченні зсувостійкості відіграє міжшарове зчеплення асфальтобетону. З метою його оцінки використовують різні прилади: Прилад зсуву Суперпейв (SST), випробування при обертанні, випробування зчеплення

на відрив, а також випробування з використанням різних спеціальних зсувних пристроїв (випробування Лейтнера, Швейцарський прилад LPDS, прилад випробування ASTRA, зсувна коробка Нотінгем, зсувний прилад Департаменту транспорту Флорида). Кожний вид випробувань дає змогу оцінити зчеплення, проте жоден з них не набув широкого поширення. Через широку кількість випробувальних методів дуже важко порівняти специфічні умови випробування і отримані значення.

Характеристики основних приладів прямого випробування на зсув наведені в таблиці 1 [3].

Таблиця 1 – Характеристики приладів для випробування асфальтобетону на прямий зсув

Прилад	Характеристики
1	2
Прилад Лейтнера	Розміри: циліндри 150 мм або 100 мм (Австрія), зразки механічно закріплюються в металевих затискачах Ширина щілини: 1 мм Нормальне навантаження: відсутнє Метод контролю якості в різних Європейських країнах (наприклад, Австрія, Німеччина, Швейцарія) Швидкість деформування: 50 мм/хв. Температура: 20 °С (стандартна), для досліджень від 10 до 40°С Результат одержують у вигляді схеми сила/деформація
Вдосконалений прилад Емра	Розміри: круглі 150 мм (стандарт), а також при використанні додаткового навісного обладнання прямокутні зразки розміром 150 x 130 мм. Ширина щілини: 2 мм Випробування: статичне Швидкість деформування: 50 мм/хв. Нормальне навантаження: відсутнє Температура: 20 °С (стандарт), або 40 °С для досліджень Результат: діаграма сили деформації, максимальне зусилля, жорсткість (співвідношення максимальної сили до максимальної кривої деформації) в кН/мм

Продовження табл.1

1	2
Прилад Айови	Розміри: циліндри: 150 мм, розміри є фіксованими Ширина щілини: 4,8 мм Випробування: статичне Швидкість деформування: 50 мм/хв. Нормальне навантаження: відсутнє Температура: 25 °С Результат: діаграма зсувних деформацій, максимальне зусилля (напруження)
Прилад NCAT	Розміри: циліндри 150 мм Ширина щілини: 4,8 мм Випробування: статичне Нормальне навантаження: від 0 до 550 кПа Швидкість деформування: 50 мм/хв. Температура: 10, 25 і 60 °С Результат: діаграма зсувних деформацій, максимальне зусилля (напруження)
Прилад Романоші	Розміри: циліндри 95 мм Ширина щілини: 5 мм Випробування статичне Нормальне навантаження: від 0 до 550 кПа Швидкість деформування: 12 мм/хв. Температура: 15, 25 і 35 °С Результат: діаграма зсувних деформацій, максимальне зсувне зусилля (напруження)
Зсувна коробка	Розміри: призми (320 х 200 мм) Ширина щілини приблизно в 10-20 разів менше діаметру досліджує мого зразку Випробування: динамічне і статичне Швидкість деформування: 1,5 мм/хв. Нормальне навантаження: створюється гідравлікою 0, 50, 100, 200 і 250 кН/м² Функція навантаження: синусоїдальна, зсувне навантаження з частотою 2 Гц.

Кінець табл.1

1	2
Прилад ASTRA	Розміри: призми (100 x 100 мм) або циліндри з діаметрами (від 95 до 99 мм) Ширина щілини діаметр частинок, які випробовуються Випробування: статичне Швидкість деформування: 2,5 мм/хв. Температура: змінна, створюється за допомогою кліматичної камери Результат: файл-даних з зсувним зусиллям Т, горизонтальні і вертикальні переміщення пов'язані з часом
Прилад зсувного випробування SHRP (SST)	Розміри: циліндричні 150 мм Випробування: статичне або динамічне Функція навантаження: режим постійного навантаження (222,4 Н/хв) Нормальне навантаження: можливе Температура: 25 і 55 °С Результат: діаграма зсувних напружень-деформацій

В Технічному університеті Дрездену зробили динамічну версію приладу для зсуву Лейтнера. В динамічній версії при оцінці зчеплення використовуються різні параметри, такі як зміна температури (-10, +10, +30 °С), нормальне навантаження (від 0 до 1,11 Н/мм²) і навантажуюча функція (синусоїдальна функція з амплітудою від 0,005 до 0,1 мм і частотою від 1 до 15 Гц). Метою створення даної модифікації приладу було знайти «зв'язуючий чинник», який би міг використовуватись при проектуванні покриття.

Для простого випробування на зсув в різних країнах використовуються співвідношення деформацій

від 1,5 мм/хв (в Великобританії) і до 2,5 мм/хв. (в Італії).

В деяких Європейських країнах випробування міцності міжшарового зчеплення стандартизовано з 1990-х.

Проводяться дослідження присвячені цим питанням і на кафедрі ДБМ і хімії, НТУ [3-5].

Розроблена методика оцінки зчеплення

Один із таких приладів (прямого зсуву) був розроблений кафедрою ДБМ і хімії, НТУ (рис. 4, 5) [6]. Він дозволяє проводити два режими випробування: при швидкому навантаженні і при повільному. Даний вид випробувань особливо актуальний в мостовому будівництві при оцінці якості зчеплення гідроізоляційних матеріалів з основою. Випробування необхідно проводити за найбільш несприятливої температури для зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям на мостах при температурі від $+40$ до $+70^{\circ}\text{C}$.

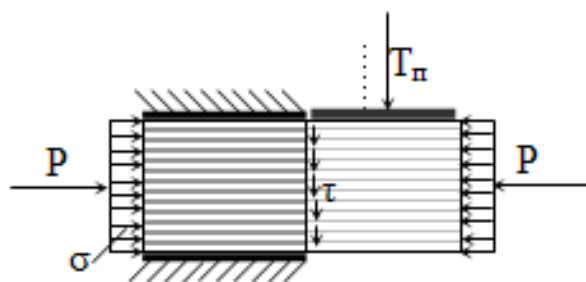


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд приладу НТУ-ЗЧ-1

Рисунок 5 – Схема випробувань зразків-керна на зчеплення між шарами

Для дослідження були прийняті дрібнозернисті асфальтобетони типів А, Б, а також щебенево-мастиковий асфальтобетон, які за своїми показниками відповідають діючим нормативним документам (ДСТУ Б В.2.7-119 та ДСТУ Б В.2.7-127). Зразки-композиції були виготовлені з різною кількістю підгрунтовки між шарами що дозволило визначити для кожного виду асфальтобетону оптимальну витрату. Результати випробувань наведено на рис.6.

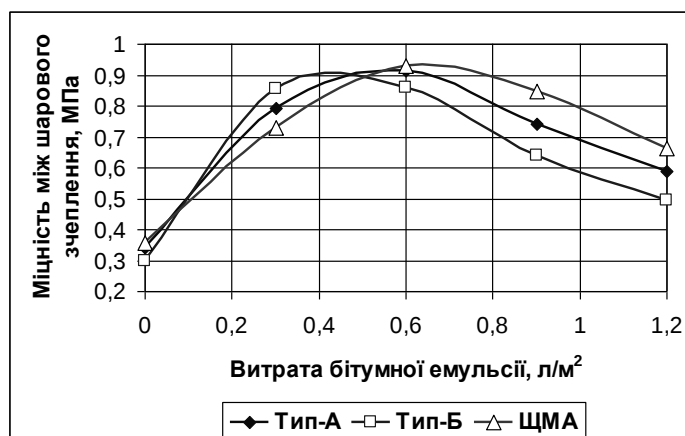


Рисунок 6 – Залежність міцності зчеплення від кількості підгрунтовки

Результати міцності зчеплення на контакті шарів при зсуві різних видів асфальтобетону (рис.6) показали, що оптимальна витрата підґрунтовки для асфальтобетону типу А становить: 0,4-0,6 л/м², типу Б 0,3-0,5 л/м²; для ЩМА 0,5-0,7 л/м.

Отже, згідно встановлених вимог і умов [6] створюється можливість прогнозувати зсувостійкість асфальтобетонного покриття, а також його довговічність, на етапі проектування.

Література

1. Кирюхин Г.Н., Плотникова И.А. Взаимосвязь показателей. Опыт испытаний асфальтобетонов на сдвигоустойчивость по ГОСТ 12801-98 // Автомобильные дороги. - №12. - 2010. - С.84-88.
2. Lavin P.G. Asphalt pavements. New York, 2003. – 444 p.
3. Evaluation of tack coat bond strength for mixtures containing baghouse fines. International Journal of Pavement Engineering, v. 6, no. 3, pp. 147-162
4. Онищенко А.М., Мозговий В.В., Різніченко О.С. та ін. Управління якістю по забезпеченню зсувостійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття на мостах // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2010. вип. 38. С. 88-98.
5. Онищенко А.Н., Мозговой В.В., Резниченко А.С. и др. Пути обеспечения устойчивости к колееобразованию асфальтобетонного покрытия мостов / Приоритетные направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: качество, комфорт, безопасность. Материалы республиканской научно-практической конференции. – Минск 2010.
6. Онищенко А.М., Мозговий В.В., Жуков О.О. Методика оцінки ефективності зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям на мостах // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка - №34. – 2009. – С.67-73.

Хом'як А.Я., канд. техн. наук, Татарченко С.В.

ПРОЕКТУВАННЯ З'ЇЗДІВ ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗОК

Анотація. У статті розглянуто роботу транспортних розв'язок в умовах підвищених інтенсивностей руху. Проаналізовано існуючі методи проектування з'їздів, умови руху транспортних потоків на ділянках злиття, переплетення та розгалуження, визначені проблеми при проектуванні цих ділянок та запропоновані можливі шляхи для їх вирішення.

Ключові слова: транспортна розв'язка, з'їзд, пропускна здатність, перехідно-швидкісна смуга, транспортні потоки, інтенсивність, автомагістраль.

Аннотация. В статье рассмотрено работу транспортных развязок в условиях повышенных интенсивностей движения. Проанализировано существующие методы проектирования съездов, условия движения транспортных потоков на участках слияния, переплетения и разветвления, определены проблемы проектирования этих участков и предложены пути их решения.

Ключевые слова: транспортная развязка, съезд, пропускная способность, переходно-скоростная полоса, транспортные потоки, интенсивность, автомагистраль.

Annotation. The article considers the work of interchanges in the conditions of the increased intensities of motion. The existent methods of planning of ramp, terms of motion of transport flows, are analysed on the areas of confluence, interlacing and fork, the problems of planning of these areas are certain and the ways of their decision are offered.

Key words: interchange, ramp, carrying capacity, acceleration lane, deceleration lane, traffic flows, intensity, freeway.

Вступ

В умовах сучасної глобальної автомобілізації гостро стоїть питання забезпечення зручності та безпеки руху на автомобільних дорогах. Важливими

ділянками транспортної мережі є пересічення у різних рівнях, суть яких полягає у збільшенні пропускної здатності вузла, підвищення швидкості і безпеки руху, значного зменшення затримок транспорту і пішоходів та зведення до мінімуму витрат, пов'язаних з затримками та зниженням швидкості руху транспорту. Результат ефективності роботи пересічення у різних рівнях очікується прямо пропорційний вартості його спорудження.

Проектування транспортних розв'язок в різних рівнях – це складний процес, який полягає у оптимальному поєднанні ряду інженерних, транспортно-експлуатаційних та економічних показників.

Як показують дослідження, будівництво у складі мережі автомобільних доріг нового транспортного вузла призводить до перерозподілу потоків. В результаті, без урахування функції, яку виконує дорога не лише на даний момент, а й на перспективу, може бути перевантаження щойно побудованого вузла та суміжних з ним ділянок.

Запроектована транспортна розв'язка повинна забезпечувати якісне транспортне обслуговування поблизу розташованих територій на перспективу строку служби не менше 20 років.

З ростом інтенсивності руху ефективність роботи багатьох розв'язок, зокрема, типу “лист конюшини“, різко знижується. Тож актуальність роботи полягає в обґрунтуванні шляхів підвищення пропускної спроможності транспортних розв'язок, зокрема, з'їздів.

Потік автомобілів на транспортних розв'язках може знаходитись у чотирьох різних якісних станах: вільному, частково зв'язаному, зв'язаному та щільному, які мають назву рівні зручності [1]. Однією з характеристик рівнів зручностей є коефіцієнт завантаження рухом z , який визначається відношенням інтенсивності руху до пропускної здатності. Для транспортних розв'язок коефіцієнт завантаження рухом z повинен бути не більше 0,7, інакше будуть виникати черги автомобілів [2].

Результати узагальнення досліджень за режимами руху на розв'язках, викладених у працях В.М. Візгалова, Е.М. Лобанова, В.В. Сильянова, А.П. Шевякова, В.П. Поліщука, В.М. Богаченка та ін., вказують, що пропускна здатність, безпека та зручність руху на розв'язках у різних рівнях залежать, значною мірою, від умов руху на ділянках пересічення: злиття, розподілу і переплетення потоків автомобілів, що характеризуються певними параметрами

елементів з'їздів, перехідно-швидкісних смуг, інтенсивністю руху та кількістю конфліктних точок (рис. 1).

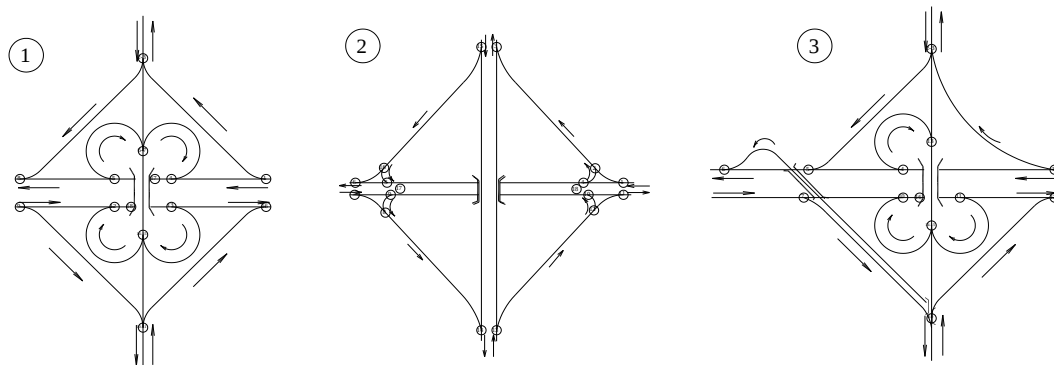


Рисунок 1 – Конфліктні точки на транспортних розв'язках

- 1 – схема розв'язки типу «лист конюшини» з однопутними з'їздами;
- 2 – схема розв'язки типу «неповний лист конюшини» з точками перетину в одному рівні;
- 3 – схема розв'язки типу «розширений лист конюшини» з потужним лівоповоротним з'їздом

Невдало підібраний тип транспортної розв'язки та відсутність комплексного підходу до проектування вузла призводить до підвищення щільності руху на пересіченні, втрати часу на з'їздах, підвищення аварійності, викликає підвищену загазованість навколишнього середовища та підвищує емоційну напругу водіїв (рис 2). Цим обумовлена актуальність удосконалення методів функціонального проектування розв'язок.



Рисунок 2 – Транспортна розв'язка типу «лист конюшини»

Згідно нормативних документів [3], [4] влаштування одно- та двосмугових з'їздів здійснюється в залежності від очікуваної перспективної інтенсивності руху та швидкості руху по основній дорозі та з'їздах відповідно до класу перетину. Кількість смуг руху визначається залежно від пропускної здатності смуги, яка, в свою чергу, залежить від розрахункової швидкості руху по основному напрямку та на з'їзді. У роботах вітчизняних та російських вчених при визначенні розрахункової швидкості руху по з'їзду автори виходять з необхідності відповідності її тій оптимальній швидкості, при якій спостерігається максимальна пропускна здатність смуги руху.

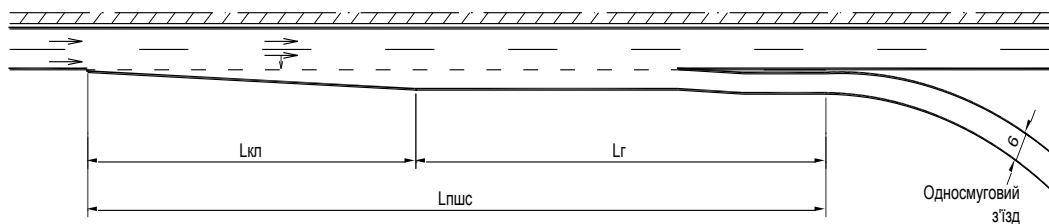
Недоліком такого визначення є те, що крім розрахункової швидкості, яка, крім того, не завжди відповідає фактичній швидкості руху, не враховується інтенсивність руху по основному напрямку (на дорогах I категорії – на крайній смузі праворуч) і величина граничного інтервалу часу, достатнього для безпечного виїзду автомобіля зі з'їзду на основну смугу руху. Інтенсивність транспортного потоку на основній дорозі може змінюватися в широких межах. При максимальній інтенсивності на зовнішній смузі праворуч автомагістралі вливання теоретично неможливе, тому на з'їзді виникають черги автомобілів, які створюють затори як на самому з'їзді, так і на основній дорозі. Затримка в транспорті хоча б на одному із з'їздів розв'язки типу "лист конюшини" призводить через деякий час до затримки на всій розв'язці. У іншому, протилежному випадку, коли інтенсивність руху на зовнішній смузі праворуч головного напрямку близька до нуля, то кількість автомобілів, що виходять на з'їзд, залежить лише від пропускної здатності смуги руху з'їзду. У такому випадку з'їзд перетворюється на елемент заокруглення самої дороги, а не транспортної розв'язки.

Тому, пропускна здатність з'їздів повинна визначатися або від умов вливання автомобілів в потік в основній дорозі, або визначається геометричними розмірами в плані, поперечному та поздовжньому профілях. Умови вливання характеризуються, основним чином, плануванням вхідної та вихідної ділянок з'їздів, які можуть являти собою перехідну криву або смугу розгону та гальмування.

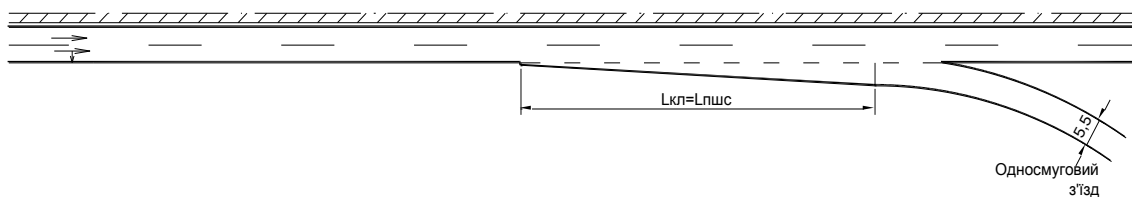
Величини пропускної здатності з'їздів за наявності і відсутності перехідно-швидкісних смуг значно відрізняються [5]. На транспортних розв'язках у випадку відсутності перехідно-швидкісних смуг величина відносної аварійності збільшується в 1,5 рази.

Згідно нормативних документів, поза межами населених пунктів перехідно-швидкісні смуги є обов'язковим елементом при планування з'їздів транспортних розв'язок для I-III категорій автомобільних доріг. В населених пунктах перехідно-швидкісні смуги не проектуються, крім випадків різниці швидкостей руху між основним напрямком та з'їздом 30 км/год. Відокремлення та злиття потоків при в'їзді на односмуговий з'їзд та виїзді з нього відбувається таким чином (рис. 3, 4).

а)



б)



в)

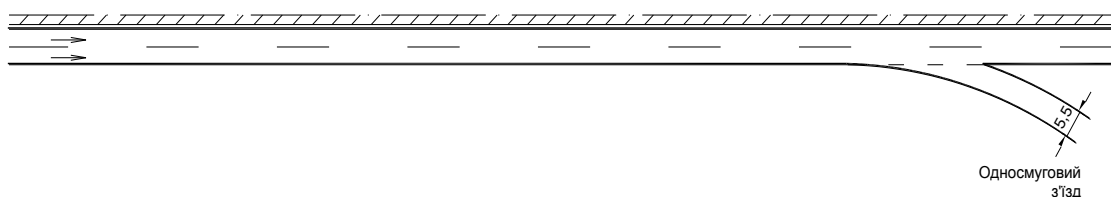
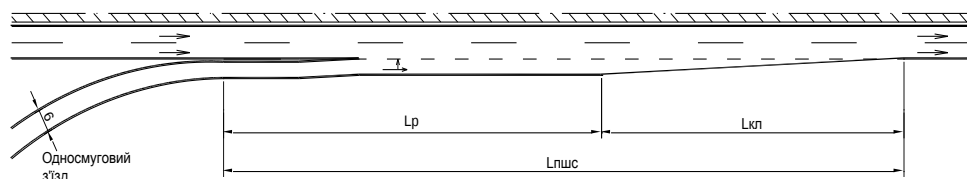


Рисунок 3 – Виїзд на односмуговий з'їзд

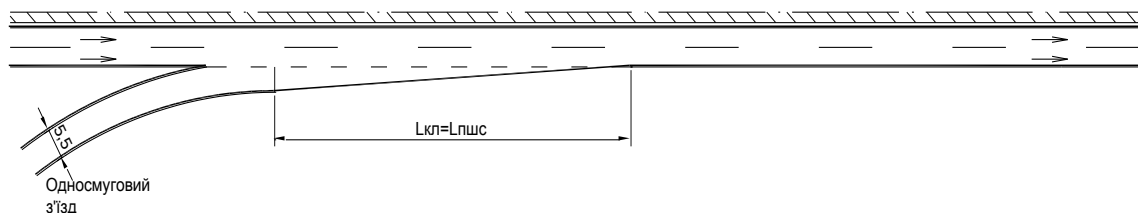
- а) поза межами населеного пункту;
- б-в) в населеному пункті.

За інтенсивності руху автотранспорту на з'їздах більшій, ніж розрахункова пропускна здатність однієї смуги, слід проектувати двосмугові з'їзди. В зв'язку з цим, може виникнути необхідність влаштування та перепланування перехідно-швидкісних смуг з метою забезпечення достатньої пропускної здатності зон злиття та розподілу потоків автомобілів [6].

а)



б)



в)

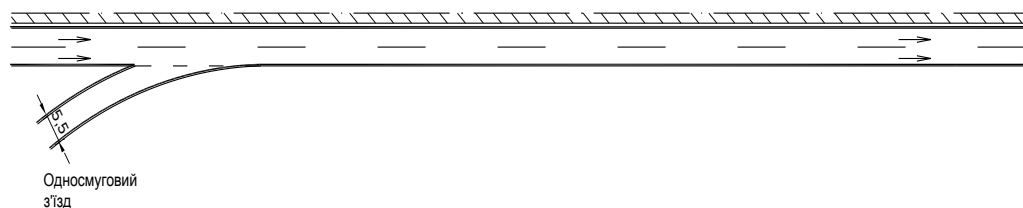


Рисунок 4 – Виїзд на основну дорогу із односмугового з'їзду

а) поза межами населеного пункту;

б-в) в населеному пункті

В нормативних документах немає будь-яких вимог щодо проектування двосмугових перехідно-швидкісних смуг, оскільки ще недостатній досвід їх проектування і експлуатації. У ВСН 103-74 [7] лише зазначено, що двосмугові з'їзди необхідно проектувати з влаштуванням додаткової смуги, довжиною не менше 600 м. У нормах закордонних країн це питання жорстко відрегульоване. Наприклад, у нормах США відмічається, що двосмугові перехідно-швидкісні смуги повинні мати значно більшу довжину, ніж односмугові, для забезпечення безпечного розподілу транспортних потоків при виїзді з дороги або злиття при в'їзді на неї. Існуючі схеми виходу на двосмугові з'їзди при вході на них не відрізняються від схем виходу та входу на односмугові з'їзди, що при великих інтенсивностях значно ускладнюють рух на усьому пересіченні, створюючи в години-пік заторові ситуації (рис. 5).



Рисунок 5 – Виїзд з двосмугового з'їзду при відсутності перехідно-швидкісної смуги

На примиканні двосмугових з'їздів ділянка злиття потоків повинна мати достатню пропускну здатність для перепуску основного потоку та потоку зі з'їзду.

$$P_{зл} \succ N_z + N_{o.d.}, \quad (1)$$

де $P_{зл}$ – пропускна здатність ділянки злиття основного потоку та потоку зі з'їзду;

N_z – очікувана інтенсивність на з'їзді;

$N_{o.d.}$ – очікувана інтенсивність на зовнішній смузі праворуч основної дороги або перехідно-швидкісній смузі.

Коли сумарна інтенсивність руху по з'їзду та смузі основного напрямку наближається до пропускної здатності зони злиття потоків, спостерігається утворення черг як на основному напрямку, так і на з'їзді.

$$P_{зл} \cong N_z + N_{o.d.}, \quad (2)$$

Вирішенням даної проблеми є влаштування перехідно-швидкісної смуги, а за наявності останньої – подовження її довжини.

У випадку, коли сумарна інтенсивність більша за пропускну здатність ділянки злиття потоків, необхідно влаштовувати двосмугові перехідно-швидкісні смуги. Можливі варіанти виїзду на основну дорогу з двосмугового з'їзду при забезпеченій пропускній здатності зони злиття зображені на рис. 6, 7, при незабезпеченій пропускній здатності зони злиття – по рис. 8 з додаванням смуги руху на головній дорозі.

$$P_{зл} < N_з + N_{o.д.}, \quad (3)$$

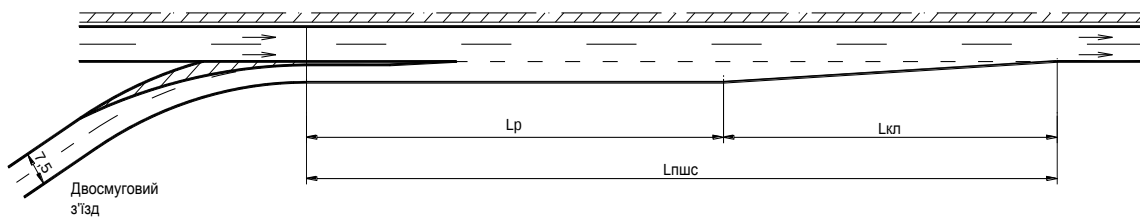


Рисунок 6 – Двосмуговий з'їзд з односмуговою перехідно-швидкісною смугою

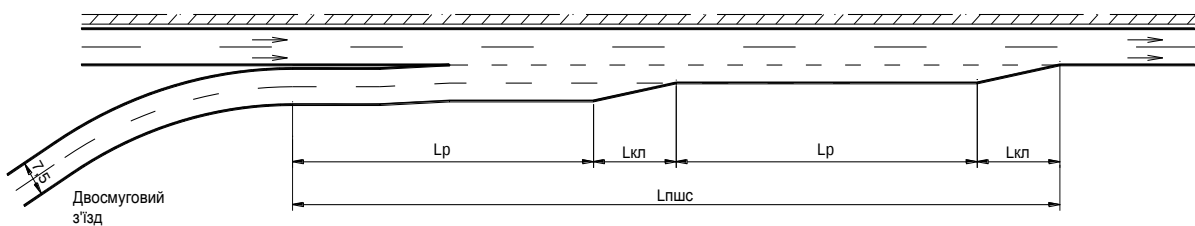


Рисунок 7 – Двосмуговий з'їзд з двосмуговою перехідно-швидкісною смугою з двома ділянками маневрування

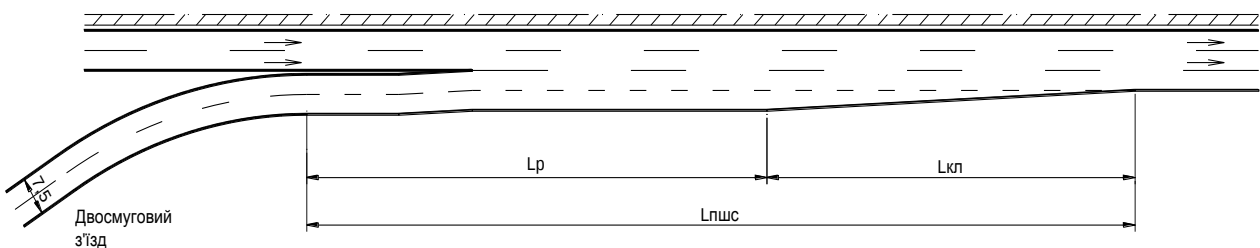


Рисунок 8 – Двосмуговий з'їзд з двосмуговою перехідно-швидкісною смугою

У кожного типу розв'язки існують свої «звужені» місця, від яких істотно залежить зручність руху та ефективність роботи всього транспортного вузла. Частіше всього це ділянки між суміжними з'їздами, на яких здійснюється злиття, переплетення та розгалуження потоків. Вирішення даної проблеми

значно покращить роботу транспортного вузла та збільшить його пропускну здатність в цілому. Згідно нормативних документів довжина ділянок між суміжними лівоповоротними з'їздами не нормується і обмежується лише кутом перетину пересічення.

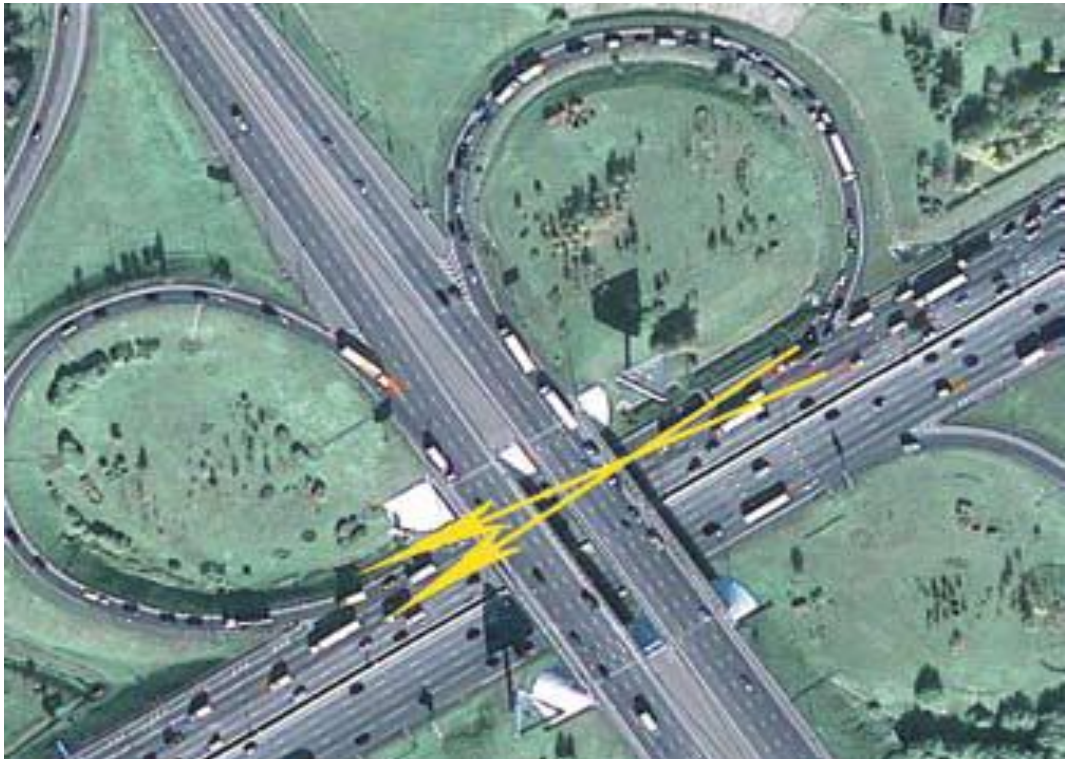


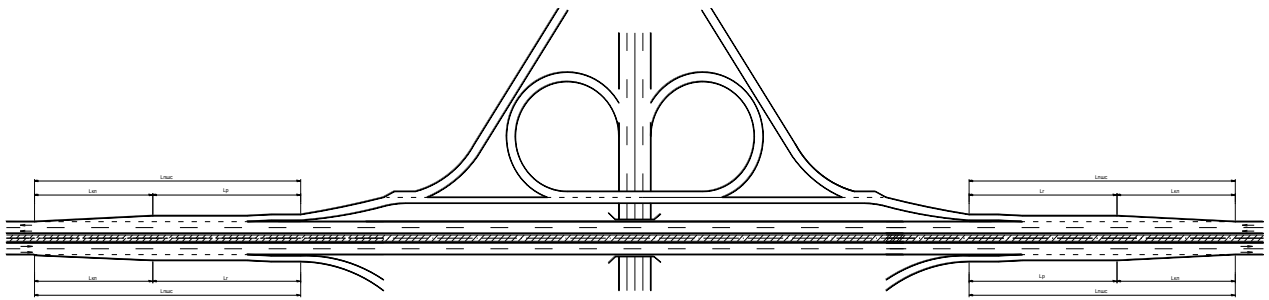
Рисунок 9 – Зона переплетення транспортних потоків

При високих інтенсивностях водію необхідно перешиковуватися і в той же час контролювати ситуацію на сусідній смузі, інтервали до транспортних засобів на обох смугах і швидкості транспортних засобів на обох смугах, а також постійно перевіряти "сліпу зону". Особливою проблемою у цьому випадку являються важкі автопотяги, які розганяються, і яким просто не дозволяють перешикуватися "жваві" легкові автомобілі, що і гальмує весь транспортний потік (рис. 9).

Передбачити дану ситуацію на стадії проекту можна експертним шляхом, знаючи необхідні інтенсивності руху. В Німеччині таку оцінку здійснюють за допомогою імітаційного моделювання транспортних потоків в програмі PTV Vision VISSIM. Самим дешевшим покращенням даної ситуації може бути подовження області перешикування потоків за рахунок витягування лівоповоротного з'їзду вздовж основної дороги. Більш дорожчим рішенням являється влаштування прямого або напівпрямого лівоповоротного з'їзду, який дозволить взагалі уникнути ділянки пересічення потоків. Зменшенню кількості

Область пересічення потоків переноситься з основної дороги на з'їзд та зменшується кількість конфліктних точок для основного транспортного потоку. Пересічення потоків на з'їздах відбувається за менших швидкостей. Це, в свою чергу, збільшує пропускну здатність розв'язки та безпеку для водіїв.

Вулично-дорожня мережа м. Києва побудована по нормах для умов руху 60-х років, яким характерний рівень автомобілізації 60 авт./1000 жит. Склад руху в цей період був 80-90 % вантажних та 20 % легкових автомобілів.



Пікове навантаження у порівнянні з 60-ми роками не лише збільшилось, але й стало довшим. Якщо раніше пікове навантаження спостерігалось на протязі 1-2 годин, то тепер воно зберігається на протязі 10-18 годин, на багатосмугових дорогах максимальна інтенсивність зберігається протягом більшої частини доби. Істотно змінилась інтенсивність у ранковий, вечірній та нічний час. Якщо раніше годинна інтенсивність руху у цей момент складала 0,3-1 % від добового обсягу і складала до 30-50 авт./год, то в даний час її величина 100-150 авт/год, що для двосмугових доріг практично рівна розрахунковій годинній інтенсивності. При цьому, змінився склад руху: легкові автомобілі 60-90 %, вантажні 10-40 %; інтенсивність руху і розподіл добового обсягу руху по годинам доби.

Хронічне відставання дорожньо-мостового будівництва від реальних потреб міста, ускладнене різким ростом парку автомобільного транспорту, недостатня протяжність магістральних вулиць, дефіцит машино-місць для зберігання та паркування легкових автомобілів, а також недоліки проектування багатьох транспортних розв'язок призвело до того, що близько 80 % магістралей і транспортних вузлів, особливо у центральній частині міста, працюють на межі пропускної здатності.

Висновки

В результаті проведених натурних обстежень за режимами руху на транспортних розв'язках в м. Києві було встановлено, що протягом тривалого часу доби транспортні розв'язки працюють з максимальним завантаженням. Відсутність сучасних норм на проектування складних пересічень в різних рівнях часто призводять до прийняття неправильних рішень і неправильного розподілу ресурсів.

Для розробки норм проектування таких пересічень необхідно проводити детальні дослідження умов руху щільного транспортного потоку, спираючись при цьому на досвід закордонних країн.

Література

1. "Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог". Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1975.
2. Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П. Пересечения и примыкания автомобильных дорог: Учебн. пособие для авт.-дор. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высш. шк., 1989. – 319 с.
3. ДБН В.2.3-4-2007 "Автомобільні дороги. Споруди транспорту".
4. ДБН В.2.3-5-2001 "Вулиці та дороги населених пунктів. Споруди транспорту".
5. Полищук В.П. Исследование движения транспортных потоков на развязках автомобильных дорог: автореф. дис. канд.техн.наук – К., 1969.
6. Богаченко В.Н. Усовершенствование методов организации дорожного движения на развязках автомобильных дорог:автореф. дис. канд.. техн. наук – К., 1988.
7. Технические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог (ВСН 103-74). Минтрасстрой СССР. М., "Транспорт", 1975, 64 с.

Чечуга О.С., канд. техн. наук, Каськів С.В., Яремов А.П.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ГРУНТОВИХ ОСНОВ У РОЗРАХУНКАХ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. У статті розглянуто вибір розрахункової схеми для моделювання роботи основи і водопропускної труби та граничних умов.

Ключові слова: числове моделювання, навантаження, граничні умови, деформації, основа, водопропускна труба.

Аннотация. В статье рассмотрены выбор расчетной схемы для моделирования работы основания и водопропускной трубы и предельных условий.

Ключевые слова: численное моделирование, нагрузки, граничные условия, деформации, основание, водопропускная труба.

Annotation. The article considers the choice of a design scheme for the modeling of foundations and culverts, and boundary parameters.

Key words: numerical modeling, loading, boundary conditions, deformation, foundation, culverts.

Побудова моделі системи "споруда – основа" при числовому моделюванні методом скінчених елементів (МСЕ) згідно з теоретичними положеннями механіки ґрунтів і суцільного середовища є основою адекватності даних, отриманих в результаті розрахунку, і параметрів, властивих реальній системі. Виходячи з цього, аналіз побудови моделі і виявлення особливостей, які дозволяють добитися максимальної адекватності, є першорядними задачами при знаходженні НДС системи "споруда – основа" [1-5].

З основ МСЕ відомо [6-9], що для дослідження НДС системи "споруда – основа" з нескінченного напівпростору основи з деякими властивостями

виділяють деяку розрахункову область, тобто задача з нескінченним масивом зводиться до задачі з масивом скінчених розмірів. Надалі розглядають модель основи в плоскій постановці. Причому прийнято, що критерій вибору розмірів розрахункової області полягає в підборі таких величин, в межах яких виконуються дві умови:

1) на межах області вплив напружень від дії навантаженого фундаменту споруди зменшується;

2) деформації від дії навантаження на межах області прямують до нуля.

Друга умова – визначення меж області – достатньо докладно розглянута при розв'язуванні задач дії навантаження на основу скінченної товщини (модель скінченного шару) [10] і адекватність результатів досліджень такої моделі основи доводять правомірність її застосування.

Розглянемо дві типові схеми системи "споруда – основа", побудовані з урахуванням виконання вказаних умов (рис. 1).

У першій схемі (див. рис. 1, а) статична рівновага частини масиву забезпечується наявністю силових граничних умов у вигляді тиску, який визначають за формулами:

$$\text{вертикальний } \sigma_v = \gamma H \quad (1)$$

$$\text{горизонтальний } \sigma_r = K \gamma H \quad (2)$$

де γ – власна вага ґрунту;

H – глибина точки в якій визначають тиск;

K – геостатичний коефіцієнт (коефіцієнт бокового тиску) $K = \xi$.

О.В. Орнатський [11], М.О. Цитович [12] та інші автори пропонують враховувати коефіцієнт бокового тиску за формулою:

$$\xi = \frac{\nu}{1 - \nu}. \quad (3)$$

Дані силові граничні умови прикладаються до схеми виходячи з фізичного стану масиву і наявності в ньому тиску від власної ваги.

У другій схемі (див. рис. 1, б) статична рівновага розрахункової області забезпечується деформаційними граничними умовами у вигляді заборони переміщень меж моделі ($x = 0, y = 0$) по осях координат. Ці умови не суперечать фізичному значенню оскільки при статичній рівновазі в нескінченному масиві не відбувається переміщень точок від дії власної ваги. Відповідно, у вибраній розрахунковій скінченній області, на яку діють деякі навантаження також повинна дотримуватися умова відсутності переміщень меж даної області.

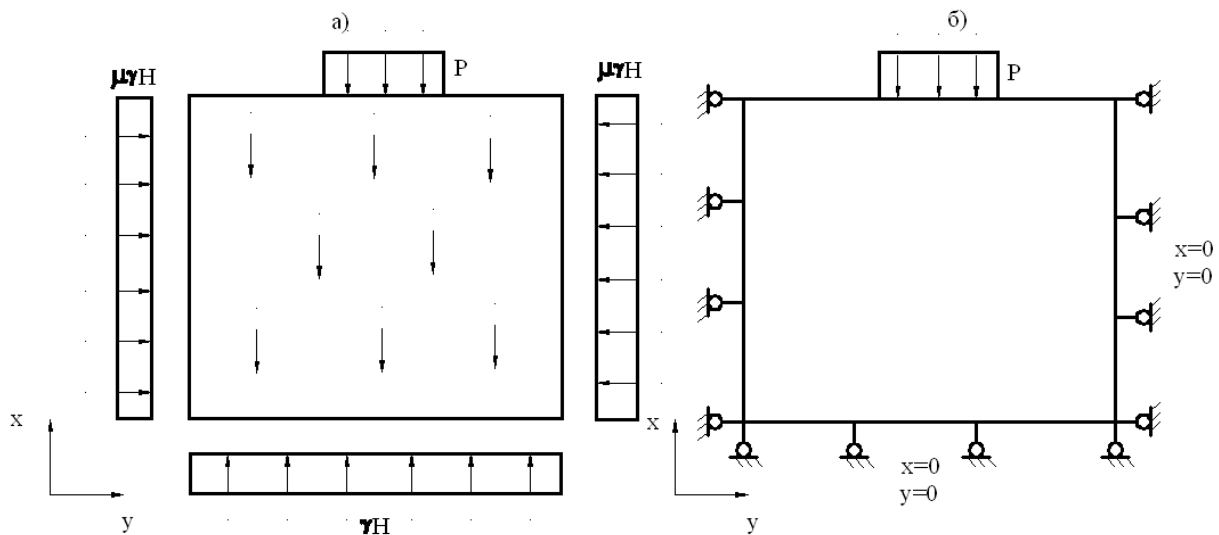


Рисунок 1 – Розрахункові схеми системи "споруда – основа":

- а) з силовими граничними умовами;
- б) з деформаційними граничними умовами

Перша схема побудови моделі не знайшла застосування в числовому аналізі НДС основ МСЕ, що пов'язано із значними труднощами забезпечення умов статичної рівноваги розрахункової області в канонічних рівняннях МСЕ [6, 9]. Тому її застосування за відсутності "жорстких в'язей" і забезпеченні рівноваги шляхом підбору силових граничних умов достатньо складно узгоджується з теоретичними основами МСЕ, в яких мається на увазі обов'язкова наявність в'язей [7].

Для моделювання роботи основи і водопропускної труби найкраще використовувати модель пружного напівпростору. Основою такої моделі є те, що ґрунт являє собою лінійно-деформоване середовище. Елементи, на які розбита труба, володіють властивостями матеріалу із якого вона виготовлена.

Література

1. Цытович Н.А. Механика грунтов / Цытович Н.А. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.
2. Фундаменты промышленных, гражданских и транспортных сооружений на слоистых грунтовых основаниях: [моногр.] / В.Б. Шве́ц, В.Г. Шаповал, В.Д. Петренко [и др.]. - Д.: Новая идеология, 2008. – 274 с.
3. Гольдштейн М.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / Гольдштейн М.Н., Царьков А.А., Черкасов И.И. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
4. Справочник по механике и динамике грунтов / В.Б. Шве́ц, Л.К. Гинзбург, В.М. Гольдштейн и др.: Под ред. В.Б. Шве́ца. – К.: Будівельник, 1987. – 232 с.
5. Клепиков С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании / Клепиков С.Н. – К.: НИИСК, 1996. – 202 с.
6. Городецкий А.С. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений / Городецкий А.С., Заворицкий В.И., Лантух-Лященко А.И., Рассказов А.О.– М.: Транспорт, 1981. – 144 с.
7. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. / Зенкевич О.К. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
8. Баженов В.А. Полуаналитический метод конечных элементов в механике деформируемых тел / Баженов В.А., Гусяр А.И., Сахаров А.С., Топор А.Г. – К.: НИИ строительной механики, 1993. – 376 с.
9. Основы метода конечных элементов / Большаков В.И., Яценко Е.А., Соссу Г. и др. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2000. – 255 с.
10. Далматов Б.И. Проектирование фундаментов зданий и промышленных сооружений / Под ред. Б.И. Далматова. – М.: Высшая школа, 1986. – 240с.
11. Орнатский Н.В. Механика грунтов / Н.В. Орнатский. – М.: Изд-во Московского университета, 1962. – 447.
12. Цытович Н.А. Механика грунтов / Цытович Н.А. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.

УДК 625.851

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Мінаков О.С.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ

Анотація. В статті розглянуто основні фактори, що призводять до утворення температурної сегрегації асфальтобетонної суміші під час транспортування. Встановлено вплив на фізико-механічні властивості асфальтобетону в покритті при наявності температурної неоднорідності. Обґрунтовано зниження довговічності покриттів, влаштованих з неоднорідною температурою.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, покриття, температурна сегрегація, транспортування, втрати тепла, теплопровідність, пористість, асфальтоукладальник.

Аннотация. В статье рассмотрены основные факторы, которые приводят к образованию температурной сегрегации асфальтобетонной смеси при транспортировке. Установлено влияние на физико-механические свойства асфальтобетона в покрытии при наличии температурной неоднородности. Обоснованно снижение долговечности покрытий, устроенных с неоднородной температурой.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, покрытие, температурная сегрегация, транспортировка, потери тепла, теплопроводность, пористость, асфальтоукладчик.

Annotation. The article describes the main factors which lead to the formation of temperature segregation of asphalt mixes during transportation. The influence on

the physical and mechanical properties of asphalt concrete in presence of temperature inhomogeneity is determined. The reduction of pavement durability arranged with temperature inhomogeneity is substantiated.

Key words: asphalt concrete mix, pavement, thermal segregation, transportation, heat loss, thermal conductivity, porosity, paver.

Асфальтобетонні шари дорожніх одягів, особливо верхній шар, є найбільш відповідальними з позиції сприйняття навантажень від транспортних засобів та руйнівної дії погодно-кліматичних факторів. Складність умов роботи конструкцій дорожнього одягу вимагають високої якості влаштування шарів з гарячих асфальтобетонних сумішей.

Особливістю влаштування шарів з гарячих асфальтобетонних сумішей є температурна залежність від всіх технологічних процесів, починаючи з моменту приготування даної суміші в асфальтозмішувачі, відвантаження суміші в кузов автосамоскида, перевантаження з автосамоскида до бункеру асфальтоукладальника, укладання асфальтобетонної суміші і до закінчення ущільнення суміші на об'єкті укладання. Порушення однорідності структури асфальтобетонних шарів за щільністю при будівництві, в процесі експлуатації обумовлює появу та накопичення внутрішніх напруг під дією транспортного навантаження та факторів навколишнього середовища, внаслідок чого відбувається прискорене утворення тріщин, вибоїн та інших руйнувань на дорожньому покритті [1].

Для високоякісного укладання асфальтобетонної суміші в шари дорожнього одягу необхідно, щоб температура даної суміші була приблизно однакова за об'ємом, інакше щільність суміші при укладанні та ущільненні буде значно відрізнятися [2]. Градієнт різниці температур в об'ємі суміші перед її укладанням повинен бути мінімальним. Низька теплопровідність асфальтобетонної суміші призводить до того, що сегрегована суміш в процесі укладання не прогрівається до рівномірної температури. Внаслідок чого утворюються ділянки, які мають температуру значно меншу, ніж загальна температура покриття. При збільшенні температурної неоднорідності підвищується вірогідність отримання недоущільнених ділянок покриття, схильних до підвищеного водонасичення, що характеризуються зниженою міцністю та зсувостійкістю. Такі дефектні ділянки руйнуються значно швидше, особливо при температурі оточуючого повітря близько 0 °C, оскільки волога,

що знаходиться в шарі асфальтобетону переходить в твердий стан. Як наслідок, лід збільшується в об'ємі, що і призводить до руйнування покриття. Тому удосконалення існуючих технологій будівництва та ремонту автомобільних доріг з метою забезпечення необхідної якості влаштування асфальтобетонних шарів є актуальною проблемою.

Виходячи з аналізу літературних джерел однією з основних причин неоднорідності асфальтобетонних шарів за структурою, щільністю та відповідно і міцністю є температурна сегрегація асфальтобетонної суміші, що виникає при її транспортуванні з асфальтобетонного заводу, перевантаженні суміші з транспортного засобу до бункера асфальтоукладача та при укладанні її в дорожній одяг [3]. Температурна сегрегація це нерівномірний розподіл температури суміші за її об'ємом, внаслідок чого при вкладанні шару дорожнього одягу виникають зони зі зниженою температурою або градієнтом температур (рис.1).

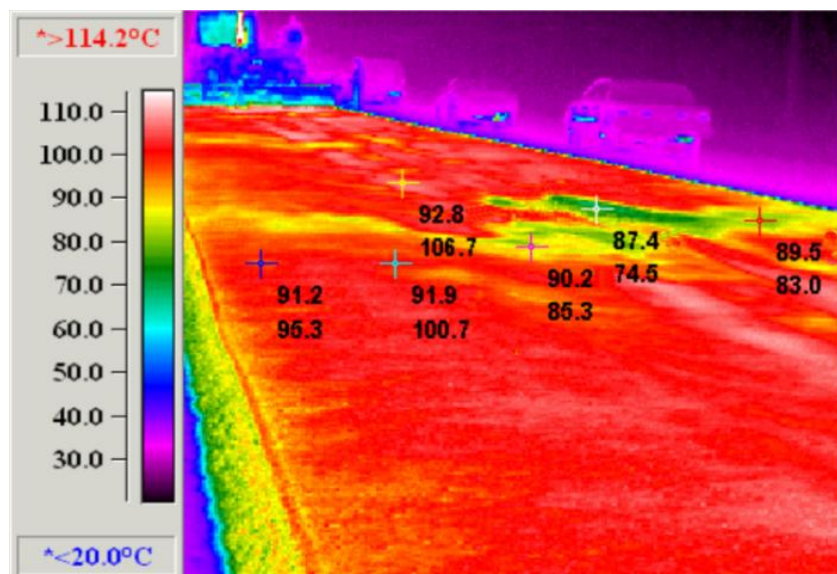


Рисунок 1 – Інфрачервоне зображення укладеного асфальтобетонного покриття із неоднорідністю температур за площею

Тому важливо температурну сегрегацію асфальтобетонної суміші звести до мінімуму для того, щоб перед укладанням різниця температур була незначною. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є мінімізація температурної сегрегації на етапі транспортування асфальтобетонної суміші від заводу до об'єкта укладання [4,5].

Транспортні процеси при будівництві шарів дорожнього покриття займають важливу частину будівельного процесу. При влаштуванні асфальтобетонних покриттів із гарячих сумішей основним фактором, що впливає на забезпечення експлуатаційних показників покриття є температура. Під час транспортування суміші відбуваються складні процеси взаємодії матеріалу із зовнішнім середовищем. Фізична природа процесів, що викликають температурну сегрегацію до теперішнього часу вивчена недостатньо, внаслідок впливу на її виникнення великої кількості різноманітних чинників. З моменту завантаження суміші до кузова автосамоскида починаються втрати тепла, які залежать від багатьох факторів, таких як: температури суміші при навантаженні в автосамоскид; температури навколишнього середовища; швидкості та напрямку вітру при транспортуванні суміші; вологості повітря; присутності термоізоляції кузова та його підігріву; розміру кузова по відношенню до кількості суміші що перевозиться, та його геометричних параметрів; відстані та швидкості перевезення; часу затримки в дорозі; часу очікування до укладки тощо [6].

При транспортуванні асфальтобетонної суміші за рахунок віддачі тепла в навколишнє середовище відбувається зниження температури на поверхні даної суміші в кузові транспортної машини, що призводить до нерівномірності розподілу температури за об'ємом суміші при її розвантаженні та укладанні в дорожнє покриття [7]. Коли суміш завантажена до кузова автосамоскида, по його периметру одразу починаються втрати тепла (рис.2).



Рисунок 2 – Втрати тепла із кузова автосамоскида в навколишнє середовище

На шляху прямування самоскида від асфальтобетонного заводу до місця укладання, асфальтобетонна суміш у кузові остигає нерівномірно (рис. 3). Суміш, що знаходиться на поверхні, а також контактує з дном і бортами кузова автосамоскида, особливо з заднім бортом, остигає швидше ніж в центрі.



Рисунок 3 – Нерівномірність остигання суміші в кузові автомобіля

При розвантаженні самоскида суміш від заднього борту першою потрапляє до прийомного бункеру асфальтоукладальника. Далі живильник асфальтоукладальника подає суміш до шнекової камери, яка розподіляє суміш по ширині смуги укладання. Одразу за сумішшю від заднього борту потрапляє до бункеру і основна гаряча маса, а за нею більш остигла суміш від бокових та переднього бортів самоскида. Процес повторюється при розвантаженні наступного самоскида. Остиглі «шматки» цілком потрапляють під ущільнювальні агрегати асфальтоукладальника, які не можуть ущільнити їх до тій же щільності, що і решту гарячої суміші. Уздовж покриття приблизно через рівні проміжки утворюються «холодні плями» недостатньо ущільненого асфальтобетону. Щоб уникнути температурної сегрегації, застосовують автосамоскиди з кузовом який підігрівається, а також здійснюють перемішування суміші перед подачею в приймальний бункер укладальника, зокрема, за допомогою мобільного перевантажувача (рис. 4).

Іншою причиною, є звичка українських дорожників підіймати відкидні борти («открылки») асфальтоукладача. Якщо це робити після кожного вивантаженого автосамоскида, можна отримати «холодні плями», що знаходяться одна від одної майже на рівних відстанях вздовж укладеної смуги, оскільки суміш на «открылах» сильно охолоджується та попадає до загального об'єму асфальтобетонної суміші, що укладається.



Рисунок 4 – Перевантажувач Shuttle Buggy SB-2500 фірми Roadtec

Дослідження показали, якщо температура «холодної плями» всього на 14°C менше середньої температури суміші, що укладається асфальтоукладальником, то після ущільнення в районі плями пористість асфальтобетону більш ніж на 2 % перевищує середню, тобто при середній пористості асфальтобетону у покритті 5 %, в зоні «холодної плями» буде більше 7 %, що при подальшій експлуатації даної ділянки покриття призведе до передчасної появи локальних пошкоджень [8].

Слід також врахувати, що для транспортування гарячих сумішей часто використовують транспорт загального призначення без застосування додаткового обладнання (чохли, брезент, обігрів). Це сприяє підвищенню інтенсивності охолодження суміші і зменшує час перебування суміші в заданому температурному інтервалі.

Температура гарячої асфальтобетонної суміші при відвантаженні споживачам регламентована і залежить від марки бітуму. Відомо, що для кожної марки бітуму існують найбільш ефективні температурні інтервали, в межах яких можна досягти необхідну щільність після ущільнення суміші в покритті. Залежно від марки бітуму передбачені різні температурні режими асфальтобетонної суміші на початку ущільнення, згідно положень ДСТУ Б В.2.7-119 (табл. 1), що дозволяє визначати час транспортування суміші до її остигання нижче температур, які регламентуються зазначеним нормативним документом. На жаль, в Україні температура при якій передбачено закінчення

ущільнення асфальтобетонних сумішей різних типів не регламентована нормативними документами.

Таблиця 1 – Температура асфальтобетонних сумішей на початку ущільнення [9]

Клас суміші	Марка бітума	Температура, °С, на початку ущільнення асфальтобетонних сумішей	
		з вмістом щебеню більше 45 % за масою	з вмістом щебеню менше 45 % за масою
Гаряча	БНД 40/60	150-155	130-140
	БНД 60/90	145-150	115-130
	БНД 90/130	135-145	105-115
	БНД 130/200	120-135	90-105

У зв'язку з вище викладеним зниження впливу температурної сегрегації на формування однорідної структури асфальтобетонних шарів, особливо дорожніх покриттів, є перспективним та актуальним завданням.

Висновки

– На автомобільних дорогах України переважають дорожні конструкції з асфальтобетонними покриттями. Їх якість залежить не тільки від складу асфальтобетонних сумішей, але і від температури їх укладання та ущільнення.

– Теорія та практика свідчать про те, що температура асфальтобетонної суміші при її укладанні не завжди однакова, що призводить до варіювання щільності по площі покриття при використанні навіть однакових засобів і технології ущільнення. Температурна неоднорідність асфальтобетонної суміші приймається, як наслідок температурної сегрегації.

– Температурна сегрегація асфальтобетонної суміші обумовлена впливом на суміш погодно-кліматичних факторів (опадів, вітру, температури повітря, вологості, сонячної радіації, тощо) та різною теплопровідністю контактуючих середовищ в системі: асфальтобетонна суміш – кузов транспортного засобу – захисні засоби.

– Для зниження рівня температурної сегрегації та поліпшення температурної однорідності асфальтобетонної суміші необхідно розробити ефективні заходи, щодо удосконалення організації транспортної роботи при перевезенні суміші і технічне вдосконалення транспортних засобів з метою їх термоізоляції.

Література

1. Семенов В. А. Качество и однородность автомобильных дорог / Семенов В.А. – М.: Транспорт, 1989. – 125 с.
2. Леонович И.И. Программный комплекс для исследования температурной сегрегации в асфальтобетонной смеси / Леонович И.И., Ковальчук А.С., Пумпур В.А. – Ukio technologinis ir ekonominis vystymas. 2005. – Vol XI, №4, С. 297 – 301.
3. Brock J.D. Temperature Segregation. Temperature Differential Damage: Technical Paper T-134 / Brock J.D., Jakob H. – ASTEC Industries Inc. Chattanooga, USA, 1998. – pp. 23.
4. Леонович И.И. Содержание и ремонт автомобильных дорог. Ч.1. Общие вопросы содержания и ремонта / Леонович И.И. – Минск: БНТУ, 2003. – 270 с.
5. Леонович И.И. Содержание и ремонт автомобильных дорог. Ч.2. Технология и организация дорожных работ / Леонович И.И. – Минск: БНТУ, 2003. – 470 с.
6. Вознесенский В.А. Однородность как критерий оценки качества бетона / Вознесенский В.А., Должинков Ю.П., Ламин В.Г. – Кишинев, 1967. – 239 с.
7. Зубков А.Ф. Технология устройства покрытий нежесткого типа из асфальтобетонных горячих смесей: учеб. Пособие / А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, Т.И. Любимова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 80 с.
8. Радовский Б.С. Сегрегация асфальтобетонных смесей и методы борьбы с ней в США // Дорожная техника. Каталог-справочник. – 2007. – С. 26-40.
9. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный: ДСТУ Б В.2.7-119-2003. – [Действителен от 2003-02-25]. – К.: Госстрой Украины, 2003. – 45 с. – (Государственный стандарт Украины).

Мозговий В.В. д-р техн. наук., **Онищенко А.М.** канд. техн. наук,
Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В. (НТУ)
Резнік Ю.Л., Аксьонов С.Ю. (Петро–Хім Технології)

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА АПРОБАЦІЯ БІТУМНОГО В'ЯЗУЧОГО «ПОЛІГУМ» В УМОВАХ УКРАЇНИ

Вступ

Сьогодні значне збільшення інтенсивності дорожнього руху (на 55% з 1986 до 2011 року), максимального навантаження на вісь автомобіля (зі 100 кН до 115 кН), ефективності транспорту (навантаження на одну вантажівку) й перехід на одиночні шини негативно впливають на міжнародну дорожню систему. Такі зміни вимагають, щоб покриття доріг було водночас міцним, довговічним, комфортним і безпечним.

У розвинених країнах під час будівництва доріг використовують технології на основі модифікованих/покращених бітумів для підвищення довговічності дорожнього покриття і, як результат, зниження витрат на ремонт доріг. Перевага використання звичайних бітумів в Україні супроводжується прискореним колієутворенням, руйнуванням доріг, надмірною кількістю ямкових ремонтів і, як результат, значними витратами на обслуговування не лише побудованих раніше, але й нових доріг.

Використання звичайних методів модифікації бітумів, які застосовуються в Україні (тобто додавання низького відсотка полімеру в бітум «наосліп» без аналізу групового складу початкового бітуму й обліку сумісності бітуму та полімеру), не дає бажаних результатів через специфічний склад бітумів і відсутності досвіду у сфері нафтохімії. У зв'язку із цим в Україні у 2008 році фахівцями компанії «Петро-Хім Технології» (Великобританія), що має більш ніж 60-річний досвід роботи з нафтопродуктами, які отримують з легкої та важкої нафти, була створена сучасна лабораторія, де разом з експертами із США, Німеччини, Франції, Італії та Греції упродовж трьох років проводилося вивчення й аналіз існуючих у країнах СНД технологій виробництва бітуму, їх групового складу. За цей період здійснено більше 2500 експериментів із поліпшення властивостей українських, російських, казахських і білоруських

бітумів, представлених на національному ринку [1-8]. Метою цього дослідження було створення технології із модифікації вищезгаданих бітумів без яких-небудь змін у технологічному процесі їх виробництва, без внесення коригувань в існуючі норми на якість бітумів, без створення нових нафтопереробних заводів із виробництва залишкових бітумів із важкої нафти, що вимагають значних фінансових інвестицій і часу.

Результатом трирічного дослідження стало створення унікальної технології поліпшення якості місцевих бітумів шляхом їх модифікації полімерами. Новий покращений бітум дістав назву полімерно-бітумне в'язуче «Полігум». Унікальність цього продукту і технології пов'язана із складністю процесу модифікації бітумів. У даному випадку технологія отримання ПБВ «Полігум» – це складний високотехнологічний процес, що включає стадії підготовки початкового бітуму, розробки необхідного модифікатора або групи модифікаторів, вибору необхідних умов модифікації для досягнення «фазової інверсії» і зміни мікроструктури в'язучого, а також вибору специфічних добавок. Результати випробувань ПБВ «Полігум» наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні параметри ПБВ «Полігум», отримані на основі місцевого бітуму 60/90

	Назва показника	Одиниця вимірювання	Держстандарт України ДСТУ Б В.2.7-135:2007	Внутрішній стандарт компанії «Петро-Хім Технології»	Фактичне значення ПБВ «Полігум»
1	Пенетрація за температури 25°C 0°C	0,1 мм	40-60 -	55-62 25	59 27
2	Температура розм'якшення	°C	не нижче 56	≥ 75	82
3	Розтяжність за температури 25 °C 0 °C	см	не менше 20 не менше 4	не менше 50 не менше 15	72 26
4	Температура крихкості	°C	не вище -12	≤ -23	-27
5	Еластичність за температури 25°C 0°C	%	не менше 50 -	≥95 ≥70	96 70
6	Зміна властивостей після прогріву				
	Температура розм'якшення	°C	не більше 6	не більше 4	4
	Залишкова пенетрація	%	не менше 60	не менше 80	95
7	Температура спалахнення у відкритому тиглі	°C	240	240	290
8	Зчеплення із поверхнею	5/95	не менше 5/95	не менше 5/95	5/100
9	Однорідність		Однорідне	Однорідне	Однорідне
10	Розшарування при зберіганні				
	Різниця температур розм'якшення	°C	не більше 12	не більше 5	3
	Різниця пенетрацій за температури 25°C	0,1 мм	не більше 40	не більше 13	5
11	Стійкість до старіння				
	Зміна маси	%	-	≤0,3	0,3
	Залишкова пенетрація	0,1 мм	-	≥60	84
	Збільшення температури розм'якшення	°C	-	≤8	4
12	Інтервал пластичності	°C	≥68	≥100	109
13	Динамічна в'язкість за температури				
	180 °C	сПз	-	200-500	325
	160 °C			500-700	600
	135 °C			≤2100	1900
14	Дисперсія полімерів		-	Наявність контролю	Фазова інверсія

Головними перевагами ПБВ «Полігум» є такі характеристики:

- м'якість в'язучого при низьких температурах у зимовий час для того, щоб понизити можливість низькотемпературного тріщиноутворення;
- жорсткість в'язучого при високих температурах у літній час для того, щоб уникнути колієутворення;
- необхідна в'язкість, яка дозволить без яких-небудь проблем використати в'язуче при виготовленні асфальтобетону, його укладання й укочування;
- висока стабільність продукту з підвищеною стійкістю до старіння і процесів окислення;
- висока адгезія до мінеральної складової асфальтобетону.

З метою об'єктивної оцінки ПБВ «Полігум», що виробляється, і його практичної реалізації була створена лабораторія із вивчення властивостей асфальтобетону на основі розробленого в'язучого. Налагоджена співпраця з провідними науково-дослідними інститутами та науковими школами з різних країн, які займаються проблемами якості доріг, безпосередньо проведені випробування асфальтобетону на основі ПБВ «Полігум» у Національному транспортному університеті (м. Київ, Україна), Державному дорожньому науково-дослідному інституті ім. М. П. Шульгіна (м. Київ, Україна), Центрі метрології, випробувань і сертифікації ЦМВіС (м. Москва, Росія), ТОВ «Дорексперт» (м. Москва, Росія), ТРА (Technische Prfanstalt) лабораторній організації із забезпечення якості й інновацій холдингу «Strabag SE» (м. Штутгарт, Німеччина).

Отримані результати свідчать про значне поліпшення фізико–механічних характеристик асфальтобетону на ПБВ «Полігум» порівняно з характеристиками асфальтобетону на звичайному бітумі:

- збільшення міцнісних характеристик на 30–50%;
- зменшення колієутворення – до 2 мм після 10000 проходів;
- підвищення втомної тріщиностійкості та довговічності більше, ніж удвічі;
- збільшення водо- й морозостійкості асфальтобетону;
- підвищення стійкості асфальтобетону до старіння;
- можливість зменшити товщину і, як результат, вартість дорожнього покриття.

У 2011 році компанія «Петро-Хім Технології» побудувала 2 заводи зі спрямованої модифікації низькоякісних бітумів, що виробляються в Україні та країнах СНД. Виробнича потужність кожного з них складає до 500 тонн ПБВ на добу.



Рисунок 1 – Завод з виробництва ПБВ «Полігум» компанії «Петро-Хім Технології» в м. Узин

Окрім цього, реалізовані проекти із будівництва експериментальних ділянок із використанням ПБВ «Полігум» на вул. Урлівська і частини вул. Артема в м. Київ, а також на вул. Полбіна і Першому Капотненському переїзді в м. Москва. Загальна площа цих об'єктів склала більше 30000 кв. м. Застосування ПБВ «Полігум» здійснювалося на різних типах асфальтобетонних сумішей: високощільний асфальтобетон типу Б-20, щільний багатощелебевий асфальтобетон І марки, литий асфальтобетон ІІ типу і щебенево-мастиковий асфальтобетон ЩМАС-15.



Рисунок 2 – Влаштування асфальтобетонного покриття на ПБВ «Полігум»

У результаті проведених дослідно-експериментальних робіт практиками дорожнього будівництва зроблені наступні висновки:

- при зберіганні ПБВ «Полігум» у витратних ємностях, в'язуче не розшаровується й не втрачає своєї однорідності;
- асфальтобетонні суміші на основі ПБВ «Полігум» легко укладаються й ущільнюються, а покриття характеризується хорошою фактурою;

- при укладанні асфальтобетонних сумішей на основі ПБВ «Полігум» не виникає потреби в додаткових коштах і механізмах, тобто достатнє застосування традиційних ущільнюючих машин;

- незважаючи на відносно низьку температуру довкілля у момент укладання (від 0 до $-5-8^{\circ}\text{C}$ при будівництві експериментальних ділянок у Москві), асфальтобетонна суміш на основі ПБВ «Полігум» зберігає хорошу рухливість і здатність до ущільнення при робочих температурах ($140-150^{\circ}\text{C}$).

Позитивно відгукнулися про ПБВ «Полігум» ті дорожньо-будівельні організації, які брали участь у будівництві вище перерахованих експериментальних ділянок доріг: «Ростдорстрой» (м. Одеса, Україна), компанія «Асдор» (м. Москва, Росія), АБЗ-4 «Капотня» (м. Москва, Росія), ТОВ «Дорексперт» (м. Москва, Росія). Вони готові й далі співпрацювати на інших дорожніх об'єктах, зауваживши, що постачання матеріалу (ПБВ «Полігум») здійснювалося за замовленнями вчасно й без затримок.

Підводячи підсумок, хотілося б відзначити, що можна довго говорити про застаріле обладнання на нафтопереробних заводах чи технології виробництва бітуму, про проблеми його зберігання на АБЗ й нормативні документи, що втратили актуальність, але це ні до чого не призведе, оскільки на зміни й удосконалення всього вищезазначеного можуть знадобитися десятки років, а якісні дороги в Україні потрібні вже сьогодні.

Тому компанія «Петро-Хім Технології» заявляє про те, що вже сьогодні готова робити полімерно-бітумне в'язуче стабільної якості з вітчизняної сировини для виготовлення високоякісного асфальтобетону, такого необхідного при будівництві доріг за світовим стандартом.

Водночас для контролю якості й вивчення різних в'язучих матеріалів і асфальтобетону на їх основі ми рекомендуємо впровадити технічні паспорти об'єктів на кожен об'єкт або ділянку дороги, у якій би зазначалася вся необхідна інформація про в'язуче, асфальтобетон, температурні режими укладання й укочування, організації, що виконувала будівництво. Така інформація надалі дозволила б науковцям, замовникам і підрядникам зрозуміти й проаналізувати вплив того чи іншого в'язучого на довговічність дорожнього покриття в різних кліматичних умовах України. Саме такий підхід використовує у своїх дослідженнях компанія «Петро-Хім Технології», не зупиняючись на досягнутому ні на крок.

Висновок

Нове полімерно-бітумне в'язуче «Полігум» є унікальним продуктом на території України. Його розробка відбувалася комплексно, з урахуванням не тільки вимог українських, російських та європейських стандартів, але й особливостей клімату та інтенсивності дорожнього руху України.

Література

1. Онищенко А. М. Оцінка впливу компаундового в'язучого «POLYGUM» на властивості асфальтобетону / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Лаптева Н. С., Аксьонов С. Ю., Козлов П. В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2009 – Вип. 77. - С. 28-37.
2. Патент на корисну модель № 47616 «В'язуче «Полігум»» 10.02.2010 р. (Онищенко А. М., Мозговий В. В., Козлов П. В., Резник Ю. Л., Шверцер Ю. М.).
3. Онищенко А. М. Вплив в'язучого «полігум» на підвищення довговічності асфальтобетонних доріг і мостів / Онищенко А. М., Мозговий В. В., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С., Резнік Е. Л. // Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. – 2010 - С. 218-223.
4. Онищенко А. Н. Повышение долговечности асфальтобетонных покрытий при использовании битумного вяжущего «ПОЛИГУМ» / Онищенко А. Н., Мозговой В. В., Резник Е. Л., Амбарцумов Д. А. // Дорожная техника. – 2010 – С. 79-80.
5. Онищенко А. Н. Повышение долговечности асфальтобетонных покрытий при использовании битумного вяжущего «ПОЛИГУМ» / Онищенко А. Н., Мозговой В. В., Резник Е. Л., Амбарцумов Д. А. // Ассоциация исследователей асфальтобетона. – 2010 - С. 40-47.
6. Онищенко А. Н. «ПОЛИГУМ» для повышения долговечности асфальтобетонных покрытий / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Резник Е. Л., Амбарцумов Д. А. // Дорожная держава. – 2010 - № 24 – С. 58-61.
7. Онищенко А. Н. Влияние вяжущего «Полигум» на повышение долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог и мостов / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Резник Е. Л., Амбарцумов Д. А. // Материалы республиканской научно-практической конференции. – 2010 – С. 99-104.
8. Мартинюк О.Г. ПБВ «ПОЛІГУМ» - Технологія спрямованої модифікації бітумів, які застосовуються на ринку України/Дорожня галузь України №1 2012 С.40-43.

Мусяца О.Н., канд. хім. наук, Кунілов П.Д.

ПІДПРИЄМСТВА КОЛЬОРОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ ЯК ДЖЕРЕЛО ПОСТАЧАННЯ ШЛАКІВ – ОСНОВНОЇ СКЛАДОВОЇ ШТУЧНИХ ЦЕМЕНТІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. У статті наведено літературний огляд і власні дослідження різних технологій переробки промислової сировини кольорової металургії з одержанням як відвальних матеріалів шлаків з різними кислотно-основними властивостями. Модифікування складу шлаків введенням у його склад різних домішок, в залежності від потреб, відкриває нове джерело постачання будівельного господарства в'язучими матеріалами.

Ключові слова: промислова сировина, технології, шлаки, утилізація, модифікування, штучні цемент.

Аннотация. В статье приведен литературный обзор и результаты собственных исследований различных технологий переработки промышленного сырья цветной металлургии с получением в качестве отвальных материалов шлаков с различными кислотно-основными свойствами. Модификация состава шлаков введением в них различных добавок, в зависимости от задач, открывает новый источник снабжения строительной отрасли вяжущими материалами.

Ключевые слова промышленное сырьё, технологии, шлаки, утилизация, модификация, искусственные цементы.

Annotation: In the article there were given literary review and the results of own researches of different technologies of the processing of industrial raw materials of nonferrous metallurgy. Consequently we acquire the slag with different acid-base properties in the capacity of waste materials. The modification of slag composition by introduction of different additives, gives us the new source of supply of building industry with binding materials.

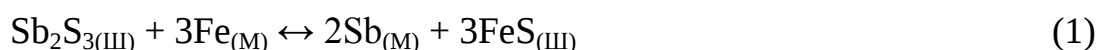
Key words: industrial raw materials, technologies, slag, utilization, modification, artificial cements.

Вступ

Природна сировина підприємств кольорової металургії є поліметалічною, сульфідно-оксидною з суттєвим вмістом як баласту кальциту, бариту, кварциту, глинозему, оксидів феруму і т.п. У процесах пірометалургійної переробки такої сировини, в яких звстосовуються як флюси і ошлаковуючи матеріали гідроксиди, сульфати, карбонати лужних та лужно-земельних металів, утворюється велика кількість умовно відвальних шлаків. За технологічним циклом шлаки вивозяться на шлакосховище, яке займає величезну територію під відкритим небом. Розкладаючись, вони є джерелом екологічної небезпеки. У той же час, за своїм хімічним складом, шлаки нагадують вихідну сировину для одержання цементів різного призначення. Звідси актуальною задачею практиків і науковців є утилізація всіх відвальних матеріалів з метою покращення екології навколишнього середовища и економіки металургійних виробництв за рахунок отримання нової товарної продукції у вигляді в'язучих матеріалів, керамічної плитки і т.п.

Аналіз та обговорення результатів. Переробку сульфідно-оксидної сурм'яної сировини здійснюють декількома пірометалургійними методами [1].

1. Осаджувальна плавка. Основна реакція осаджувальної плавки є гетерогенною і може бути представлена рівнянням:



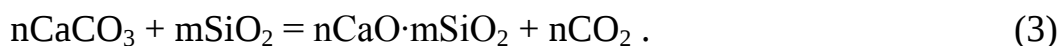
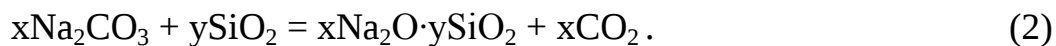
індекси (М) і (Ш) відповідно позначають металеву і штейнову фази.

При переробці реальної сурм'яної сировини осаджувальною плавкою поряд з основною реакцією (1) відбуваються побічні процеси – відновлення оксидних форм сурми (Sb_2O_3 , Sb_2O_4 , Sb_2O_5), взаємодія сульфиду сурми з її оксидами і флюсами. Крім того процеси супроводжуються взаємодією сульфиду і оксидів сурми з оксидами і сульфідами різних супутніх елементів, а також із флюсуючими і ошлаковуючими добавками (Na_2SO_4 , CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 і т.п.). Як результат взаємодії, утворюються метал, штейни і шлаки. Для одержання задовільних результатів осаджувальну плавку проводять за помірних температур. Надмірний перегрів розплаву підвищує взаємну розчинність фаз, що супроводжується отриманням збагачених на сурму штейну і шлаку, підвищенням вмістом заліза у чорновій сурмі, а також втратами сурми із субліматами.

Тому склад флюсів при осаджувальній плавці підбирають таким чином, щоби шлак, який отримується, був достатньо легкоплавким і текучим. Цим вимогам відповідають шлаки систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{SiO}_2$; $\text{CaO}-\text{FeO}-\text{SiO}_2$; $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ і декотрі інші. Перша систма знайшла широке застосування в практиці відбивних плавок сурм'яної сировини. Система $\text{CaO}-\text{FeO}-\text{SiO}_2$ є однією з основних шлакових систем в металургії кольорових металів. Область складів з мінімальною температурою плавлення ($1100-1150^\circ\text{C}$) і в'язкістю (15-30 Пз при $1250-1300^\circ\text{C}$) відповідає такому співвідношенню компонентів (мас.%): (10-25) CaO ; (25-40) FeO ; (40-50) SiO_2 [2]. Ця система досить рідко використовується у практиці виробництва сурми, але є перспективною при застосуванні відбивної плавки сурм'яної сировини, оскільки розчинність оксидів і сульфїду сурми у вапнякових шлаках нижче ніж у лужних.

При електроплавці сурм'яної сировини, навіть при помірному введенню у шихту вугілля або коксу, у печі за рахунок згоряння електродів підтримується сильно відновлювальна атмосфера, що унеможливорює застосування залізистих шлаків. Найбільш вигідною у цьому випадку є система $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$. Рухомі при $1250-1350^\circ\text{C}$ шлаки цієї системи вміщують (мас.%): (15-25) Na_2O ; (15-25) CaO ; (50-65) SiO_2 . Спроби застосування при плавці сурм'яної сировини шлакової системи $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ [3] не мали практичного успіху у зв'язку з підвищеними тугоплавкістю і в'язкістю шлаків даної системи.

Як флюси-шлакоутворювачі при плавках сурм'яної сировини зазвичай застосовуються кальцинована сода (Na_2CO_3), вапняк або вапно [CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$], сульфат натрію (Na_2SO_4), плавиковий шпат (CaF_2), багата залізна руда і т.п. Ошлакування відбувається за реакціями:



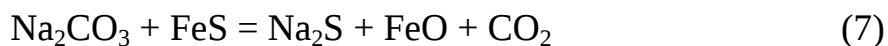
Сульфат натрію за помірних температур взаємодіє із кремнеземом тільки у присутності відновника [6, 11]:



Як відновник у цьому випадку є не тільки вуглець, але і металеве залізо:



Оксид феруму (II) утворюється у складі шлаку за реакціями (5-7):



або шляхом безпосереднього дозування його у шихту у вигляді залізної руди.

Таблиця 1 – Приблизний матеріальний баланс осаджувальної плавки сурм'яного концентрату у відбивних (I) і електропечах (II)

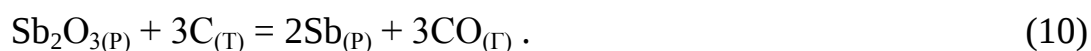
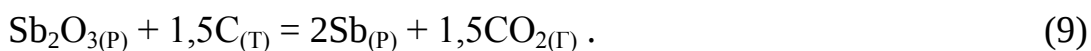
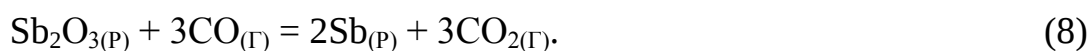
Вихідні матеріали і продукти плавки	Витрати і вихід, % від маси концентрату		Вміст Sb, %		Розподіл Sb, %	
	I	II	I	II	I	II
Завантажено:						
Сурм'яний концентрат	100	100	32	32	100	100
Залізна стружка	28	15	-	-	-	-
Кальцинована сода	30	25	-	-	-	-
Вапняк	-	20	-	-	-	-
Кам'яне вугілля	6	3	-	-	-	-
Всього	164	163	19,5	19,7	100	100
Отримано:						
Чорновий метал	25	30	90	90	70	85
Штейн	20	30	5	3	3	3
Шлак	85	70	1	0,5	3	1
Пил (сублімат)	10	6	65	55	20	10
Втрати з газами і невраховані	24	27	-	-	4	1
Всього	164	163	-	-	100	100

Шлаки осаджувальної плавки мають різний склад в залежності від типу плавильного агрегату. При плавці у відбивних печах отримують шлаки, що вміщують (мас.%): (1-2)Sb; (2-4)S; (35-45)SiO₂; (25-35)FeO; (12-17)Na₂O; (2-8)Al₂O₃; (3-6)CaO; (1-3)MgO, а також до десятих часток процента As, Pb, Cu та інших домішок. Густина шлаку відбивних печей коливається у межах 2,8-3,2

г/см³. Шлаки електроплавов вміщують (мас.%): (0,2-0,8)Sb; (1-2)S; (50-60)SiO₂; (2-5)FeO; (12-15)Na₂O; (3-10)Al₂O₃; (15-20)CaO; (1-4)MgO; домішки миш'яку і важких кольорових металів практично відсутні. Густина шлаку електропечей – 2,2-2,5 г/см³. Шлаки осаджувальної плавки вважаються відвальними.

Вапнякові шлаки, як показано багатьма дослідниками [1-18] і нами можуть бути використані для виробництва декотрих будівельних матеріалів і виробів: мінеральної вати, шлакокристалічного лиття, шлакової пемзи і т.п.

2. Відновлювальна плавка. Відновлювальній плавці підлягають переважно оксидвмісна сурм'яна сировина (Sb₂O₃). Відновлення оксиду відбувається за реакціями:



При відновлювальній плавці сурм'яної сировини застосовуються, практично, ті ж самі шлакові системи, що і при осаджувальній плавці.

Основними компонентами шлаку відновлювальної плавки у відбивних печах зазвичай є оксиди кремнію і натрію, які утворюють легкоплавкі (800-900⁰С) сполуки і їх суміші при масових співвідношеннях Na₂O/SiO₂, що дорівнюють від 2/3 до 1/3.

При електроплавці найбільш доцільнішим є застосування шлакової системи Na₂O-CaO-SiO₂ із вмістом SiO₂ не вищим за (40-45) мас.% при співвідношенні Na₂O/CaO ≥ 1. Застосовуються також як флюси залізисті матеріали з отриманням шлаків системи CaO-FeO-SiO₂. Вміст СО при цьому у газовій суміші (СО + СО₂) не повинен перевищувати при 900-1200⁰С 65-75 % для того, щоби не відбувалося відновлення FeO [4].

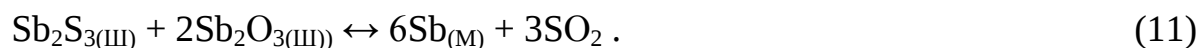
Шлаки відновлювальної плавки різні за складом в залежності від виду вихідної сировини, флюсів і типу плавильного агрегату. При плавці пилу у відбивних печах з кальцинованою содою шлак зазвичай містить (мас.%): (3-5) Sb, не більш як 20 SiO₂ і не менш як (40-50) Na₂O, невеликі кількості оксидів заліза, алюмінію, кальцію, магнію та ін. Аналогічний склад мають шлаки при відновлювальній плавці антимонату натрія.

При відновлювальній електроплавці сурм'яного пилу, возгонів і обпечених концентратів з використанням як флюсів кальцинованої соди і вапняку або вапна отримують шлаки, що вміщують зазвичай (мас.%): (1-2) Sb, до 1 S, (40-50) SiO₂, (15-20) Na₂O, (10-15) CaO, (2-10) Al₂O₃, (2-6) FeO, (1-5) MgO, вміст миш'яку і важких кольорових металів незначний.

Таблиця 2 – Приблизний матеріальний баланс відновлювальної плавки сурм'яної сировини (Sb₂O₃) у відбивних (I) і електропечах (II)

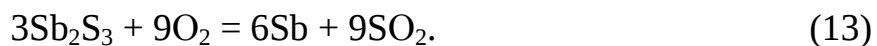
Вихідні матеріали і продукти плавки	Витрати і вихід, % від маси концентрату		Вміст Sb, %		Розподіл Sb, %	
	I	II	I	II	I	II
Завантажено:						
Сурм'яний пил	100	100	60	60	100	100
Кам'яне вугілля	25	20	-	-	-	-
Кальцинована сода	30	-	-	-	-	-
Вапняк	-	5	-	-	-	-
Всього	155	125	40	48	100	100
Отримано:						
Чорновий метал	50	55	95	95	79	87
Шлак	45	15	4	2	3	1
Вторинний пил	15	10	65	65	16	11
Втрати з газами і невраховані	45	45	-	-	2	1
Всього	155	125	-	-	100	100

3. Реакційна і окиснювально-реакційна плавки. Реакційною плавкою прийнято називати спосіб одержання металів, який заснований на взаємодії між сульфідами і оксидами. Для сполук сурми цей спосіб описується рівнянням:



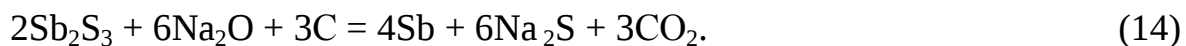
З чисто сульфідної сировини метал може бути отриманий шляхом окиснювально-реакційної плавки, при котрій проходженню реакції (11) передують утворення оксиду із сульфіду:





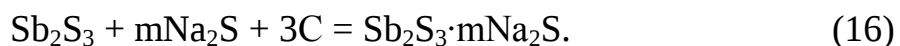
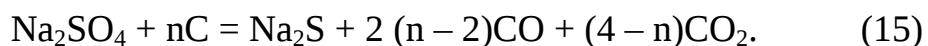
Дослідженням цих реакцій присв'ячено ряд робіт [1-10] і результати їх суперечливі. Але можна вважати встановленим, що флюси у практичних умовах плавки не є перешкодою для протікання реакцій між сульфідом і оксидом сурми. Для реакційної плавки суміші сульфідної і оксидної сурм'яної сировини придатні різні печі (відбивні, шахтні, барабанні і т.п.), а реакційно-окиснювальну плавку сульфідної сировини можна здійснювати лише у агрегатах з повітряним дуттям – шахтні печі, конвертори і т.п. Шлаки шахтної плавки мають приблизно наступний склад (мас.%): (35-40) SiO_2 , (20-35) CaO , (15-25) FeO та ін.

4. Содова або лужна плавка сульфідної сировини заснована на реакціях виділення декотрих важких металів при взаємодії їх сульфідів з оксидом натрію. Можливість перебігу таких реакцій експериментально доказана для свинцю, цинку, кадмія і декотрих інших металів. При сплавленні сульфіда сурми із карбонатом натрія [5, 12], їдким натром [5] виділення металевої сурми спостерігається лише при наявності відновника (вугілля). Взаємодію можна описати узагальненою реакцією:



Але механізм виділення сурми із сульфиду при содовій (лужній) плавці вивчено ще недостатньо. Шлаки, які утворюються при цьому, є багатими на соду і ідуть на переплавку з оксидами сурми, тобто є оборотними.

5. Плавка сульфідної сурм'яної сировини на штейн. Плавка на штейн є головним переділом комбінованої пірометалургійної і піроелектрохімічної схеми переробки сульфідної сурм'яної сировини. Утворення сурм'яно-натрієвого штейна (тіосолей) відбувається при сплавленні сульфідної сировини із сульфатом натрія у присутності відновника завдяки наступним основним реакціям:



При плавках на штейн сульфат натрія зазвичай використовується не тільки як реагент-штейноутворювач, але і як флюс. На утворення шлаку

втрачається до 50-70 мас.% Na_2SO_4 , який завантажується у шихту. Ця кількість сульфату може бути замінена на інші флюси - соду, вапняк, вапно і т.п. [18].

Найбільш придатним агрегатом для здійснення плавки сурм'яної сировини на штейн є електропіч. Отриманий при електроплавці шлак за вмістом Sb (0,2-1) % є відвальним продуктом. Однак, враховуючи високий вихід шлаку від маси сировини (до 70-80 %) і привабливий його хімічний склад (мас.%): (50-60) SiO_2 , (17-26) Na_2O , (7-9) Al_2O_3 , (3-8) CaO , (2-5) FeO , він може бути вихідною сировиною для переробки на будівельні матеріали: мінеральна вата, піноскло, керамічна плитка, штучний цемент і т.п.

6. Плавка сурм'яної сировини на возгони має мету концентрування сурми у возгонах і відокремлення її від інших коштовних компонентів сировини. Плавку здійснюють в різних агрегатах – конверторах, циклонних печах [1, 11-17]. Шлаки, які були отримано при цьому, мали наступний склад (мас.%): (0,3-1,7)Sb, (33-38) SiO_2 , (28-43) FeO , (2-15) CaO . Кількість шлаку від маси концентрату складає 25-45 %.

Висновки

Виходячи з аналізу основних існуючих способів промислової переробки сульфідно-оксидної сурм'яної сировини, очевидним є утворення, поряд з отриманням основних товарних матеріалів, великої кількості відвальних шлаків (у середньому 50 % від маси сировини), які за своїм складом є невичерпним джерелом основних складових мінеральних в'язучих матеріалів. При певному модифікуванні за складом у електротермічних печах, можна отримувати із відвальних матеріалів товарну продукцію у вигляді: керамічної плитки, мінеральної вати, піноскла, штучних цементів і т.п. Останнє сприяє підвищенню економіки виробництва кольорової металургії, а основне, суттєвому покращенню екологічного стану оточуючого середовища.

Література

1. Сурьма /Под ред.С.М.Мельникова. – М.: Металлургия.- 1977. – 536 с.
2. Онаев И.А. Физико-химические свойства шлаков цветной металлургии / Онаев И.А. - Алма-Ата: Наука. – 1972. – 118 с.
3. Bertrand A. Пирометаллургический способ извлечения свинца, сурьмы, олова, меди и цинка //Chemie et Industrie, 1957. – V.77, № 6. – Р. 1281-1287.
4. Есин О.А. Физическая химия пирометаллургических процессов /Есин О.А., Гельд П.Ф. – Ч.1. Свердловск: Metallurgizdat. – 1962. – 671 с.

5. Сажин Н.П. Сурьма /Сажин Н.П. – М.: Металлургиздат. – 1941. – 152 с.
6. Schoeller W.R. //J. Soc. Chem. Ind/- 1915. –V.34. – P. 6-9; //Trans.Inst. of Min. and Met. – 1917018. – Bull.№ 27. – P. 237-267.
7. Смирнов В.И. Взаимодействие сульфида сурьмы с её трёхоксидом в жидкой фазе //Тр. ин-та металлургии УФ АН СССР /Смирнов В.И., Плетнёв Н.Ф. - Свердловск: изд-во УФ АН СССР. – 1960. – Вып.5. – С. 109-116.
8. Розловский А.А. //Бюл. ЦНИИОлово./Розловский А.А., Глазычева Ю.В., Гусак Л.Н. – 1962. - № 1. – С.19-24.
9. Розловский А.А. //Уч. записки ЦНИИОлово./Розловский А.А., Глазычева Ю.В., Гусак Л.Н. – Новосибирск: Западно-сибирское книжное изд-во. - 1963. - № 1. – С.37-43.
- 10.Плетнёв Н.Ф. Изучение взаимодействия сульфида и окиси сурьмы в газовой фазе //Тр. ин-та металлургии УФ АН СССР./Плетнёв Н.Ф., Смирнов В.И. - Свердловск: изд-во УФ АН СССР. – 1960. – Вып.5. – С. 117-122.
- 11.Wang C.I. Antimony. 3-d Ed., Ch. Criffin and C⁰; London. – 1952.
- 12.Worlds non-ferrous Smelters and Refineries 6-th Ed., Quin Press Ltd, London, 1960.
- 13.Jahn R. //Berg. Und Hüttenmänn. Monatsh.. – 1960. –Bd.105. - № 5. – S. 107-111.
- 14.Kodlec F. Mezinar. Kolok nezelezn. Kowech./Kodlec F.- Praha. 1966. – P. 7-17. //Neue Hütte. – 1968. – Bd 13, № 7. – S. 397-401.
- 15.Holy V. //Hutnik (ČSSR). – 1964. –V. 14. - № 7. – P. 347-351.
- 16.Устинский Б.З. //Цветная металлургия (Бюл. ин-та «Цветметинформация»)/Устинский Б.З.. – 1965. - № 15 (284). – С. 44-45.
- 17.Меркин Э.Н. Зарубежная практика переработки сурьмяных руд /Меркин Э.Н., Русакова Т.В., Мельников С.Н., Кочергина Д.Г.. – М.: Цветметинформация. – 1972. – С. 24-28.
- 18.Миронюк Г.И. Укрупненно-лабораторные испытания пирро-электрометаллургической схемы переработки сульфидного сурьмяного сырья /Миронюк Г.И., Розловский А.А., Мустяца О.Н. и др.//Цв. металлы.- 1973.- №2. - С. 35-37.

УДК 625.7/.8

Аленіч М.Д., канд. техн. наук

ХОЛОДНИЙ РЕСАЙКЛІНГ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОВІЛЬНОТВЕРДІЮЧИХ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ І РОЗРІДЖЕНОГО БІТУМУ

Анотація. Аналізується технологія холодного ресайклінгу з застосуванням бітумної катіонної емульсії з цементом або спіненого бітуму з цементом.

Доцільно також використання в асфальтобетонних сумішах з подрібненим старим асфальтобетоном бітумів, розріджених часом або лігроїном. Наведена послідовність технологічних операцій при холодній регенерації асфальтобетонних покриттів.

Ключові слова: холодний ресайклінг, асфальтобетонне покриття, катіонна емульсія, спінений бітум, розріджений бітум, вуглеводний розчинник, технологія робіт.

Аннотация. Анализируется технология холодного ресайклинга с применением битумной катионной эмульсии с цементом или вспененного битума с цементом.

Целесообразно также использование в асфальтобетонных смесях с измельченным старым асфальтобетоном битумов, разреженных керосином или лигроином. Приведенная последовательность технологических операций при холодной регенерации асфальтобетонных покрытий.

Ключевые слова: холодный ресайклинг, асфальтобетонное покрытие, катионная эмульсия, вспененный битум, жидкий битум, углеводный растворитель, технология работ.

Annotation. Analyzed cold recycling technology using cationic bitumen emulsion or foamed bitumen cement with cement.

It is also advisable to use in asphalt mixtures with shredded old asphalt bitumen, diluted with kerosene or naphtha. This sequence of manufacturing operations in the cold asphalt pavement regeneration

Key words: cold recycling, asphalt coating, cationic emulsion, foamed bitumen, liquid bitumen, carbohydrate solvent technology works.

Технологія холодній регенерації (ресайклінгу) полягає в подрібненні матеріалу покриття переважно за допомогою холодного фрезерування, перемішуванні суміші на дорозі або в спеціальних установках (з додаванням або без додавання в'язучого і інших добавок), розподілі отриманої суміші і її ущільнення.

Технологі. Холодного ресайклінгу застосовують на дорогах різних категорій для підсилення дорожнього одягу на всю ширину проїзної частини або тільки на смугах вантажного руху, для підсилення дорожнього одягу на міських дорогах, де не бажане збільшення відміток дорожнього покриття.

Ремонт покриттів методом холодного ресайклінгу дозволяє ліквідувати хвилі,напливи, колійність. При введенні стабілізаторів можна перевести дорожні одяги з перехідними типами перекриття (4-5 категорії) у дорожні одяги полегшеного типу з удосконаленими покриттями (3-4 категорії), а останні – капітальні дорожні одяги з асфальтобетонним покриттям.

Поверх регенованого шару зазвичай укладають одно, або двошарове асфальтобетонне покриття або влаштовують поверхневу обробку.

Досвід застосування холодної регенерації показав, що кращі результати дають асфальтобетонні суміші на комплексному в'язучому: бітумна катіонна емульсія з цементом або спінений бітум з цементом.

В асфальтобетоні формується два типи мікроструктур них зв'язків: коагуляційні, утворені бітумними плівками, і кристалізаційні утворені цементним каменем.

Для цього матеріалу характерна менша залежність властивостей від температури, підвищена міцність і деформаційна стійкість при високих температурах, підвищена температурна тріщиностійкість. Найбільш сприятне співвідношення по масі між вмістом цементу і бітуму від 60/40 до 50/50. Водоцементне відношення не повинно бути менше 0,5.

В асфальтобетонну суміш з подрібненим старим асфальтобетоном, що перемішують і ущільнюють в холодному стані, доцільне застосування бітумів,

розріджених порівняно легкими вуглеводними розріджувачами (часом, лігроїном), які забезпечують відносно високу швидкість густіння в'язучого.

Завдяки низькій в'язкості при робочій температурі (90-110 °C) розріджений бітум обволікає тонкою плівкою гранули і зерна, а також частково пластифікує старий бітум за рахунок дифузії легких вуглеводів у плівки старого бітуму.

В результаті розм'якшення зовнішня оболонка старої бітумної плівки, знижується її в'язкість і зменшується імовірність само злипання зерен, покритих розрідженими бітумом. Така суміш здатна тривалий час після перемішування залишатися в пухкому стані.

Ця здатність суміші обумовлена наявністю тонкої бітумної плівки на зернах старого подрібненого асфальтобетону, внаслідок чого мікроструктурні коагуляції ні зв'язки в суміші настільки слабкі, що невелике зусилля приводить до їхнього руйнування. Тривалість збереження коагуляційної структури повільнотвердіючого в'язучого, а також низька початкова міцність коагуляційних бітумних зв'язків дозволяє збільшити час на укладання суміші до ущільнення, збільшити довжину технологічної захватки і поліпшити якість ущільнення суміші.

Використання розрідженого бітуму не потребує високої температури для ущільнення суміші, тому що низька в'язкість розрідженого бітуму дозволяє ущільнювати такі суміші в холодному стані.

Може бути запропонована наступна технологічна послідовність операцій при холодній регенерації асфальтобетонних покриттів:

- Для підвищення міцності дорожнього одягу рекомендується витримувати суміш на дорозі до ущільнення певний період часу;
- Витримання суміші до ущільнення викличе втрату вологи, тому необхідно в процесі приготування суміші вводити додатково воду понад розрахункову відповідно погодних умов;
- У початковий період твердіння матеріалу дорожнього одягу при виявленні дефектів в ущільненні допускається розпушування, профілювання і повторне ущільнення;
- Влаштування верхнього шару рекомендується не раніше двох тижнів після відновлення старого покриття для створення умов кращого формування асфальтобетону під дією транспорту, що рухається, і випаровування розріджувача бітуму.

Кірічек Ю.О., д-р техн. наук, Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, Кочан С.М.

ПОСИЛЕННЯ ВИСОКИХ НАСИПІВ У СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Анотація. Досліджено методи підвищення стійкості укосів високих насипів автомобільних доріг при зменшенні кута закладання укосу з метою економії землі, відведеної для будівництва. Виконано розрахунок коефіцієнта стійкості армованих різними геоматеріалами і неармованих укосів різного закладення. Проведена оцінка стійкості укосу у вигляді розрахунку його коефіцієнта запасу і на основі цього підібрана необхідна кількість прошарків. Виконано розрахунок довжини закладення прошарку та призначено розподіл прошарків по висоті насипу.

Ключові слова: високі насипи, складні інженерно-геологічні умови, укоси, коефіцієнт стійкості, армування, геосинтетичні матеріали.

Аннотация. Исследованы методы повышения устойчивости откосов высоких насыпей автомобильных дорог при уменьшении угла заложения откоса с целью экономии земли, отведенной для строительства. Выполнен расчет коэффициента устойчивости армированных различными геоматериалами и неармированных откосов разного заложения. Проведена оценка устойчивости откоса в виде расчета его коэффициента запаса и на ее основе подобрано необходимое количество прослоек. Выполнен расчет длины заложения прослоек и распределение прослоек по высоте насыпи.

Ключевые слова: высокие насыпи, сложные инженерно-геологические условия, откосы, коэффициент устойчивости, армирование, геосинтетические материалы.

Annotation. Methods to improve slope stability of high road embankments and shortening side slopes with the purpose of land saving were investigated. The computations of the factors of safety against movement for reinforced slopes with different geosynthetic and unsupported slopes of various side slopes were performed. The slope stability was estimated and the quantity of the geosynthetic layers was

defined. Analysis of geosynthetic length and height of geosynthetic disposition was performed.

Key words: high road embankments, difficult engineering-geological condition, slopes, factors of safety, reinforced, geosynthetic, reinforcement.

Постановка проблеми

У зв'язку з постійним підвищенням інтенсивності руху автотранспорту в межах України та в міждержавному сполученні, зростанням кількості одиниць транспортних засобів і швидкості руху автомобілів виникає потреба в розширенні мережі доріг, будівництві об'їзних доріг і автомобільних доріг вищих категорій.

Будівництво доріг пов'язане з їх великою протяжністю, а, отже, і значним різноманіттям природних умов, що, в свою чергу, пов'язано з різними геоморфологічними і геологічними умовами, фізико-геологічними процесами і явищами. На рис.1 приведена відносна кількість складних інженерно-геологічних умов в Україні, які трапляються в будівництві [1].

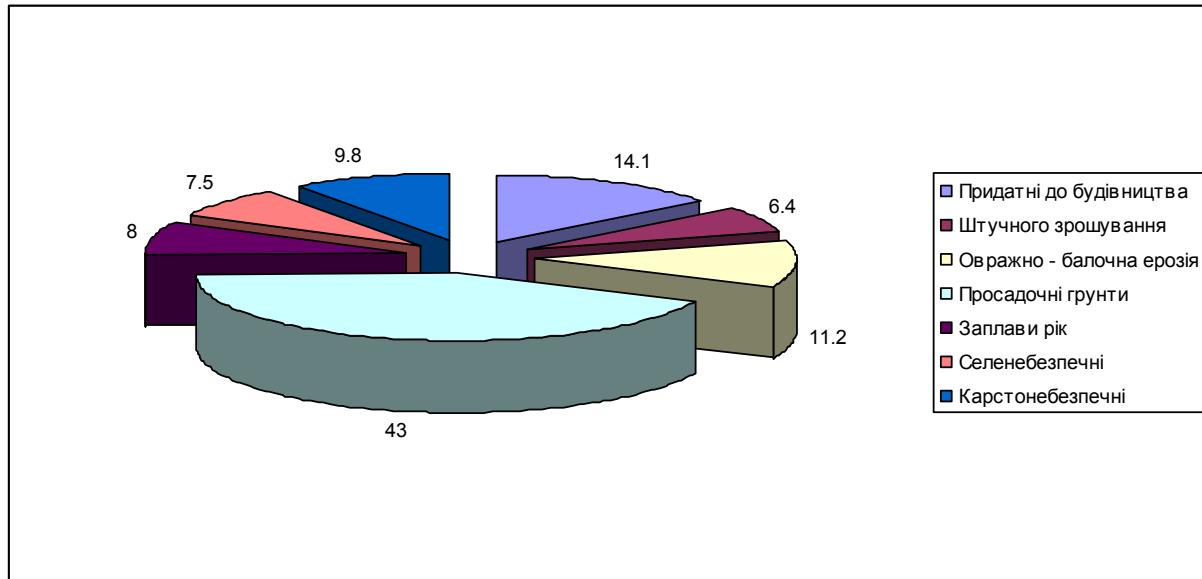


Рисунок 1 – Складні інженерно-геологічні умови по Україні, %

Будівництво автомобільних доріг у складних інженерно-геологічних умовах має низку важливих особливостей, пов'язаних із поведінкою цих ґрунтів при спорудженні земляного полотна і в процесі його експлуатації. Специфіка будівництва автомобільних доріг у складних інженерно-геологічних умовах

полягає у тому, що до дорожньої конструкції в цілому пред'являють спеціальні вимоги. Конструктивно-технологічне рішення основи земляного полотна повинне забезпечити стійкість. Осідання насипу й основи в експлуатаційний період не повинне викликати неприпустимої зміни поздовжнього і поперечного профілів, пружні прогини і коливання конструкції від статичних і динамічних дій транспортного навантаження мають бути обмежені умовами тривалої міцності дорожнього одягу.

Аналіз. Складні інженерно-геологічні умови – це сукупність характеристик компонентів геологічного середовища досліджуваної території, які впливають на проектування, будівництво і експлуатацію автомобільних доріг. До них відносять такі умови як узгір'я, болота, заплавні ділянки, що затопляються, слабкі ґрунти, засолені ґрунти, рухомі піски, зрошувані території, ділянки залягання вічномерзлих ґрунтів, обвальні ділянки, ґрунти, що просідають (рис. 2) [1].

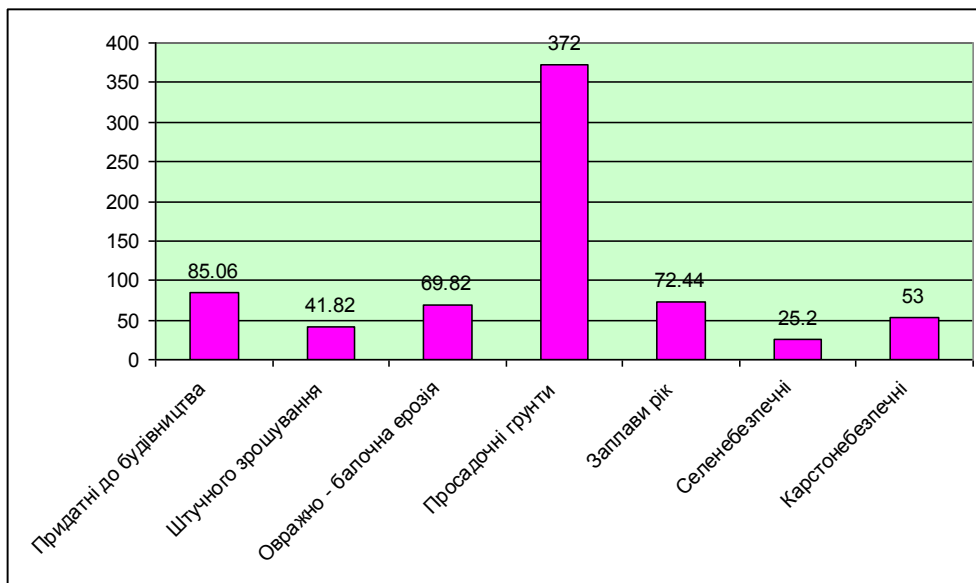


Рисунок 2 – Складні інженерно-геологічні умови по Україні, тис.км

При спорудженні земляного полотна на ґрунтах, що посідають слід передбачати таке розміщення водопропускних і водовідвідних споруд, при якому основа земляного полотна і придорожня смуга не буде піддаватися тривалому зволоженню. Якщо передбачено перетин дорогою діючого водотоку, необхідно зберігати його русло [2]. Пропуск води по новому руслу може бути причиною великих просідань ґрунтів. У всіх випадках необхідно забезпечити швидке і безперешкодне відведення від земляного полотна атмосферних опадів

і захист його від поверхневих і ґрунтових вод, використавши нагірні, бічні, сушильні і водовідвідні канали, водозахисні планування, дренажі. Дно і укоси всіх видів водовідвідних каналів повинні бути ретельно ущільнені або укріплені з метою зниження водопроникності ґрунтів [3]. Підчас зволоження лесових ґрунтів змінюються їх характеристики міцності, зменшується кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення. Надмірне зволоження може привести до переходу глинистих ґрунтів з твердого в текучий стан, підчас якого міцності характеристики значно погіршуються. Після зволоження просадочних ґрунтів можуть виникнути деформації основи земляного полотна і утворення тріщин на поверхні укосів насипу і зменшення роботи питомого зчеплення ґрунту. При проектуванні земляного полотна необхідно прогнозувати зволоження ґрунтів і враховувати всі наслідки від зволоження в розрахунках стійкості укосів і всього насипу. Для усунення просадочних властивостей природних ґрунтових основ рекомендується: ущільнення, зміцнення і попереднє замочування ґрунтів.

У місцях спорудження штучних споруд, водопропускних труб великого діаметра, фундаментів шляхопроводів доцільно укріплювати основу, що просідає неорганічними в'язучими: цементом, цементним пилом, фосфогіпсом, геотекстильними матеріалами. Треба відзначити, що лесові ґрунти, які займають більше, ніж половину території України, в результаті замочування під час техногенної дії можна також віднести до слабких ґрунтів. При проектуванні насипів на слабких основах слід призначати обґрунтовані розрахунками спеціальні заходи, що забезпечують можливість використання слабких ґрунтів в основі (закладання укосів, прибудова бічних призм, тимчасове перевантаження, регламентація режиму відсипання насипу, прибудова вертикального дренажу, ґрунтових паль-дрен, пальової основи, прибудова легких насипів, армування насипів і основи геотекстильними прошарками тощо).

Поперечні профілі земляного полотна розроблені з урахуванням довготривалості підтоплення укосів до 20 діб. Насипи на заплавних ділянках, що затопляються, перетині водоймищ і підходах до мостових споруд слід проектувати з урахуванням хвильової дії, а також гідростатичної й ерозійної дії води в період підтоплення. Для забезпечення можливості ремонту і зміцнення укосів у період експлуатації на таких ділянках при техніко-економічному обґрунтуванні допускається передбачати прибудову берм шириною не менше 4 м.

Будівництво та реконструкція автомобільних доріг у складних інженерно-геологічних умовах вимагає постійного зниження вартості робіт, економії дорожньо-будівельних матеріалів, максимального використання позитивних властивостей ґрунтів, особливо місцевих некондиційних.

Нові технології зміцнення ґрунтів сьогодні усе ширше входять у практику транспортного і цивільного будівництва. Зміцнення слабких основ земляного полотна, посилення дорожнього одягу, зведення насипів з укосами підвищеної крутості [4,5], будівництво армоґрунтових підпірних стін – усі ці задачі легко вирішуються за допомогою сучасних армуючих матеріалів.

Армування має на увазі використання в ґрунтових конструкціях спеціальних елементів, що дозволяють поліпшити механічні властивості ґрунту [6]. Працюючи в контакт з ґрунтом, армуючі елементи перерозподіляють навантаження між ділянками конструкції, забезпечуючи передачу напружень з перевантажених зон на сусідні недовантажені. Ці елементи можуть бути виготовлені з різних матеріалів, що мають опір на розтягнення: метал, залізобетон, структури зі скляних чи полімерних волокон тощо.

Найбільш придатними для армування ґрунтів є геосинтетичні матеріали, завдяки своїм властивостям: висока міцність, стійкість до низьких температур і агресивної дії середовища, неохильність до корозії і гниття, низька повзучість (старіння).

Геосинтетики знаходять все нові області застосування завдяки різноманітності їх видів і функцій з одного боку, а з іншого – завдяки загальній тенденції в будівництві: екологічності, необхідності будівництва у складних геологічних умовах (слабкі ґрунти, неоднорідні основи, гірські райони, насипні землі, відвойовані в моря території, сейсмічно активні райони тощо), зниженню вартості і підвищенню надійності конструкцій.

Використовуючи армоґрунт, можна досягти значної економії в затратах на будівництво, наприклад, внаслідок скорочення обсягів земляних робіт, звуження смуги відведення, зменшення довжини водопропускних труб, використання місцевих некондиційних ґрунтів. У дорожньому будівництві геосинтетичні матеріали використовують для підвищення стійкості дорожньої конструкції як в процесі нового будівництва, так і під час реконструкції і капітальних ремонтів, з яких створюють армуючі, дренажні і захисні прошарки [7].

Виділення невирішених раніше частин проблеми. При будівництві автомобільних доріг у складних інженерно-геологічних умовах необхідно

досягти: підвищення стійкості основи й укосів земляного полотна; зниження витрат традиційних дорожньо-будівельних матеріалів; зменшення обсягів земляних робіт; зниження нерівномірності деформацій; зниження строків будівництва за рахунок швидшого осідання насипу; поліпшення умов відсипання і ущільнення насипу; підвищення експлуатаційної надійності, якості виконання робіт і збільшення строків служби дорожніх конструкцій.

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

На сучасному етапі одним із перспективних напрямів скорочення строків будівництва, забезпечення міцності структур, скорочення площ під спорудами (зокрема, під насипами автомобільних доріг, на автомобільній дорозі Київ – Одеса, висота насипів сягає до 24 м, тобто ширина основи насипу близько 120 м) є влаштування армоґрунтових конструкцій з армуванням їх геосинтетичними матеріалами, ефективність використання яких обумовлюється також зниженням вартості будівництва завдяки використанню місцевих матеріалів, спорудженням конструкцій у складних інженерно-геологічних умовах, економією висококондиційних будівельних матеріалів, які часто відсутні в районі будівництва, підвищення однорідності і довговічності конструкції тощо.

Як показують недавні деформації укосів на автомобільній дорозі державного значення Київ – Одеса (поблизу с. Соколівка), а також із зарубіжних даних, існують фактори, що призводять до руйнування армованих укосів.

Мета. Для економії землі, відведеної для будівництва автомобільних доріг, зменшення обсягу земляних робіт (при зменшенні кута закладання укосу) треба дослідити методи підвищення стійкості укосів і основи земляного полотна і обрати найдоцільніший метод посилення.

Основний матеріал. Для виконання поставленої мети була розглянута ділянка автомобільної дороги Київ – Одеса, км 310+000 – 311+500 на ПК 50+00. Дорога знаходиться в У-ІІІ дорожньо-кліматичній зоні. Висота насипу 22,91 м (рис. 3). Ширина верху земляного полотна становить 28,8 м. Насип зводиться з суглинку важкого пилуватого. Щільність ґрунту $1,79 \text{ г/см}^3$, оптимальна

вологість 0,23, середній коефіцієнт відносного ущільнення дорівнює 1,07. Основою під насипом є балковий алювій, щільність якого $1,81 \text{ г/см}^3$, природна вологість 0,268.

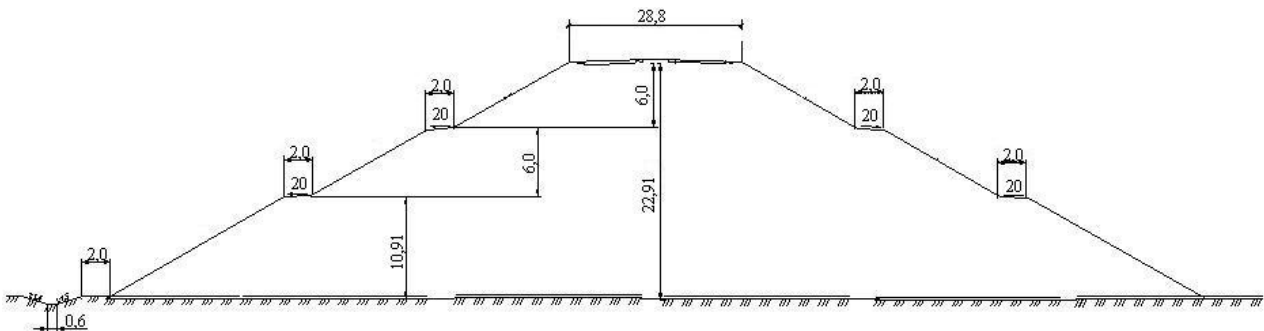


Рисунок 3 – Насип $H=22,91 \text{ м}$

В роботі був виконаний розрахунок осідання насипу без посилення – на природній основі, і за допомогою посилення: на ґрунтовій подушці і на піщаних палях. Результати розрахунку наведені на рис.4.

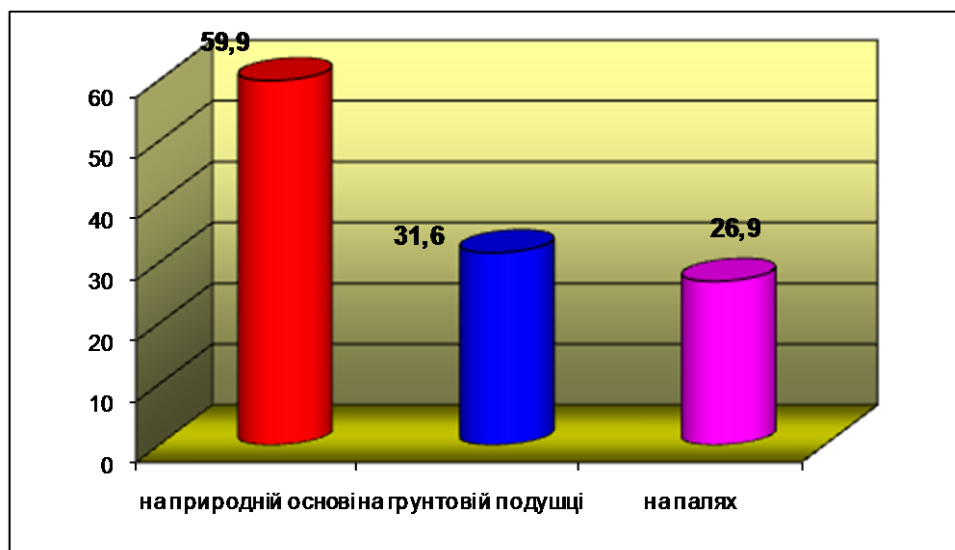


Рисунок 4 - Графік осідання в см. насипу висотою $H=22,91 \text{ м}$

Використання геосинтетичних матеріалів для посилення основи земляного полотна дозволило значно зменшити її осідання (рис. 5).

Проектування армоґрунтових споруд проводиться за граничними станами і основним розрахунком таких конструкцій є визначення стійкості [8,9]. Стійкість армоґрунтових споруд розглядається як вирішення комплексної проблеми. Визначається загальна стійкість – стійкість конструкції в цілому. А

також розраховується стійкість окремих елементів конструкції. Результатом розрахунків є необхідні коефіцієнти запасу роботи як окремих елементів, так і споруди в цілому.

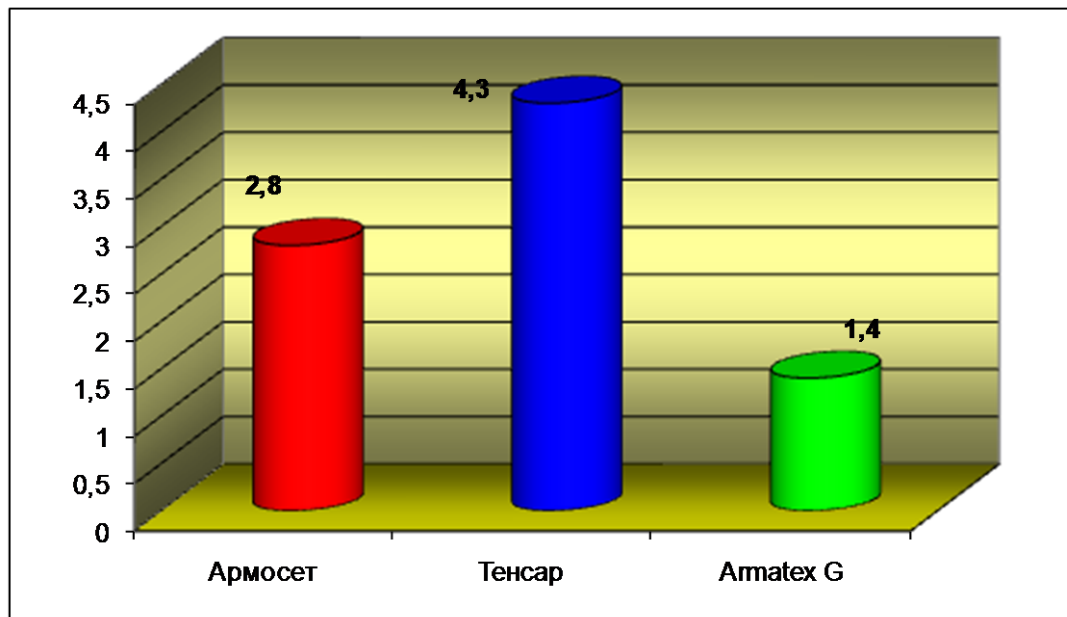


Рисунок 5 - Графік осідання в см. армованого насипу висотою $H=22,91\text{м}$.

Розрахунок стійкості укосу земляного полотна автомобільної дороги був виконаний трьома методами: відсіків, рівномірного укосу та горизонтальних сил. Визначався загальний коефіцієнт стійкості укосу різного закладення, а також для кожного блоку з метою визначення найбільш небезпечних блоків, потребуючих посилення геосинтетичними матеріалами.

При проектуванні конструкцій насипів з укосами армованими синтетичними матеріалами були виконані наступні завдання:

- проведена оцінка стійкості укосу і на основі цього підібране необхідне число прошарків;
- проведено розрахунок довжини закладення прошарку;
- призначено розподіл прошарків по висоті насипу.

Синтетичні матеріали, укладені в укіс з перетином передбачуваної поверхні ковзання, сприймають частину напруг розтягу. Цим створена можливість підвищити загальну стійкість укосу; збільшити крутизну укосу, скоротивши тим самим обсяг земляних робіт, площу земель, що відводяться під будівництво. Кількість прошарків призначають розрахунком виходячи із забезпечення необхідного коефіцієнта стійкості. При виборі місця укладання прошарків синтетичних матеріалів по висоті насипу слід враховувати, що

найбільш навантаженою від власної ваги ґрунту є нижня частина насипу. Як правило, верхній із прошарків повинен міститися на глибині 1,0 м від поверхні насипу, нижній – на відстані 0,5м над найнижчою точкою поверхні ковзання.

Результати розрахунку стійкості укосів при їх армуванні на ділянці км 310+000 – 311+500 наведені на рис.6,7.

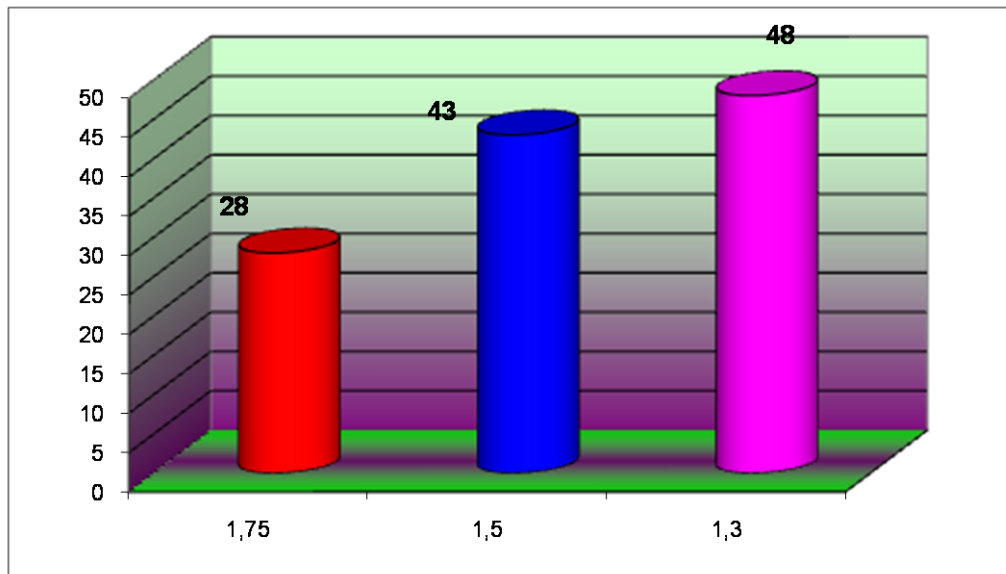


Рисунок 6 - Діаграма залежності кількості прошарків від закладання укосу (по вертикалі – кількість прошарків; по горизонталі – величина закладання укосу)

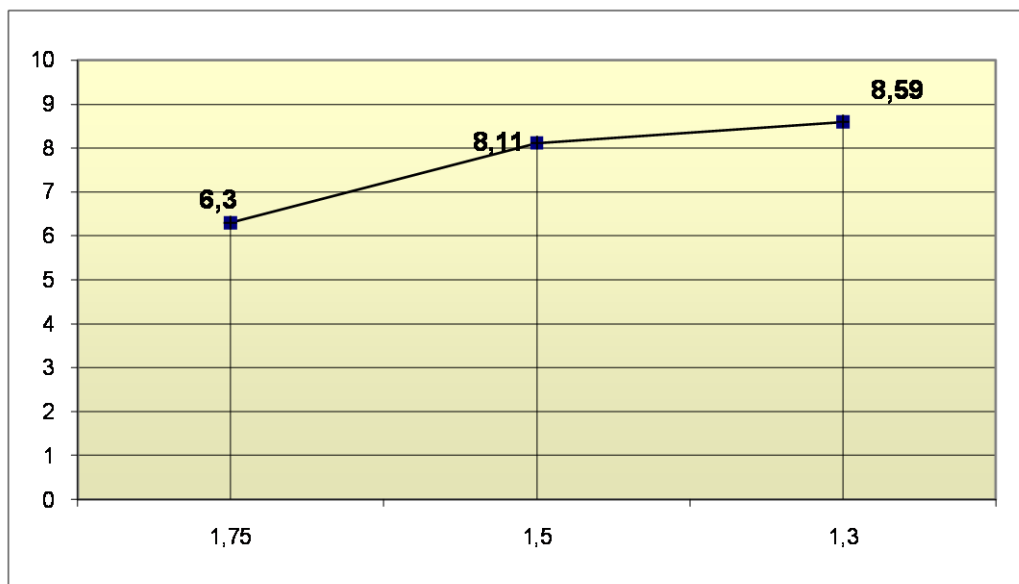


Рисунок 7 - Графік залежності величини закладання прошарку від поверхні ковзання та величини укосу (по вертикалі – величина закладання, прошарку від поверхні ковзання та величини укосу; по горизонталі – величина закладання укосу)

Висновок

Використання геосинтетичних матеріалів дозволило значно зменшити осідання основи і підвищити стійкість укосів насипу при зменшенні закладання укосу з 1:1,75 до 1:1,3.. Для отримання потрібного коефіцієнту запасу стійкості, як бачимо з рис. 6 і рис. 7, потрібно збільшувати кількість прошарків з геоматеріалів, а також збільшувати величину закладання прошарку від поверхні ковзання.

Перспективи. Досвід застосування армованих конструкцій у світовому будівництві показує, що вони більш ефективні та економічні, ніж традиційні. Однак треба враховувати, що ефективність армування залежить від тривалості та інтенсивності взаємодії, жорсткості армувального прошарку і ґрунту, механічних і реологічних властивостей геоматеріалу і ґрунту, а також умов закладання, глибини і характеру розташування арматури у шаруватій конструкції.

Література

1. Кірічек Ю.О., Балашова Ю.Б., Розбицький Б.Л. Підвищення стійкості високих насипів автодоріг у складних інженерно-геологічних умовах / Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. – № 4-5. – С.13-17.
2. Бойчук В.С. Кірічек Ю.О. Сергєєв О.С. Штучні споруди на автомобільних дорогах. //Підручник. – Дніпропетровськ. ПДАБА, 2004. – 364 с.
3. Бойчук В.С. Кірічек Ю.О. Сільськогосподарські дороги та майданчики. //Підручник. – Київ Урожай, 2000. – 311 с.
4. Петрович В.В., Р.О. Корольков Р.О. Рівновага геотекстильного прошарку в ґрунті з урахуванням технології зведення армованого насипу / Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2004. – Вип. 72. – С. 57–60.
5. Корольков Р.О. Методика розрахунку армування укосів насипів автомобільних доріг з урахуванням зміни напруженого стану при їх спорудженні / Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2010. – Вип. 78. – С. 23–29.
6. Fundamentals of Geosinthetic Engineering . – Shukla S., Yin I. – Taylor and Francis. – London – 2006. – 410 p.
7. Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань: СОУ 45.2-00018112-025:2007. К.: Укравтодор, 2007. – 104 с.
8. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008. – К.: Укравтодор, 2008. – 126 с.
9. Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН В.2.3-218-544:2008). – К.: Укравтодор, 2008. – 145 с.

ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ВИТРАТ АВТОМОБІЛЯМИ ПАЛИВА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТАНУ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ В УМОВАХ ДОРОЖНІХ МЕРЕЖ МІСЬКИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Витрати автомобілями палива у процесі здійснення автотранспортних перевезень є однією із основних складових, які формують собівартість перевезень і, як наслідок, кінцеву ефективність функціонування всього народногосподарського комплексу країни. Важливу роль у формуванні собівартості перевезень відіграє рівень транспортно-експлуатаційного стану дорожньої мережі, інтегральним показником якого є показник рівності проїзної частини. Зв'язок між собівартістю перевезень і рівністю проїзної частини реалізується саме через вплив різного роду нерівностей на проїзній частині на витрати автомобілем палива під час їх подолання у процесі підтримання руху. Численними дослідженнями [1, 2] доведено, що собівартість перевезень з погіршенням рівності проїзної частини може зростати в 2 – 3 рази. Тому встановлення математичних зв'язків для прогнозування витрат автомобілями палива в процесі руху в залежності від рівності проїзної частини доріг, умов роботи та властивостей їх дорожніх конструкцій є надзвичайно важливим в дорожній практиці для підвищення обґрунтованості рішень при плануванні дорожньо-ремонтних робіт на які дорожні господарства витрачають величезні фінансові та матеріальні ресурси.

Зазначена проблема практично вирішена для умов реалізації автотранспортного процесу на мережі доріг загального користування. Відповідні математичні моделі покладені в основу вітчизняної системи управління станом покриттів (СУСП), розробленої групою вчених НТУ під керівництвом проф. Кизими С.С. [3].

На відміну від позаміських умов, зазначена задача залишається не вирішеною для умов руху автомобілів на мережі доріг міських населених пунктів, оскільки спеціальних системних досліджень у цьому напрямку для міських умов з їх специфікою практично не проводилося.

З теорії автомобіля відомо, що паливні показники роботи транспортних засобів визначаються обсягами поточної ефективної потужності, яку витрачає їх двигун для подолання сил протидії руху – опору коченню, опору повітря, сил інерції та ін. [4, 5]. У процесі руху, сили опору руху не залишаються постійними і залежать від моделі автомобіля та швидкості його руху, рівності проїзної частини, параметрів геометричних елементів міських вулиць і доріг та ін. Отримана нами в [2] формула для визначення витрат автомобілем палива в умовах його рівномірного руху має вигляд

$$Q = \frac{\left[(G_{\text{авт}} + G_{\text{вант}} \cdot k_{\text{вант}}) \cdot (f_0 + 2,96 \cdot 10^{-8} \cdot S \cdot V^2 \pm i) + \frac{k \cdot F \cdot V^2}{13} \right] \cdot g_e}{270 \cdot \eta \cdot \rho_n}, \quad (1)$$

де g_e – поточні питомі витрати двигуном автомобіля палива, $г/ек.с.год$;

де $G_{\text{авт}}$ і $G_{\text{вант}}$ – відповідно вага автомобіля і вантажу, $кг$;

$K_{\text{авт}}$ – коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля;

f_0 – коефіцієнт опору коченню, при русі автомобіля по умовно абсолютно рівній дорозі із швидкістю близькій до нуля;

S - показник рівності проїзної частини, $см/км$;

V - швидкість руху автомобіля, $км/год$;

i – поздовжній ухил дороги;

$k \cdot F$ – фактор опору повітряного середовища. Значення цього фактору, для різних типів автомобілів приймають за [5];

ρ_n – об'ємна вага пального, $г/літр$;

η – коефіцієнт корисної дії трансмісії автомобіля.

Поточні питомі витрати двигуном автомобіля палива g_e визначають за навантажувальними характеристиками двигуна автомобіля. В табл. 1 наведені поліноміальні моделі навантажувальних характеристик двигунів автомобілів ГАЗ-24, ЗІЛ-130, ВАЗ-2103, які були отримані експериментальним шляхом в [6] в залежності від обертового моменту на валу двигуна M_k і частоти обертів двигуна n .

Таблиця 1 – Моделі навантажувальних характеристик двигунів автомобілів

Модель автомобіля	Математичний вираз, який описує навантажувальні характеристики двигуна автомобіля
ВАЗ-2103	$g_e = 1198,7 - 0,17674 \cdot n - 18,306 \cdot M_{\kappa} + 0,22222 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 + 0,1125 \cdot M_{\kappa}^2 + 0,45098 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\kappa} \cdot n$
ГАЗ-24	$g_e = 871,68 + 0,013585 \cdot n - 10,175 \cdot M_{\kappa} - 0,48377 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 + 0,04136 \cdot M_{\kappa}^2 + 0,12478 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\kappa} \cdot n$
ЗІЛ-130	$g_e = 1246,3 - 0,23408 \cdot n - 6,0274 \cdot M_{\kappa} + 0,83807 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 + 0,12448 \cdot M_{\kappa}^2 - 0,19858 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\kappa} \cdot n$

Враховуючи те, що рух на міських вулицях і дорогах постійно протікає в умовах тісної взаємодії транспортних засобів між собою, розрахунки витрат ними палива необхідно виконувати на основі закономірностей зміни швидкісних режимів руху автомобілів [7, 8], а саме – з використанням характеристик їх розподілу – математичного чекання швидкості руху $V_i - MV$ і середньоквадратичного відхилення швидкостей руху від їх середніх значень – σ_v . При цьому, враховуючи різну економічну обстановку на міських вулицях і дорогах різних груп, всі необхідні розрахунки необхідно проводити окремо для кожної із них. Останні згідно [.....] поділяються на групи А, Б і В. Це дозволить найбільш повно врахувати вплив стану проїзної частини міських вулиць і доріг різних груп та рівня завантаженості їх рухом на формування паливних показників роботи рухомого складу транспорту. Необхідні математичні моделі для прогнозування зміни параметрів швидкісних режимів міських вулиць і доріг різних груп, отримані нами, наведено нижче.

$$\left. \begin{aligned} MV^A &= 110,2 \cdot \exp[-0,0036 \cdot S_{cs} - (0,654 - 0,00338 \cdot S_{cs}) \cdot z] \\ \sigma_v^A &= (16,79 - 0,0477 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} MV^B &= 91,09 \cdot \exp[-0,0023 \cdot S_{cs} - (0,555 - 0,0021 \cdot S_{cs}) \cdot z] \\ \sigma_v^B &= (13,43 - 0,0372 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} MV^B &= 87,7 \cdot \exp[-0,00234 \cdot S_{cs} - (0,875 - 0,00223 \cdot S_{cs}) \cdot z] \\ \sigma_v^B &= (11,96 - 0,0316 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right) \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

де $S_{сз}$ - середньозважений показник рівності проїзної частини для міських вулиць і доріг з багатосмуговою проїзною частиною

$$S_{сз} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot \%N_{ni})}{100}; \quad (5)$$

S_i – показник рівності і-тої смуги руху;

$\%N_{ni}$ – відсоток автомобілів транспортного потоку, який рухається по і-тій смузі руху;

n – порядковий номер смуги руху.

Для міських вулиць і доріг з чотирьохсмуговою проїзною частиною $\%N_{ni}$ можна знайти за залежностями [9]

$$\left. \begin{aligned} \%N_{I\text{ см}} &= 60,512 \cdot \exp(-1,7 \cdot 10^{-5} \cdot N) \\ \%N_{II\text{ см}} &= 100 - \%N_{I\text{ см}} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

де $\%N_{I\text{ см}}$, $\%N_{II\text{ см}}$ – відсоток транспортних засобів, які рухаються по I-ій і II-ій смугах відповідно;

N – інтенсивність руху транспортних засобів на дорозі, *авт./год*.

На міських автомагістралях із шестисмуговою проїзною частиною процес розподілу руху по смугах значно складніший. В результаті спеціально проведених нами досліджень [10] для цих умов отримані наступні математичні моделі

$$\left. \begin{aligned} \%N_{I\text{ см}} &= N_{\text{напр}} \cdot \left[\begin{aligned} &12,48 \cdot 1,7283 \cdot N_{\text{піш}}^{-0,4625} \cdot (-0,0393 \cdot \%_{\text{нас}}^2 + 0,4099 \cdot \%_{\text{нас}} + 0,349) \cdot \\ &\cdot (-0,347 \cdot P + 1,053) \cdot (-0,0682 \cdot L_p^2 + 0,3698 \cdot L_p + 0,6377) \cdot \\ &\cdot (6 \cdot 10^{-5} \cdot \%_{\text{вант}}^2 - 0,0139 \cdot \%_{\text{вант}} + 1,7146) \cdot (6,3833 \cdot z^2 - 5,8044 \cdot z + 2,1054) \end{aligned} \right]; \\ \%N_{II\text{ см}} &= N_{\text{напр}} \cdot \left[\begin{aligned} &50,606 \cdot (11156 \cdot z^2 - 0,4461 \cdot z + 0,6525) \cdot (-0,007 \cdot \%_{\text{нас}}^2 + 0,0842 \cdot \%_{\text{нас}} + 0,7871) \cdot \\ &\cdot (-0,0012 \cdot N_{\text{піш}}^2 + 0,0263 \cdot N_{\text{піш}} + 1,08) \cdot (-0,0098 \cdot L_p^2 + 0,0875 \cdot L_p + 0,8913) \cdot \\ &\cdot (0,0043 \cdot \%_{\text{вант}} + 0,9619) \cdot (-2 \cdot 10^{-6} \cdot i^2 + 0,0012 \cdot i + 0,9335) \cdot (-1 \cdot 10^{-5} \cdot S^2 + 0,0018 \cdot S + 1,1337) \end{aligned} \right]; \\ \%N_{III\text{ см}} &= 100 - \%N_{I\text{ см}} - \%N_{II\text{ см}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де z – рівень завантаженості проїзної частини рухом;

$N_{\text{піш}}$ – інтенсивність руху пішоходів на тротуарах, *піш/хв*;

$\%_{вант}$ – відсоток вантажних автомобілів у потоці;

$\%_{пас}$ – відсоток пасажирського транспорту у потоці;

S – рівність проїзної частини, $см/км$;

i – поздовжній ухил автомагістралі;

L_p – видимість дорожньої розмітки, *бали*;

P – наявність дозволу на тимчасову зупинки транспортних засобів в межах першої смуги.

Таким чином, подальше вирішення поставленої задачі зводиться до побудови математичного зв'язку $Q^m = f(MV, \sigma_v, S_{сз})$, де m – група міських вулиць і доріг (А, Б, В). Розрахунки виконували за такою методикою.

З використанням (2) – (4) для різних значень середньозваженого показника рівності проїзної частини міських вулиць і доріг та різних рівнів завантаженості їх проїзної частини рухом розраховували теоретичні значення параметрів розподілів швидкостей руху – математичне чекання MV^m і середньоквадратичне відхилення σ_v^m . Для кожного розподілу швидкостей руху із визначеними MV^m і σ_v^m розраховували середні значення швидкостей руху в інтервалах байдужості - $\bar{V}_i$. Кількість інтервалів байдужості в кожному із розподілів приймали рівною семи, а межі розмаху швидкостей руху $\pm 2\sigma_v$. З метою спрощення розрахунків витрат палива параметри потоку переносили на параметри економічно-розрахункового автомобіля, за який прийняли автомобіль ВАЗ-2106. Рішення щодо вибору економічно-розрахункового автомобіля прийняте на підставі того, що для даного автомобіля розроблені необхідні математичні моделі для визначення витрат його двигуном палива. З використанням (1) для кожного окремого інтервалу байдужості в залежності від $\bar{V}_i$, $S_{сз}$ і z визначали обсяги витрат двигуном економічно-розрахункового автомобіля палива. Середні обсяги витрат палива економічно-розрахунковим автомобілем у межах кожного із розподілів швидкостей руху визначали за формулою

$$\bar{Q}_e = \sum_{i=1}^7 Q_i \cdot p_i, \quad (8)$$

де Q_i – витрати економічно-розрахунковим автомобілем палива при умові руху його із швидкістю, що відповідає середній швидкості i -го інтервалу байдужості;

p_i – відсоток транспортних засобів, які рухаються в потоці із швидкістю, що належить до i -го інтервалу байдужості. p_i визначали з використанням інтеграла імовірностей Лапласа за формулою:

$$\Phi[t] = \int_{V_1}^{V_2} V \cdot dV = \frac{1}{2} \cdot [f(t_2) - f(t_1)], \quad \%$$

де

$$t_1 = \frac{V_1 - MV}{\sigma_V}, \quad t_2 = \frac{V_2 - MV}{\sigma_V}, \quad f(t) = \sqrt{2\pi} \cdot \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt,$$

V_1, V_2 – значення швидкостей руху, які відповідають граничним значенням попереднього та наступного інтервалів байдужості закону розподілу.

Числові значення функції $f(t)$ визначали за додатком IV [11].

Наступний крок у проведенні розрахунків полягав у безпосередній побудові за розрахованими середніми обсягами витрат палива математичних залежностей $Q_e^m = f(S_{c3}, z)$.

Загальний вигляд функцій $Q_e^m = f(S_{c3}, z)$ приймали, виходячи із умови найменшої похибки апроксимування теоретичних даних. Розрахунки проводили з використанням ПЕОМ. На рис. 1 – 3 представлені графіки зміни середніх витрат палива економічно-розрахунковим автомобілем у залежності від трьох найбільш значимих факторів – групи міських вулиць і доріг, середньозваженого показника рівності їх проїзної частини та рівня завантаженості рухом.

Доведено, що для апроксимації зв'язків $Q_e^A = \psi(S_{c3}, z)$, $Q_e^B = \omega(S_{c3}, z)$ і $Q_e^C = \tau(S_{c3}, z)$ доцільно використовувати функції:

$$- Q_e^A = A \cdot z^2 + B \cdot z + C;$$

$$- Q_e^B = D \cdot z + E;$$

$$- Q_e^C = K \cdot \exp[M \cdot z].$$

Результати побудови математичних залежностей $Q_e^m = f(S_{c3}, z)$ для міських вулиць і доріг різних груп при фіксованих значеннях середньозваженого показника рівності їх проїзної частини наведені в табл. 2.

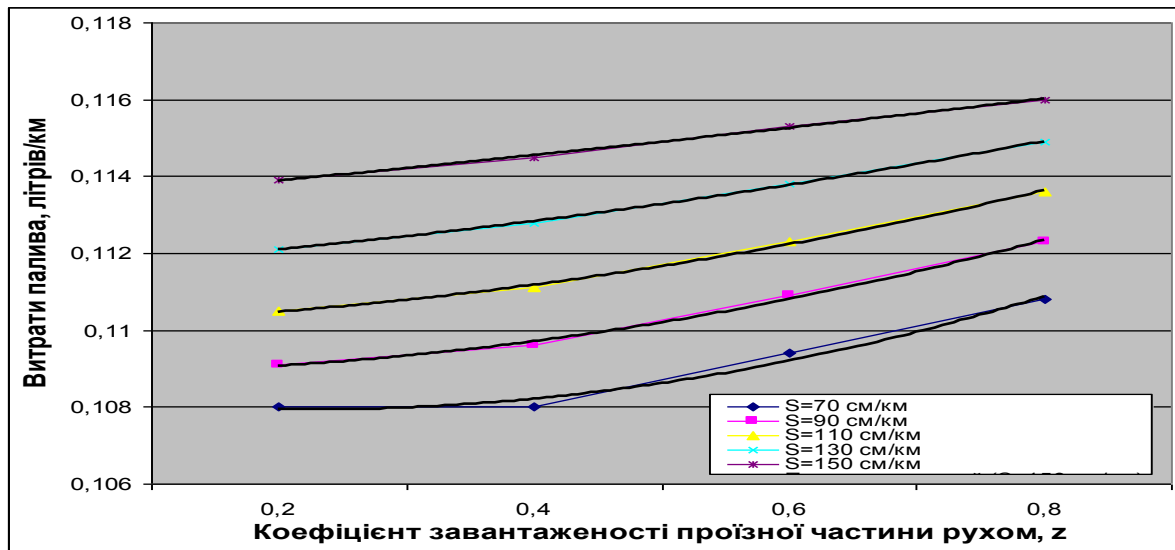


Рисунок 1 – Графічне представлення зв'язку $Q_e^A = \psi(S_{cz}, z)$

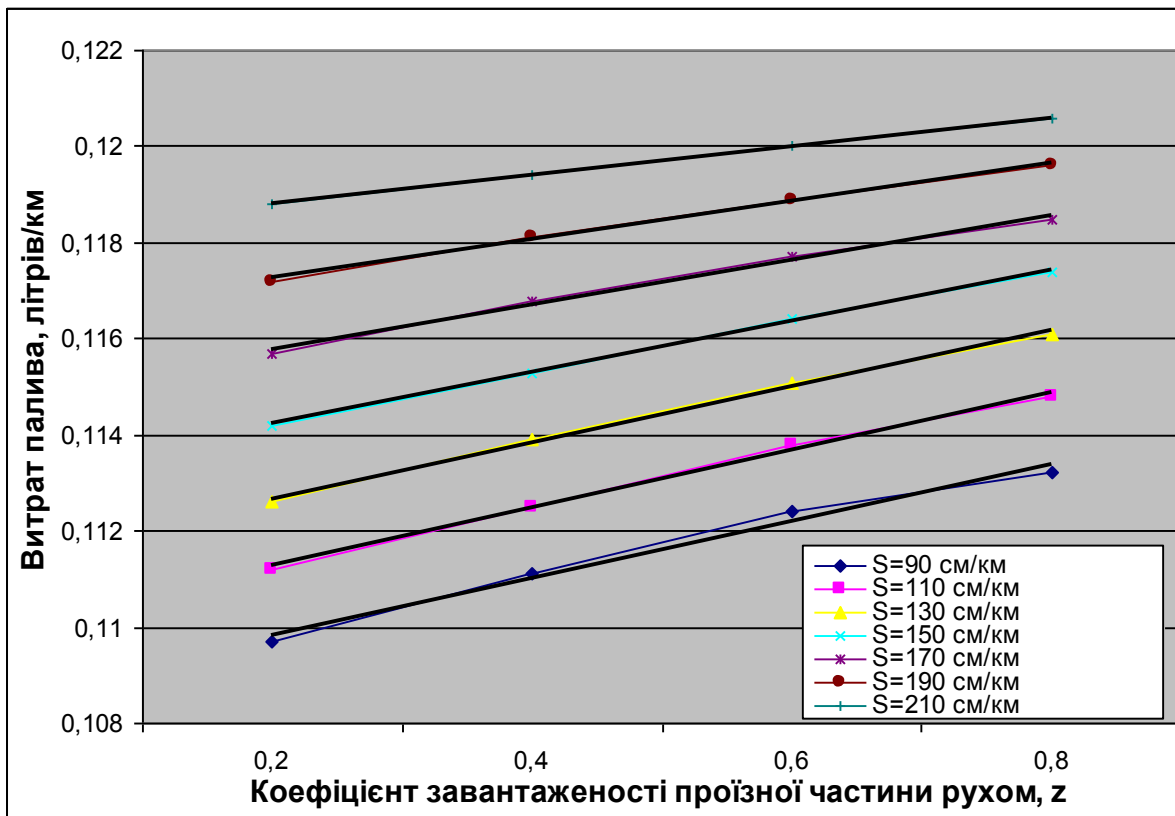


Рисунок 2 – Графічне представлення зв'язку $Q_e^B = \omega(S_{cz}, z)$

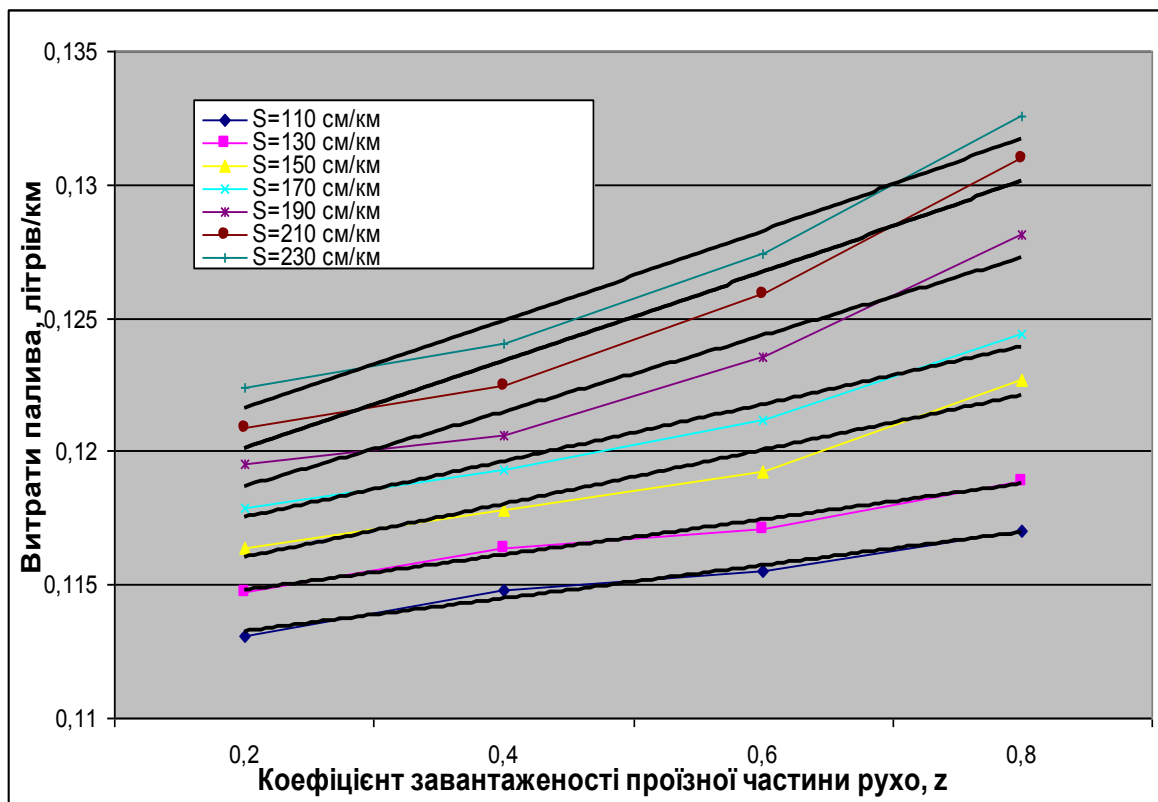


Рисунок 3 – Графічне представлення зв'язку $Q_e^B = \tau(S_{c3}, z)$

Таблиця 2 – Результати побудови математичних залежностей $Q_e^m = f(S_{c3}, z)$

Середньозважене значення показника рівності проїзної частини S_{c3} , см/км	Математична апроксимація зв'язку $Q_e^m = f(S_{c3}, z)$
1	2
Міські вулиці і дороги групи А	
70	$Q_e = 0,875 \cdot z^2 - 0,385 \cdot z + 10,835$
90	$Q_e = 0,5625 \cdot z^2 - 0,0175 \cdot z + 10,887$
110	$Q_e = 0,4375 \cdot z^2 + 0,0875 \cdot z + 11,012$
130	$Q_e = 0,25 \cdot z^2 + 0,22 \cdot z + 11,155$
150	$Q_e = 0,0625 \cdot z^2 + 0,2925 \cdot z + 11,327$
Міські вулиці і дороги групи Б	
90	$Q_e = 0,59 \cdot z + 10,865$
110	$Q_e = 0,605 \cdot z + 11,005$
130	$Q_e = 0,585 \cdot z + 11,15$

Кінець табл. 2

1	2
150	$Q_e = 0,535 \cdot z + 11,315$
170	$Q_e = 0,465 \cdot z + 11,485$
190	$Q_e = 0,4 \cdot z + 11,645$
210	$Q_e = 0,3 \cdot z + 11,82$
Міські вулиці і дороги групи В	
110	$Q_e = 11,203 \cdot \exp[0,0539 \cdot z]$
130	$Q_e = 11,349 \cdot \exp[0,0569 \cdot z]$
150	$Q_e = 11,405 \cdot \exp[0,0824 \cdot z]$
170	$Q_e = 11,546 \cdot \exp[0,0884 \cdot z]$
190	$Q_e = 11,595 \cdot \exp[0,1125 \cdot z]$
210	$Q_e = 11,691 \cdot \exp[0,126 \cdot z]$
230	$Q_e = 11,822 \cdot \exp[0,1348 \cdot z]$

Графіки математичних зв'язків " $A-S_{cz}$ ", " $B-S_{cz}$ " і " $C-S_{cz}$ " для доріг групи А, зв'язків " $D-S_{cz}$ " і " $E-S_{cz}$ " для доріг групи Б і зв'язків " $K-S_{cz}$ " і " $M-S_{cz}$ " для доріг групи В, побудованих за даними табл. 2, представлені на рис. 4 – 10.

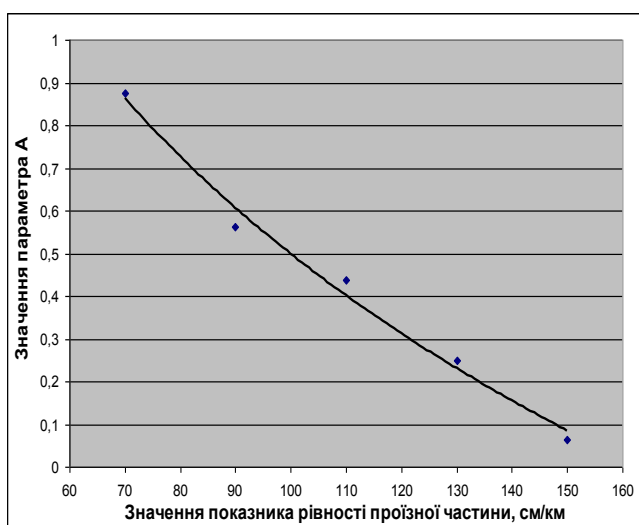


Рисунок 4 – Графік зв'язку " $A-S_{cz}$ "

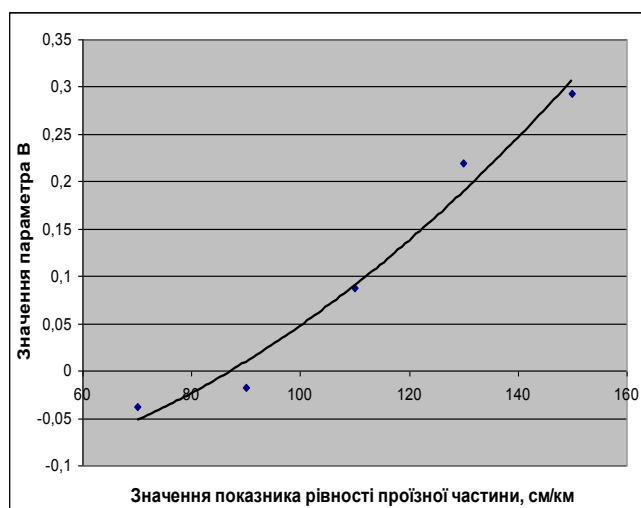


Рисунок 5 – Графік зв'язку " $B-S_{cz}$ "

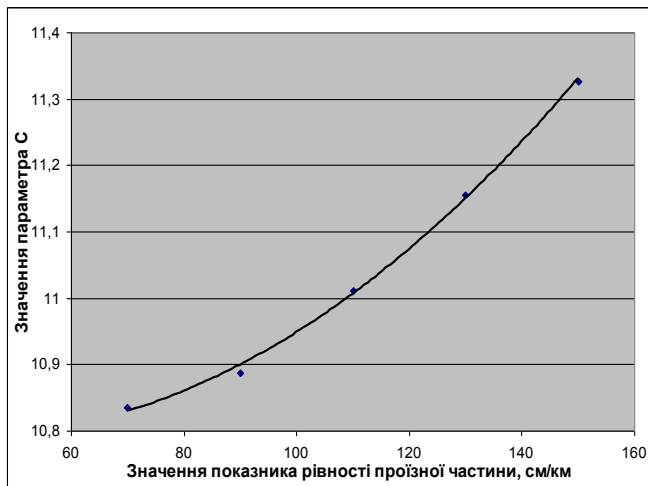


Рисунок 6 – Графік зв'язку " $C - S_{сз}$ "

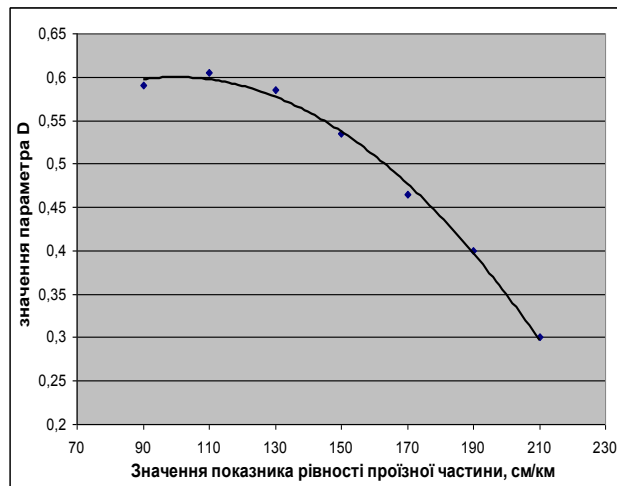


Рисунок 7 – Графік зв'язку " $D - S_{сз}$ "

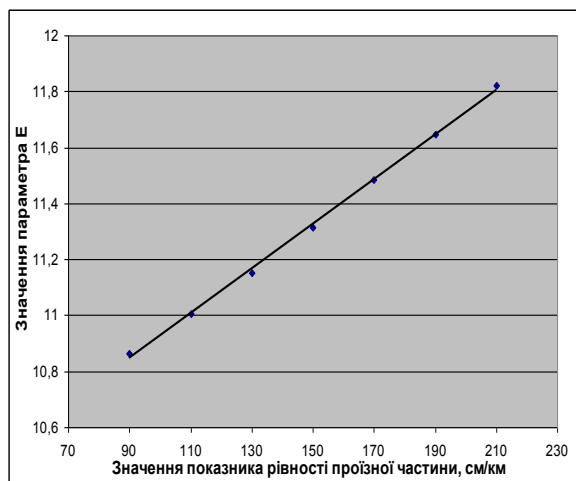


Рисунок 8 – Графік зв'язку " $E - S_{сз}$ "

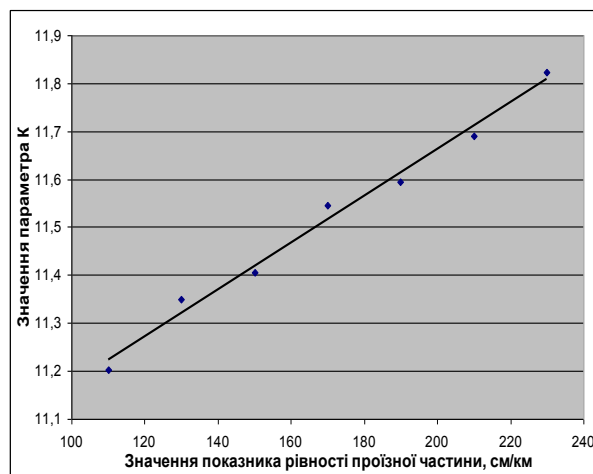


Рисунок 9 – Графік зв'язку " $K - S_{сз}$ "

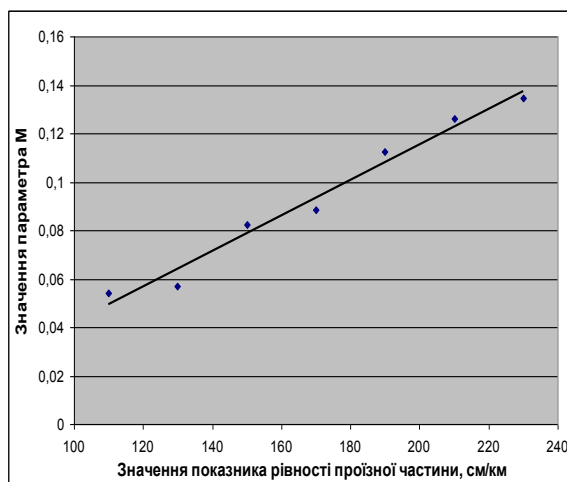


Рисунок 10 – Графік зв'язку " $M - S_{сз}$ "

Результати побудови математичних зв'язків, зображених на рис. 4 – 10, наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати побудови математичних зв'язків зміни параметрів функціональних залежностей $Q_e^m = f(S_{c3}, z)$

Група міських вулиць і доріг	Параметр	Функціональна залежність
А	A	$A = -1,0219 \cdot \ln S_{c3} + 5,2025$
	B	$B = 2 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2 - 0,0006 \cdot S_{c3} - 0,1226$
	C	$C = 5 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2 - 0,0039 \cdot S_{c3} + 10,875$
Б	D	$D = 3 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2 - 0,005 \cdot S_{c3} + 0,3496$
	E	$E = 0,008 \cdot S_{c3} + 10,126$
В	K	$K = 0,0049 \cdot S_{c3} + 10,687$
	M	$M = 0,0007 \cdot S_{c3} - 0,0312$

Із врахуванням формул, наведених в табл. 2 і 3, після елементарних арифметичних дій, функції для визначення витрат економічно-розрахунковим автомобілем палива в *літрах/100км* у залежності від середньозваженого показника рівності проїзної частини міських вулиць і доріг та рівня завантаженості їх рухом, мають остаточний вигляд:

- для міських вулиць і доріг групи А

$$Q_e^A = \left[(-1,022 \cdot \ln S_{c3} + 5,203) \cdot z^2 + (2 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot S_{c3} - 0,1226) \cdot z + \right. \\ \left. + 5 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2 - 0,0039 \cdot S_{c3} + 10,88 \right]; \quad (9)$$

- для міських вулиць і доріг групи Б

$$Q_e^B = (3 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2 + 0,005 \cdot S_{c3} + 0,35) \cdot z + 0,008 \cdot S_{c3} + 10,126; \quad (10)$$

- для міських вулиць і доріг групи В

$$Q_e^B = (0,005 \cdot S_{c3} + 10,678) \cdot \exp[(7 \cdot 10^{-4} \cdot S_{c3} - 0,031) \cdot z]. \quad (11)$$

Математичні моделі (9) – (11) отримані для прогнозування витрат палива економічно-розрахунковим автомобілем. Методика приведення автомобілів інших вагових груп до економічно-розрахункового розроблена нами в [10]. Отримані математичні моделі дозволяють вирішувати техніко-економічні задачі при обґрунтуванні програм дорожньо-ремонтних робіт для умов міських населених пунктів.

Література

1. Філіпов В.В. Вплив дорожніх умов на собівартість перевезень / Філіпов В.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : зб. наук. праць : Вип. 49. – К. : Будівельник, 1991. – С. 122 – 127.
2. Роман С.В. До формування транспортної складової дорожньо-транспортних витрат як функції стану проїзної частини в специфічних умовах міських населених пунктів / С.С. Кизима, С.В. Роман // Містобудування та територіальне планування : зб. наук. праць : Вип. 21. – К. : КНУБА, 2005. – С. 131 – 139.
3. 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.
4. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни : [підруч. для студ. вищ. навч. закл. 2-ге вид.] / Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долгунов К.Є., Тимченко І.І. – К. : Арістей, 2004. – 476 с.
5. Краткий автомобильный справочник (НИИАТ) : [справочник 10-е изд. перераб. и доп.] / Министерство Автомобильного Транспорта РСФСР. – М. : Транспорт, 1983. – 220 с.
6. Шилова Т.А. Обоснования мероприятий по улучшению условий движения на улично-дорожных сетях городов с учетом расхода топлива : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.23.14 «Строительство автомобильных дорог» / Шилова Т.А. – К., 1987. – 149 с.
7. Лобашов А.О. О прогнозирование скорости транспортных потоков на городских улицах / Лобашов А.О. // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета : Вып. 10. – Х., 1999. – С. 91 – 93.
8. Романов А.Г. Дорожное движение в городах. Закономерности и тенденции / Романов А.Г. – М. : Транспорт, 1984. – 80 с.
9. Красников А.Н. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах / Красников А.Н. – М. : Транспорт, 1988. – 111 с.
10. Роман С.В. Удосконалення методів обґрунтування ремонтно-експлуатаційних робіт на вулично-дорожніх мережах міських населених пунктів : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродромы» / Роман С.В. – К., 2009. – 240 с.
11. Методика статистической обработки экспериментальных данных : РТМ 44-62. – М., 1966. – 101 с.

УДК 625.7/.8:338

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

ОСНОВЫ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА В ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Анотація. Визначено сутність та основні риси державно-приватного партнерства в експлуатації автомобільних доріг. Розглянуто світовий досвід впровадження контрактів заснованих на показниках якості, як основної форми взаємодії державного та приватного секторів в утриманні автомобільних доріг. Визначені задачі, які потрібно вирішити для ефективного впровадження контрактної системи на умовах ДПП в Україні.

Ключові слова: Державно-приватне партнерство, контракти на утримання автомобільної дороги, експлуатація автомобільних доріг .

Аннотация. Определена сущность и основные черты государственно-частного партнерства в эксплуатации автомобильных дорог. Рассмотрен мировой опыт внедрения контрактов основанных на показателях качества, как основной формы взаимодействия государственного и частного секторов в содержании автомобильных дорог. Определенные задачи, которые нужно решить для эффективного внедрения контрактной системы на условиях ГЧП в Украине.

Ключевые слова: Государственно-частное партнерство, контракты на содержание автомобильной дороги, эксплуатация автомобильных дорог.

Annotation. The essence and the main features of public-private partnership to operate highways. Considered the world experience implementing contracts based on performance quality as the main form of interaction between the public and private

sectors in the maintenance of highways. Defined tasks that need to be addressed for effective implementation of the contract system under PPP in Ukraine.

Key words: Public-private partnership contracts for road maintenance, maintenance of roads.

Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку економічної системи України державно-приватне партнерство (ДПП) постає як ефективний шлях розбудови її інфраструктури, в тому числі й автомобільно-дорожнього комплексу. На жаль, сьогодні техніко-економічні та експлуатаційні характеристики більшості інфраструктурних об'єктів транспортно-дорожнього комплексу знижуються, головна причина у цьому процесі належить недостатньому бюджетному фінансуванню програм модернізації та будівництва об'єктів інфраструктури разом з незначними приватними інвестиціями. Досвід багатьох країн світу з різними політичними й економічними системами, рівнем розвитку ринкових відносин засвідчує, що залучення приватного капіталу до фінансування і управління об'єктами державної власності на основі контрактів на засадах ДПП є одним з найбільш ефективних шляхів покращення кількісних і якісних показників цих об'єктів.

Проте, не зважаючи на світовий досвід впровадження ДПП, як важливого інструменту підвищення якості експлуатаційних показників автомобільних доріг, реалізація його механізмів в українську практику практично відсутня. Зокрема, це пов'язано з новизною і недосконалістю законодавчої та нормативної бази, відсутністю теоретичних та практичних рекомендацій щодо реалізації контрактів на умовах ДПП в нашій країні. Це, у свою чергу, вимагає розробки певних моделей для ефективного реалізації контрактної системи на утримання доріг в умовах державно-приватного партнерства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Співпраця державного і приватного секторів має свою історію та використовується вже протягом двадцяти п'яти років в різних країнах світу. Це, відповідно, відобразилось і у наукових здобутках в цій сфері. Зокрема, дані проблеми досліджували такі науковці як: Стігліц, Джозеф Е. (Stiglitz, Joseph E.), Амос П. (Amos, P.), Зієтлов Г. (Zietlow, G.), Емануель Савас (Savas E.) [1,2,6,7]. Досвід впровадження ДПП був висвітлений у дисертаційних роботах Максимова В.В., Вікарчук О.І. та інших [3]. Однак на сьогодні цілісного дослідження проблем

впровадження державно-приватного партнерства в дорожній галузі України у вітчизняній економічній літературі немає.

Постановка завдання. Дослідити методологічні аспекти державно-приватного партнерства в експлуатації автомобільних доріг через контрактні форми його реалізації.

Виклад основного матеріалу. Формування конкурентоспроможної економіки та розвиток економічної системи держави вимагає залучення значних ресурсів. Найбільш уразливими місцями економіки України є такі, що традиційно перебувають під контролем державної або муніципальної влади, насамперед об'єкти соціальної інфраструктури, комунального господарства, електроенергетики, транспорту тощо. Потужним джерелом ресурсів є приватний капітал. Проте слід враховувати, що такі об'єкти переважно мають стратегічне значення для держави, а їх функціонування та розвиток супроводжується суттєвим ризиком для інвесторів. Слід також зазначити, що розвиток таких об'єктів повинен нести соціальну спрямованість та відповідати інтересам суспільства. Тому держава повинна залишати за собою право власності й контролювати ці сфери діяльності.

В економіці багатьох країн світу за останні десятиріччя складається особлива форма співпраці бізнесу та державної влади. Партнерство державного і приватного секторів означає таку форму співпраці між державними органами влади та світом бізнесу, що має на меті забезпечити фінансування, будівництво, відновлення, управління або утримання інфраструктури чи надання суспільних послуг [1,2]. Характерною рисою такого партнерства є те, що воно, з одного боку, формується для досягнення соціально важливих цілей, а з іншого – є економічно вигідним.

Проекти на основі приватно-державного партнерства (private partnership projects) вперше почали реалізовуватися в Англії на початку дев'яностих років, коли було прийнято спеціальний закон, який дозволяв інвесторам будувати на паях з державою інфраструктурні об'єкти. З того часу схожі закони почали діяти в 40 країнах світу. В світі на основі державно-приватного партнерства будуються масштабні об'єкти інфраструктури: дороги, мости, тунелі, об'єкти енергетики, лікарні, школи, в'язниці, зведення яких тільки державі або муніципалітетам опинилося б не під силу.

Термін «державно-приватне партнерство» можна розглядати в широкому і вузькому сенсі цього слова. У широкому сенсі державно-приватне

партнерство – це будь-яка взаємодія держави і бізнесу для досягнення загальних цілей соціально-економічного розвитку: сумісна розробка стратегічних документів, нормативних правових актів, просування державою приватних проектів компаній за кордоном, спільній роботі по поліпшенню іміджу країни. У вузькому сенсі це сумісне фінансування великомасштабних проектів або інша фінансова участь держави в бізнес-проектах [1,2].

Закон України «Про державно-приватне партнерство в Україні» дає таке визначення: ДПП – співробітництво між державою Україна, Автономною Республікою Крим, територіальними громадами в особі відповідних органів державної влади та органів місцевого самоврядування (державними партнерами) та юридичними особами, крім державних та комунальних підприємств, або фізичними особами - підприємцями (приватними партнерами), що здійснюється на основі договору в порядку, встановленому цим Законом та іншими законодавчими актами [4].

Законодавчою основою розвитку державно-приватного співробітництва в Україні є сукупність нормативно-правових актів, що охоплюють широке коло соціально-економічних аспектів. Серед них визначальними є норми Цивільного, Господарського, Земельного кодексів України, Законів України “Про державно-приватне партнерство”, “Про концесії”, “Про угоди про розподіл продукції”, “Про місцеве самоврядування в Україні”, “Про місцеві державні адміністрації”, “Про житлово-комунальні послуги”, Концепція розвитку державно-приватного партнерства у житлово-комунальному господарстві та ін.

На сьогоднішній день державно-приватне партнерство хоча і є одним з найпоширеніших термінів, проте єдине і системне розуміння явища на державному рівні та у науковому середовищі поки що відсутнє.

Державно-приватне партнерство набуває різноманітних форм відповідно до ступеню залучення приватного та державного секторів та відповідно до рівня ризику, який приймають на себе сторони.

У першу чергу, це – контракти, які держава дає приватним компаніям: на виконання робіт та надання суспільних послуг, на поставку продукції для державних потреб тощо. Система контрактів достатньо поширена в господарській практиці органів державної влади як за кордоном, так і в Україні.

Європейський банк реконструкції і розвитку (ЄБРР) визначає державно-приватне партнерство як довгостроковий контракт з приватним сектором для надання послуг державі, на користь держави або від імені держави [1,3].

На основі аналізу світового досвіду державно-приватного партнерства в дорожній галузі при експлуатації автомобільних доріг застосовують такий вид контракту, як контракт заснований на показниках якості виконаних робіт [6]. Цей вид контракту активно впроваджується в дорожньому секторі протягом останнього десятиліття.

Перший контракт заснований на показниках якості в дорожньому секторі був апробований в Британській Колумбії, Канада, в 1988 р. (Zietlow 2004). Пізніше він був впроваджений у двох інших канадських провінціях: Альберта і Онтаріо.

Австралія скористалася цим контрактом для підтримки міських доріг в Сідней в 1995 р. З цього часу Новий Південний Уельс, Тасманія, а також Південна і Західна Австралія почали використовувати два варіанти контракту "чистий" та "гібридний" (Zietlow 2004).

У 1998 р. контракт заснований на показниках якості був впроваджений в Новій Зеландії для утримання 405 км доріг національного значення (Zietlow 2004). В даний час 15% національної мережі автошляхів в Новій Зеландії містяться по КОНПК (MWH NZ Ltd. 2005).

В США цей тип контракту був вперше впроваджено в штаті Вірджинія в 1996 р. З цього часу чотири інших штату (Аляска, Флорида, Оклахома і Техас), разом з округом Колумбія (м. Вашингтон) почали застосовувати КОНПК для утримання автотрас, мостів, тунелів, місць відпочинку і міських вулиць (FHWA 2005) [6,7].

Контракти засновані на показниках якості значно відрізняються від контрактів по підрядним видам робіт, які традиційно застосовуються у дорожній галузі. Контракт заснований на показниках якості – це тип контракту, в якому оплата робіт по утриманню та експлуатації автомобільних доріг безпосередньо пов'язана з виконанням або перевиконанням підрядником чітко поставлених мінімальних вимог до показників якості [6,8,5].

У традиційних контрактах по різним видам робіт дорожні служби, як замовники, зазвичай визначають способи, технології, матеріали та їх обсяги, а також строки проведення робіт по утриманню автомобільних доріг. Оплата підрядника залежить від обсягу виконаних робіт. В контрактах заснованих на

показниках якості замовник не встановлює вимоги щодо методів виконання робіт. Замість цього він визначає показники якості, яких підрядчик повинен дотримуватись при наданні послуг по утриманню доріг.

Контракти засновані на показниках якості мають ряд переваг в порівнянні з традиційними підходами [7,8]:

- створюють стимул для приватного сектора впроваджувати інноваційні підходи та підвищувати продуктивність праці;
- знижують адміністративні та накладні витрати;
- дають можливість вести дорожнє господарство з меншою кількістю персоналу;
- збільшується кількість споживачів, які задоволені якістю доріг та дорожніми умовами;
- забезпечують стабільне багаторічне фінансування, спрямоване на утримання доріг.

Основні труднощі, які виникають при виконанні контрактів:

- розподіл ризиків між залученими сторонами;
- потреба в нових знаннях і кваліфікованого персоналу, який би міг ефективно розробляти, впроваджувати та супроводжувати контракти засновані на показниках якості;
- чітке визначення необхідних показників якості;
- створення механізму заохочення, який би стимулював підрядника у виконанні або перевиконанні мінімальних показників якості, що обумовлені в контракті;
- встановлення взаємних платіжних зобов'язань і відшкодувань збитку між замовником і підрядником, щодо непередбачуваних подій і форс мажорних ситуацій.

Якість утримання водовідводу займає вагоме місце в експлуатації автомобільних доріг. Традиційно роботи з покращення системи водовідводу проводяться з певним інтервалом, наприклад кожні 8-12 років. Після реалізації даних заходів, роботи по утриманню водовідведення, перш за все, зосереджуються на підтримці форм бічних каналів та покосі рослин на їх укосах, а утримання водовідвідних каналів найчастіше зовсім ігнорується. Тому для вирішення цієї проблеми доцільним буде впровадження контрактів заснованих на показниках якості на умовах ДПП [7,8].

Аналіз міжнародного досвіду державно-приватного партнерства показує, що для успішного впровадження контрактів заснованих на основі показників якості потрібно враховувати такі фактори [5,6,8]:

- зацікавленість уряду;
- досвід та обізнаність персоналу дорожніх служб;
- достатньо розвинений ринок підрядних та консалтингових компаній;
- існування сприятливої нормативно-правової бази та духу партнерства між державним і приватним секторами;
- адаптація загальних принципів і формату даного контракту до умов кожної країни.

Основною метою впровадження системи контрактів на умовах ДПП є:

- 1) підвищення експлуатаційних показників автомобільних доріг;
- 2) економія бюджетних коштів на етапі експлуатації автомобільних доріг за рахунок перекладання експлуатаційних витрат на приватну компанію при збереженні за державою прав власності на ці об'єкти;
- 3) скорочення непродуктивних витрат, зменшення термінів будівництва і залучення новітніх технологій.

Тому для реалізації контрактів на умовах ДПП необхідно вирішити наступні задачі:

- створити єдину систему управління проектами ДПП, що включає нормативно-правове забезпечення та відповідне інституціональне середовище;
- уточнити зміст механізму державно-приватного партнерства при реалізації проектів в експлуатації автомобільних доріг;
- виявити особливості зарубіжного досвіду реалізації контрактної системи на умовах ДПП, з метою визначення найбільш раціонального розподілу участі держави і приватного бізнесу;
- розглянути моделі розподілення ризиків між державою та приватним сектором;
- оцінити ефективність існуючої методики впровадження контрактів заснованих на показниках якості при утриманні та експлуатації автомобільних доріг
- запропонувати чіткий перелік показників якості, при реалізації контрактів;
- удосконалити методичні підходи до оцінки ефективності використання системи контрактів на засадах ДПП.

Висновок

Таким чином, вивчення світового досвіду реалізації контрактної системи на засадах державно-приватного партнерства є актуальним та корисним для розробки та обґрунтування власної стратегії ефективного застосування державно-приватного партнерства в експлуатації автомобільних доріг.

Література

1. Стігліц, Джозеф Е. Економіка державного сектора / Пер. з англ.. А. Олійник, Р. Скільський. – К.: Основи, 1998. – 854 с.
2. Savas, E. (2000). Privatization and Public Private Partnerships. New York: Chatham Publishers, Seven Bridges Press.
3. Максимов В.В. Государственно-частное партнерство в транспортной инфраструктуре: критерии оценки концессионных конкурсов / В.В. Максимов. – М.: Альпина Паблишерз, 2010. – 178 с.
4. Закон України «Про державно-приватне партнерство» від 1 липня 2010 року № 2404-VI / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nau.ua/druk.php?name=332930-01072010-0.txt>
5. BC MOT (British Columbia Ministry of Transportation) 2003. "2003-2004 Highway Maintenance Contracts – Maintenance Specifications." / [Електронний ресурс] – http://www.th.gov.bc.ca/bchighways/contracts/maintenance/standards_and_specs.htm
6. Amos, P. 2004. "Public and Private Sector Roles in the Supply of Transport Infrastructure and Services." Operational Guidance for the World Bank Staff. Transport Paper–1. Washington, D.C.: The World Bank. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://intresources.worldbank.org/INFRASTRUCTURE/Operational-Guidance-for-World-Bank-Group-Staff/20209325/TransportOperationalGuidanceNote.pdf>
7. Zietlow, G. 2004. "Implementing Performance-based Road Management and Maintenance Contracts in Developing Countries – An Instrument of German Technical Cooperation." November 2004. Eschborn, Germany. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.zietlow.com/docs/PBMMC-GTZ.pdf>
8. 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.

Хом'як А.Я., канд. техн. наук, Назіна М.О.

ПОРІВНЯННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ НОРМ НА ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ

Анотація. У статті розглянуті основні параметри проектування автомобільних доріг в Україні та Європі на прикладі нормативної бази Німеччини. Наведені відмінності у класифікації автомобільних доріг, проектуванні поперечного профілю, визначенні коефіцієнта зчеплення а також виконано порівняння нормативних значень основних геометричних характеристик.

Ключові слова. норми проектування доріг, класифікація доріг, поперечний профіль, видимість, коефіцієнт зчеплення.

Аннотация. В статье рассмотрены основные параметры проектирования автомобильных дорог в Украине на примере нормативной базы Германии. Наведены отличия в классификации автомобильных дорог, проектировании поперечного профиля, определении коэффициента сцепления, а также произведено сравнение нормативных значений основных геометрических характеристик.

Ключевые слова: Нормы проектирования дорог, классификация дорог, поперечный профиль, видимость, коэффициент сцепления

Annotation. The article discusses the basic design parameters of roads in Ukraine and Europe, for example, the regulatory framework in Germany. These differences in the grading of roads, designing cross-profile, determining the coefficient of coupling and comparison of normative values of basic geometric characteristics.

Key words: road rules, classification of roads, transverse profile, visibility, traction coefficient.

Вступ

Україна має реальні перспективи щодо посилення своєї ролі як транзитної держави. Цьому сприяють об'єктивні фактори - геополітичне становище нашої країни і наявність у ній потужного транспортного комплексу.

Завдяки своєму геополітичному положенню Україна впродовж цілого тисячоліття слугує містком між Європою і Азією, між Північчю та Півднем. Крім того, вона вкрита густою мережею транспортних шляхів і має розвинений сучасний рухомий склад усіх видів транспорту.

За даними англійського інституту "Рендел", за коефіцієнтом транзитності (тобто за розвиненістю усіх видів транспортних зв'язків і відповідної їм інфраструктури) Україна посідає перше місце в Європі.

Перспективи інтеграції нашої країни у світове господарство й посилення транзитних функцій держави вимагають високої якості, регулярності та надійності транспортних зв'язків, збереження вантажів і безпеки перевезень пасажирів, зростання швидкості та зменшення вартості доставки, тобто високого рівня функціонування українського транспортного комплексу, який за обсягами й тоннажем пасажирських і вантажних перевезень та наявністю великих магістральних газо- і нафтопроводів, міжнародних енергосистем є одним з провідних у Європі.

Дорожня мережа України сьогодні інтегрується до загальноєвропейської мережі. Згідно з планом українського уряду, до 2012 року Україна планує побудувати або відремонтувати 3 460 кілометрів доріг, яке мусить відповідати Європейським стандартам. Тому є актуальним питання порівняння а аналізу вітчизняних та Європейських нормативів на проектування доріг.

Однією з найбільших та розвиненіших країн, яка постійно розвиває і оновлює свою нормативну базу, є Німеччина. Остання редакція основних частин Норм та правил затверджена і представлена відносно недавно, в 1995-2000 рр..[1]

Тож актуальним є порівняння вітчизняних та європейських стандартів на проектування доріг.

Процес прийняття рішення щодо категорії дороги в нашій країні полягає у встановленні розрахункової перспективної інтенсивності руху, в залежності від якої обґрунтовується категорія майбутньої дороги. У Німеччині основоположними факторами віднесення доріг до певної категорії є їх роль та виконувані функції, що визначають відповідний рівень якості транспортного

зв'язку та обслуговування. Тобто, визначальним на етапі прийняття рішення про категорію дороги є її народногосподарська потреба і функціональна значимість у забезпеченні транспортного зв'язку встановленого рівня та умови її прокладання по територіях.

У Німеччині дороги поділяються на п'ять груп з літерними позначеннями по низхідній від А до Е. Кожній групі поставлено у відповідність шість (I - VI) рівнів якості транспортного обслуговування. Поєднання літери групи і номера рівня представляє відповідну категорію дороги [2].

Таблиця 1 – Класифікація автомобільних доріг в Німеччині

Група	Умови проходження дороги
А	дороги прокладені поза забудованими територіями
В	дороги прокладені поза забудованими територіями та місцями по забудованих територіях
С	дороги в межах повністю забудованих територій із забезпеченням не тільки пов'язаних з їх обслуговуванням зв'язків
Д- Е	дороги проходять всередині забудованих територій і обслуговують їхні потреби

Таблиця 2 – Класифікація доріг у Німеччині за рівнем якості транспортного обслуговування

Рівні якості транспортного обслуговування	Рівень зв'язку
I	Міжрегіональний дорожній зв'язок
II	Міжрегіональний / регіональний дорожній зв'язок
III	Міжрайонний дорожній зв'язок
IV	Дорожній зв'язок для обслуговування прилеглих територій
V	Другорядний дорожній зв'язок
VI	Місцеві зв'язки у вигляді проїздів і під'їздів

Таблиця 3 – Відповідність інтенсивностей руху категоріям доріг

Рівні якості транспортного обслуговування	Інтенсивність, авт./добу	
	А	В
I	7000-90000	20000-90000
II	6000-30000	до 18000

Тож у Німеччині, перш за все, встановлюється потреба в тій чи іншій дорозі у загальній дорожньо-транспортній мережі при вирішенні відповідної транспортної задачі. При цьому інтенсивність на етапі прийняття рішення про категорію - величина лише передбачувана. Вона не є визначальним фактором для вибору категорії. Вона стає необхідною і ставиться у відповідність категорії дороги (а не категорія встановлюється в залежності від інтенсивності руху) в подальшому для обґрунтування конструкції поперечного профілю земляного полотна дороги, який забезпечуватиме належний рівень транспортного обслуговування з урахуванням умов прокладання дороги на місцевості.

В Україні категорія доріг визначається за інтенсивністю руху як у фізичних, так і приведених одиницях. Коефіцієнти приведення вантажних автомобілів до легкових автомобілів у Європейських країнах вже давно відсутні. Всі дані надаються у фізичних одиницях: легкові та вантажні автомобілі.

Крім того, європейські нормативні документи подають характеристики транспортних засобів: довжина, ширина кузова, маса автомобіля тощо.

Розрахункова швидкість для певної категорії дороги не є величиною постійною, а може призначатися для окремих ділянок в залежності від місцевих умов і особливостей.

Згідно з Європейською угодою про міжнародні автомагістралі (від 15.11.1975 р.), швидкість руху обмежена величиною 140 км/год. Проте в Німеччині в якості проектної прийнята швидкість в 120 км / год. Але на вже побудованих автомагістралях в Німеччині стаціонарні обмеження швидкості руху, як правило, відсутні. Управління швидкісним режимом здійснюється за допомогою електронного табло, що встановлюється на певних відстанях. Тож фактичні швидкості на автомагістралях в періоди низької щільності транспортного потоку практично не обмежуються для легкових автомобілів і набагато перевищують проектні швидкості.

Прийняття такої швидкості в якості проектної призводить до зменшення граничних значень геометричних параметрів у плані та поздовжньому профілі у порівнянні з вітчизняними відповідниками при розрахунковій швидкості 150 км/год для автомагістралей [2], що, в свою чергу, сприяє економії в обсягах робіт і вартості при будівництві дорожніх доріг, проте - зменшується комфортність та рівень безпеки руху. Прийнята проектна швидкість встановлюється в якості керівної економічної і технічної величини з урахуванням

народногосподарських федеральних або регіональних інтересів на основі функціонального значення дороги в дорожньо-транспортній мережі. На основі проектної швидкості визначаються допустимі і рекомендовані значення для більшості геометричних елементів: мінімальні радіуси кривих в плані і в поздовжньому профілі, параметри клотоїд, максимальні поздовжні похили.

Крім проектної швидкості, в нормативах для Європейських країнах наводиться швидкість V_{85} і її поняття. Ця швидкість є характерною для фактичного режиму руху на дорозі або її ділянках і в наближенні представляє швидкість, яку не перевищують 85% легкових автомобілів при русі у вільному потоці по мокрому покриттю. На основі V_{85} визначаються поперечні похили на кривих, мінімальні радіуси кривих в плані при негативному поперечному похилі, необхідні відстані видимості до зупинки і зустрічного автомобіля при обгоні.

Щодо земляного полотна - у Німецьких нормах встановлюються дев'ять типів поперечних профілів, з яких п'ять - для доріг з двома проїзними частинами і розділовою смугою між ними з шириною, відповідно 35,5 м (по три смуги руху в кожному напрямку); 29,5 м (по дві смуги в кожному напрямку); 33,0 м (по три смуги в кожному напрямку); 26,0 м (по дві смуги в кожному напрямку) і 20,0 м (по дві смуги в кожному напрямку) і лише чотири профілі - з одного проїзною частиною з шириною відповідно 15,5; 10,5; 9,5 і 7,5м.

Типовий поперечний профіль полотна дороги з шириною в брівках 35,5м може бути розширений за необхідності на одну смугу руху в кожную сторону.

Для встановлення складових елементів кожного типового поперечного профілю полотна дороги основними факторами, поряд з функціональним значенням дороги в дорожньо-транспортній мережі, є безпека руху, рівень транспортного обслуговування, а також вартість будівництва з урахуванням заходів з охорони природи і придорожного ландшафту, транспортні витрати. Досить поширеним у Німеччині є поперечний профіль земляного полотна дороги шириною 15,5 м (рис. 1) для руху по трьох смугах: дві смуги для руху в одному напрямку і одна - в протилежному з попереми́нної зміною умов через певні відстані, що визначаються місцевими умовами : відбувається зміна кількості смуг руху за напрямками, одна смуга є реверсною. Це істотно підвищує рівень обслуговування в порівнянні з дорогами з проїзною частиною

на дві смуги руху.Такий поперечний профіль застосовується в межах інтенсивності руху від 6000 до 21000 авт. / добу.

Варто звернути увагу на те, що на найбільш поширеному на сучасних автомагістралях поперечному профілі з трьома смугами руху для кожного з напрямів, дві смуги біля розділювальної смуги мають ширину 3,5 м, а не 3,75 м при загальній ширині проїзної частини 10,75 м (замість 11,25 м згідно ДБН [2]), тобто загальне зменшення проїзної частини і тим самим конструкції дорожнього одягу з покриттям становить 1,0 м, а разом із зменшеною шириною укріплених узбіч на 0,25 м з кожного боку і того більше - 2,0 м, що призводить до значної економії будівельної вартості тільки за рахунок конструкції дорожнього одягу без зниження при цьому безпеки руху, оскільки по лівих смугах руху біля розділювальної смуги рухаються найбільш швидкісні легкові автомобілі з меншими габаритами.

Важливим є те що в німецьких нормах не лише встановлюються вимоги, а й існує велика кількість супутніх матеріалів та ілюстрацій, як цими вимогами користуватися в кожному конкретному випадку, не знижуючи транспортно-експлуатаційних якостей дороги і рівнів безпеки руху.

Порівняння основних геометричних елементів на проектування доріг наведено в табл.4.

Таблиця 4 – Радіуси горизонтальних кривих в Європейських країнах

Країна	Проектна швидкість, км/год												
	140	130	120	110	100	90	85	80	70	60	50	40	30
Австрія	1000		700		450			250	180	125	80	45	
Данія			872		492			265		130		50	
Фінляндія			1100		650			240		120	110		
Франція			665		425			240		120			
Німеччина			720		450	340		250	180	120	80		
Греція			500		350			200	140		75	50	30
Ірландія			600		400			240		130		50	
Італія	985		667		440			260		120		40	
Нідерланди			750		450	350		260	185	130	85		
Норвегія					430	320		230	160	110			
Португалія			700		450			230	170	120	80	40	
Швеція				625	500		350				160		
Швейцарія		780	650		420			240		180			
Великобританія			720		510		360		255	180	127		
Україна	1100		800	700	600	450		300		150	100		30

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 4, бачимо, що радіуси горизонтальних кривих, прийняті у вітчизняних нормах, практично співпадають з нормативними радіусами інших країн, а в деяких випадках є навіть вищими.

Таблиця 5 – Радіуси вертикальних опуклих кривих в Європейських країнах

Країна	Проектна швидкість, км/год							
	120	110	100	90	80	70	60	50
Австралія	13500	9500	6300	4200	2400	1570	920	540
Франція	10000		6000		3000		1500	
Молдова	15000		10000		5000	3500	2500	1500
Німеччина	16000		8300	5700	4400	3150	2400	1400
Великобританія	18500		10500			3300	1900	1100
Україна	15000	12500	10000	7500	5000		2500	1500

Як видно з таблиці 5, для швидкостей менших за 100 км/год, радіуси вертикальних опуклих кривих в Україні майже однакові або й вищі за радіуси в інших країнах, проте для високих швидкостей, які відповідають I категорії доріг та мають місце переважно на дорогах міжнародного значення, радіуси вертикальних кривих є меншими. Отже, при проектуванні вертикальної опуклої кривої закладається менша відстань видимості.

Таблиця 6 – Радіуси вертикальних угнутих кривих в Європейських країнах

Країна	Проектна швидкість, км/год						
	120	100	90	80	70	60	50
Австралія	2300	1600		1000		600	
Франція	4200	3000		2200		1500	
Молдова	5000	3000		2000		1500	1200
Німеччина	8800	3800	2400	1300	1000	750	500
Великобританія	3700	2600				2000	1300
Україна	5000	3000	2500	2000		1500	1200

Радіуси вертикальних угнутих кривих в українських нормах відповідають нормам європейських країн. Однак, для швидкостей більших за 120 км/год вітчизняні норми значно поступаються німецьким.

З таблиці 7 видно, що відстань видимості, прийнята в нормах для нашої країни, майже однакова з прийнятими в нормах інших країн. Однак, наприклад, в нормах Німеччини наведена схема розрахунку необхідної відстані

видимості, яка дає змогу врахувати ряд параметрів, таких як поздовжній похил, зміна коефіцієнта зчеплення зі збільшенням швидкості.

Таблиця 7 – Відстані видимості з умови зупинки автомобіля в Європейських країнах

Країна	Проектна швидкість, км/год								
	120	110	100	90	80	70	60	50	30
Австрія	275		185		120	90	70	50	
Франція			160	130	105	85	65	50	25
Німеччина	250	210	170	140	110	85	65	50	
Великобританія	295		215			120	90	70	
Греція	245	205	170	140	110	85	65		
Швеція		195				165		70	35
Швейцарія	280	230	195	150	120	95	70	50	
Україна	300	300	200	175	150		85	75	45

Розрахунки, проведені за методикою, наведено в німецьких нормах, та за вітчизняною методикою дозволяють порівняти та проаналізувати отримані значення, порівнявши їх із значеннями української нормативної бази. Результати проведеного дослідження наведені на рисунку 1. Аналізуючи отримані графіки, можна засвідчити, що для високих швидкостей руху вітчизняні норми закладають нижчі значення розрахункової відстані видимості у порівнянні з німецькими. Це пов'язано з неврахуванням факторів, про які згадувалось вище.

З вищенаведеної таблиці видно, що вітчизняні норми забезпечують відстань видимості з умови обгону значно меншу, ніж в Німеччині. Оскільки значення необхідних відстаней видимості в німецьких нормах високі, з метою заощадження коштів при будівництві накладається норма, що не менше 20% дороги повинно мати достатню відстань видимості для здійснення обгону. Таким чином забезпечуються і економічність, і безпечність автомобільної дороги.

Аналізуючи відмінність у визначенні відстані видимості з умови зупинки автомобіля, помічено відсутність врахування впливу зменшення коефіцієнта зчеплення зі збільшенням швидкості.

При будь-яких покриттях виступаючі над їх поверхнею тверді мінеральні частинки, котрі роблять покриття шорохуватим, при наїзді колеса вдавлюються в резину протектора. При проковзуванні колеса вони пружно

деформують резину, опір якої є основною причиною опору колеса зміщенню по покриттю. При високих швидкостях руху шина не встигає повністю деформуватися, оскільки тривалість контакту з покриттям для цього є недостатньою, а отже, нерівності покриття вдавлюються в шину на меншу глибину. В результаті зі збільшенням швидкості коефіцієнт зчеплення зменшується.

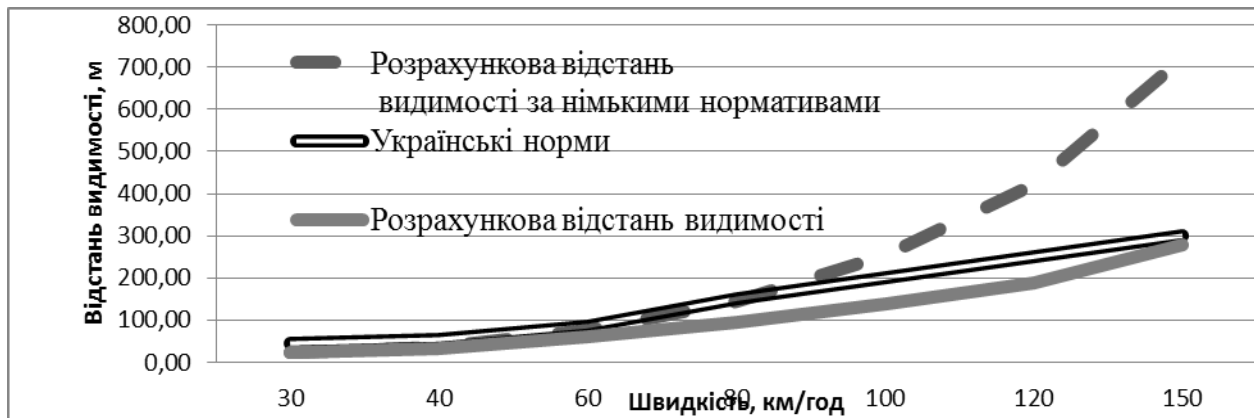


Рисунок 1 – Порівняння розрахункової відстані видимості

Таблиця 8 – Відстань видимості з умови обгону

Країна	Проектна швидкість, км/год					
	110	100	90	80	60	50
Німеччина			625	575	500	475
Україна	450	350	300	250	170	130

В більшості країн Європи приймаються різні коефіцієнти зчеплення в залежності від швидкості руху та стану покриття (табл. 9). В українських нормах при визначенні відстаней видимості коефіцієнт зчеплення приймається сталим.

Виходячи з того, що визначення коефіцієнтів зчеплення потребує спеціальних приладів, були проаналізовані дані літературних джерел щодо залежності коефіцієнтів зчеплення від швидкостей руху. Зокрема, подібні дослідження проводилися Бабковим В. Ф. [3]

Підставивши значення з таблиці 9 а також нормативне значення 0,45, яке, згідно норм, відповідає важким умовам руху, в розрахункову формулу (1), отримані графіки залежності відстані видимості від швидкості при різних значеннях коефіцієнта зчеплення (Рис. 2).

$$S = \frac{Vt}{3,6} + \frac{K_3 V^2}{254(\varphi + f \pm i)} + l \quad (1)$$

де S – розрахункова відстань видимості поверхні автомобільної дороги;

V – розрахункова швидкість автомобіля; t – час реакції водія;

K_3 – коефіцієнт експлуатації гальмівної системи автомобіля;

φ – коефіцієнт зчеплення колеса автомобіля з поверхнею проїзної частини;

f – коефіцієнт опору кочення; i – величина поздовжнього похилу; l – величина запасу.

Таблиця 9 - Нормативні коефіцієнти зчеплення, прийняті в різних країнах світу

Країна	Проектна швидкість руху, км/год									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
США	0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28
Австралія	-	-	0,52	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35
Австрія	0,44	0,39	0,35	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16
Німеччина	0,51	0,46	0,41	0,36	0,32	0,29	0,25	0,23	0,21	0,19
Греція	0,46	0,42	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
СНД ¹	0,50	0,45	-	0,39	-	0,35	-	0,32	-	0,29

Примітка: ¹ дані отримані проф. Бабковим для цементобетонного покриття.

Отже, необхідно більш детально досліджувати залежність коефіцієнтів зчеплення від швидкості, особливо для великих швидкостей руху, а також враховувати його при визначенні відстаней видимості.

В нормативних документах деяких країн наведені методики розрахунку коефіцієнта зчеплення в залежності від швидкості руху.

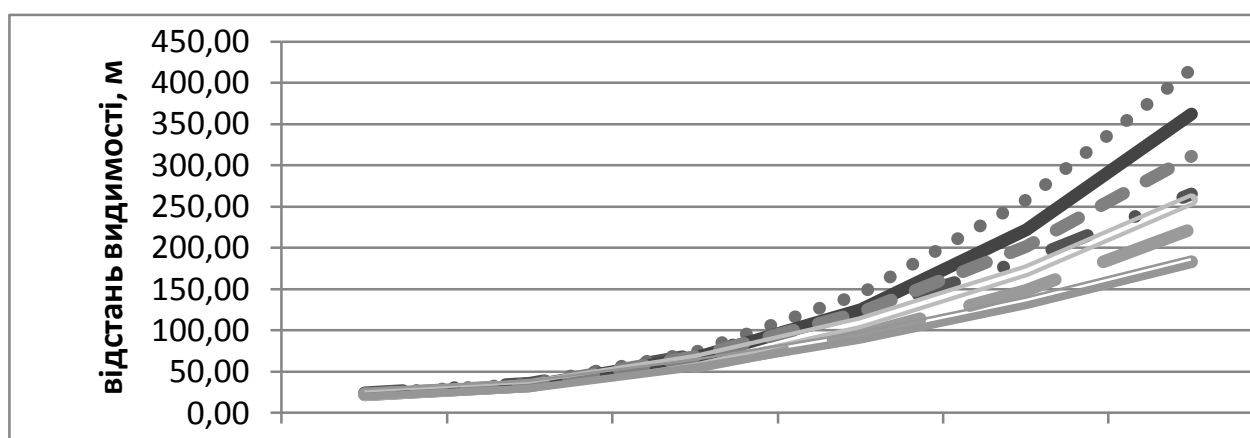


Рисунок 2 – Вплив коефіцієнта зчеплення на відстань видимості.

Наприклад, в Німеччині пропонують коефіцієнт зчеплення розраховувати наступним чином:

$$f = 0,241 \left(\frac{v}{100} \right)^2 - 0,721 \left(\frac{v}{100} \right) + 0,708 \quad (2)$$

а у Франції:

$$f = 0,55e^{-0,0057V} \quad (3)$$

де V – розрахункова швидкість, км/год.

Висновки

Аналіз та порівняння вітчизняної і європейської нормативних баз на проектування доріг засвідчив дещо відмінний підхід до визначення параметрів.

Відмінності полягають у визначенні категорій доріг - не за інтенсивністю, а функціональним призначенням та місцем розташування дороги. Крім розрахункової швидкості, вводиться швидкість 85% забезпечення; якщо перша використовується при розрахунках на допустимі і рекомендовані значення для більшості геометричних елементів: мінімальні радіуси кривих в плані і в поздовжньому профілі, параметри клотоїд, максимальні поздовжні похили, то друга - при розрахунку поперечних похилів на кривих, мінімальних радіусів кривих в плані при негативному поперечному похилі, необхідних відстаней видимості, тобто, базових елементів, які забезпечують безпеку руху.

При встановленні розрахункової відстані видимості вітчизняні норми не враховують зміни коефіцієнту зчеплення від швидкості руху.

В основі визначення розрахункової відстані видимості закладений шлях гальмування, що визначає безпеку та комфортність руху. Вітчизняні норми забезпечують відстань видимості на рівні з європейськими для доріг невисоких категорій, і нижчі значення - для автомагістралей, що може знижувати якість поїздки транспортними коридорами.

Література

1. Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации «Анализ норм проектирования полотна зарубежных стран автомобильных дорог на примере последних норм и правил федеративной республики Германия», приложение 1, II
2. Автомобільні дороги. ДБН В.2.3-4-2007. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 87 с.
3. Бабков В. Ф., Андреев О. В. «Проектирование автомобильных дорог», - М.: Транспорт, 1987,- ч.1 – 367 с.

Червякова В.В.

МЕХАНІЗМ КОНТРОЛІНГУ В УПРАВЛІННІ ПІДПРИЄМСТВАМИ АВТОСЕРВІСУ

Анотація. Розглянуто сучасні наукові погляди на проблему побудови механізму контролінгу в управлінні підприємствами. Запропоновано комплексну тривимірну модель механізму контролінгу на підприємстві автосервісу. Встановлено, що реалізація механізму контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу відбувається циклічно. Розроблено укрупнену блок-схему алгоритму контролінгу в системі управління підприємством автосервісу.

Ключові слова: механізм контролінгу, алгоритм контролінгу.

Аннотация. Рассмотрены современные научные взгляды на проблему построения механизма контроллинга в управлении предприятиями. Предложена комплексная трехмерная модель механизма контроллинга на предприятии автосервиса. Установлено, что реализация механизма контроллинга в управлении предприятиями автосервиса происходит циклично. Разработана укрупненная блок-схема алгоритма контроллинга в системе управления предприятием автосервиса.

Ключевые слова: механизм контроллинга, алгоритм контроллинга

Annotation. The modern scientific views on the problem of constructing a mechanism of controlling the management of enterprises. A comprehensive three-dimensional model of the mechanism controlling the enterprise service centers. Determined that implementation of the mechanism controlling the management of enterprises service center is cyclic. Developed enlarged block diagram of the algorithm controlling the system management service centers.

Key words: mechanism controlling algorithm controlling.

Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Зростання негативного впливу світової економічної кризи та загострення внутрішніх дестабілізуючих факторів є своєрідним тестуванням на життєздатність підприємств автосервісу в умовах кризових явищ. Відповідно випробуванням піддаються не лише підприємства, а й усі компоненти управлінської системи. Відчутний вплив кризи на більшість українських підприємств автосервісу зумовлений використанням ними загальновідомих і звичних методів планування та управління, неефективність або відсутність стратегічного аспекту управління – взаємозв'язку бюджетування та планування. Тому більшості підприємств автосервісу необхідне реанімування шляхом термінового впровадження цілісної системи контролінгу.

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Проблеми розробки й удосконалення контролінгового механізму в системі управління підприємством висвітлюються в численних працях зарубіжних та вітчизняних науковців, серед яких Е. Майєр, Р. Манн, Х.-Ю. Кюппер, Д. Шнайдер, Й. Вебер, Д. Хан, Х.Й. Фольмут, Е.Л. Попченко, А.М. Кармінський, Н.І. Оленєв, А.Г. Приймак, С.Г. Фалько, М.С. Пушкар, М.В. Тарасюк, Н.П. Шульга, Л.А. Сухарева, О.М. Деменіна та інші.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Наукові праці містять різноманітні погляди щодо визначення переліку основних елементів механізму контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу, їх змісту і послідовності реалізації.

О.Д. Гудзинський, М.М. Аксентюк, О.М. Деменіна [1] під механізмом оперативного контролінгу розуміють сукупність методів та інструментів оперативного контролінгу, що призначена для досягнення оперативних цілей підприємства шляхом координації основних процесів оперативної діяльності підприємства (ціноутворення, планування, організація, облік, контроль та аналіз). Організаційно-економічний механізм оперативного контролінгу представляє сукупність організаційних, ресурсних, методичних та інших складових, які виконують функцію забезпечення ефективного функціонування процесу оперативного контролінгу на підприємстві. До складових організаційно-економічного механізму оперативного контролінгу автори відносять: інформаційне забезпечення оперативного контролінгу (сукупність інформаційних потоків, що забезпечують безперервне функціонування процесу

оперативного контролінгу); матеріально-технічне забезпечення оперативного контролінгу (засоби, що забезпечують виконання необхідних операцій щодо збирання, обліку, обробки, зберігання та передавання інформації в системі оперативного контролінгу); методичне забезпечення оперативного контролінгу (сукупність методів оперативного планування, організації, обліку, контролю, аналізу та регулювання в межах системи контролінгу); кадрове забезпечення оперативного контролінгу, а також система розподілу задач і функцій оперативного контролінгу між підрозділами підприємства; механізм оцінки ефективності системи оперативного контролінгу та окремих управлінських рішень в системі оперативного контролінгу; конкретні інструменти оперативного контролінгу (система показників оперативного контролінгу, що відображає цілі та обмеження системи оперативного управління). Дослідники зазначають, що необхідною інформаційно-методичною базою організаційно-економічного механізму оперативного контролінгу є система бюджетування, яка за допомогою ієрархії взаємопов'язаних бюджетів відображає систему показників оперативного контролінгу. Недоліком даного підходу є те, що автори розглядають організаційно-економічний механізм виключно оперативного контролінгу, залишаючи без уваги стратегічний і тактичний контролінг.

І.І. Цигилик, Т.М. Паневник, О.І. Мозіль та ін. [2] на основі процесного підходу до управління суб'єктами господарювання пропонують визначати такий алгоритм проведення робіт: визначення відхилення між фактичними і плановими (нормативними) показниками, проведення аналізу відхилень та коригування. Схожої точки зору дотримуються С.Н. Петренко, Л.А. Сухарева [3, 4], які крім зазначених елементів механізму функціонування контролінгу в управління суб'єктом господарювання пропонують здійснювати також визначення ступеня впливу відхилень на рентабельність і платоспроможність.

Наголошуючи на тому, що механізм є основою функціонування контролінгу в управління суб'єктами бізнесу, В.А. Биков [5] вважає, що найбільш важливим його елементом є: планування, моніторинг та коригування управлінських впливів. Даний підхід не враховує сучасне розуміння ролі контролінгу, яка полягає у підтримці управління, а не у дублюванні його функцій.

Досліджуючи працю Н.М. Кофорової [6], присвячену проблемі контролінгу витрат, слід визначити такі ключові елементи блок-схеми

функціонування контролінгу в управління суб'єктами господарювання: формування планових показників діяльності, порівняння фактичних та планових показників, аналіз виявлених відхилень, дослідження їх причин, здійснення коригуючих дій, внесення змін до нормативних показників діяльності з урахуванням реальних умов господарювання. Отже, Н.М. Кофорова досить логічно та послідовно розмістила елементи механізму контролінгу, що заслуговує на увагу. Проте негативно оцінюється формулювання такого елементу механізму контролінгу, як здійснення коригуючих дій, оскільки безпосередній управлінський вплив належить до компетенції управління, а контролінгу може лише пропонувати варіанти таких дій.

Схожий з Н.М. Кофорової підхід до визначення основних елементів контролінгу в управління суб'єктом господарювання розроблений Л.В. Драгуною [7]. Дослідниця, розвиваючи напрацювання Н.М. Кофорової, пропонує на початкових етапах реалізації механізму контролінгу визначати цілі діяльності та відображати їх в системі показників. Цей підхід заслуговує на увагу, але з певним застереженням, адже контролінгу має не визначати цілі, а забезпечувати підтримку даного напрямку управлінської діяльності.

Більш широкий перелік складових механізму контролінгу пропонує О.М. Деменіна [8, 9]. Дослідниця, зокрема, зазначає, що від збалансованості роботи складових контролінгового механізму залежить ефективність контролінгу в управлінні суб'єктами господарювання в цілому. На думку О.М. Деменіної, складовими механізму контролінгу є: інформаційне забезпечення, матеріально-технічне забезпечення, методичне забезпечення, кадрове забезпечення, механізм оцінки ефективності системи контролінгу та окремих управлінських рішень, конкретні інструменти контролінгу. Неточність даного підходу полягає в наявності такого елементу, як кадрове забезпечення, що не узгоджується зі змістом поняття «механізм контролінгу в управлінні підприємствами», а отже його наявність в структурі механізму контролінгу є суперечливою.

Окремо визначати напрями функціонування стратегічного та оперативного контролінгу в управління суб'єктами господарювання пропонує Н.П. Шульга [10]. Так, до основних напрямів стратегічного контролінгу вона пропонує відносити: участь у постановці стратегічних цілей та визначення цільових стратегічних орієнтирів діяльності суб'єкта господарювання; проведення стратегічного аналізу та виявлення резервів економічного зростання; інформаційне забезпечення процесу стратегічного управління;

координацію зусиль усіх підрозділів щодо розробки і виконання стратегічного плану; коригування стратегічних цілей та стратегічних пріоритетів внаслідок зміни умов функціонування суб'єкта господарювання; встановлення причин невиконання стратегічних планів і розробку заходів щодо їх усунення. До напрямів оперативного контролінгу Н.П. Шульга пропонує відносити: участь у визначенні оперативних цілей суб'єкта господарювання та розрахунок цільових індикаторів, що входять до оперативних планів; координацію дій підрозділів у процесі розробки та реалізації оперативних планів; проведення спеціальних економічних розрахунків із визначення основних показників якості управління певними напрямами фінансово-господарської діяльності; управління структурою балансу та бюджетом; інформаційне забезпечення процесу оперативного управління; розробку програми дій щодо підвищення ефективності оперативного управління; здійснення контролю за реалізацією оперативних цілей суб'єкта господарювання. Аналіз даного підходу свідчить, що він більше відповідає сучасному розумінню сутності та роді контролінгу в управлінні суб'єктами господарювання, ніж розглянуті вище підходи, але має певні недоліки. Так, напрями стратегічного та оперативного контролінгу, які полягають у коригуванні цілей та розробці програми дій щодо підвищення ефективності діяльності, передують контрольно-аналітичному етапу встановлення відхилень та їх причин. Таким чином, порушується логіка механізму контролінгу, оскільки контрольно-аналітичні висновки (згідно з підходом Н.П. Шульги) не використовуються при розробці коригуючих заходів та відповідних програм підвищення ефективності діяльності.

Розпочинати процес реалізації механізму контролінгу в управління підприємствами з аналізу їх зовнішнього і внутрішнього середовища пропонують Т. Басюк [11], Ю.Г. Одегов, Т.В. Ніконова [12, 13]. Інші ж елементи алгоритму контролінгу, як вважає дослідник, слід визначати і реалізовувати з урахуванням результатів проведеного аналізу, що заслуговує на позитивну оцінку.

Вдалим є підхід М.В. Тарасюка [14], який на основі критичної оцінки існуючих на сьогодні підходів до визначення елементів механізму контролінгу з урахуванням особливостей сучасного етапу розвитку теоретичної моделі контролінгу в управління підприємствами визначає такі елементи механізму контролінгу: аналіз факторів зовнішнього і внутрішнього середовища і оцінка їх впливу на господарську діяльність підприємств автосервісу; прогнозування

впливу факторів зовнішнього і внутрішнього середовища на майбутню діяльність підприємства в плановому періоді; визначення основних параметрів оцінки діяльності підприємств автосервісу в цілому та його підрозділів; формування інформаційного, методичного та інструментального забезпечення розробки цільових показників діяльності підприємств автосервісу на плановий період; підтримка процесу визначення системи цільових показників діяльності підприємств автосервісу, а також її аналіз і оцінка; декомпозиція та формалізація системи цільових показників діяльності підприємства за окремими елементами її фінансової структури; формування інформаційного, методичного та інструментального забезпечення розробки системи планів (бюджетів) підприємства автосервісу; координація процесу планування та аналізу розробленої системи планів (бюджетів) підприємства автосервісу; підтримка процесу організації виконання системи планів підприємства автосервісу, зокрема участь у доведенні планових показників до усіх відповідальних за їх досягнення виконавців; підтримка процесу визначення системи мотивації виконання системи планів підприємства автосервісу; формування інформаційного, методичного та інструментального забезпечення контролю з боку менеджерів підприємства за підконтрольними їм показниками; внутрішній консалтинг менеджерів всіх рівнів підприємства; моніторинг виконання планових показників підприємства автосервісу за даними різних інформаційних систем підприємства (бухгалтерський, фінансовий, управлінський та статистичний облік), а також за спеціально сформованими масивами інформаційних даних; контроль і аналіз за дотриманням встановлених планових показників діяльності підприємства; виявлення відхилень, їх причин і розробка альтернативних варіантів управлінських рішень; аналіз і оцінка досвіду управління на певних рівнях в усіх підрозділах підприємства; виявлення передового досвіду вирішення окремих управлінських задач та його розповсюдження; а також підготовка внутрішньої контролінгової звітності.

Вирішуючи організаційні та методичні питання впровадження контролінгу на підприємстві автосервісу, слід звернути увагу на три проблеми:

- ✓ розвиненість комплексу контролінгу (ступінь охоплення функціональних сфер діяльності підприємства);
- ✓ підтримка управління в рамках циклу «прийняття рішення - планування - виконання - облік витрат - аналіз результатів»;

✓ комплексність вирішення задач управління, що забезпечують ефективність всього комплексу.

У зв'язку з цим, враховуючи підхід О.А. Дєдова [15], доцільно запропонувати комплексну тривимірну модель механізму контролінгу на підприємстві автосервісу, яка дозволяє забезпечити високий ступінь формалізації необхідних робіт. На рис. 1 приведена модель механізму контролінгу в управлінні підприємством автосервісу, яка розкриває його внутрішню структуру.

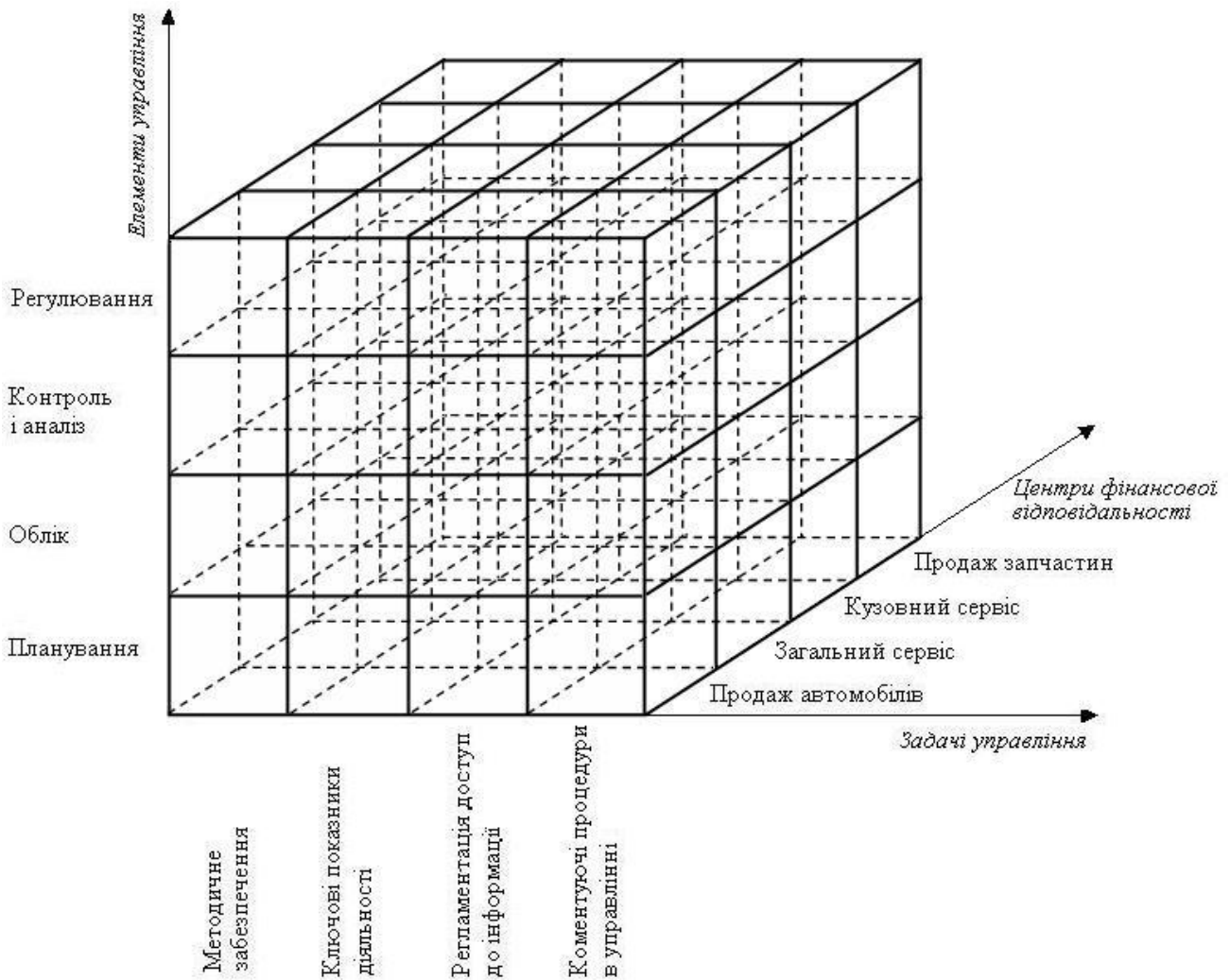


Рисунок 1 – Модель механізму контролінгу в управлінні підприємством автосервісу

Модель має три ракурси, що охоплюють:

- 1) центри фінансової відповідальності підприємства автосервісу (Ok): продаж автомобілів, загальний сервіс, кузовний сервіс, продаж запчастин;
- 2) елементи управління (Oj): планування, облік, контроль і аналіз, регулювання;

3) завдання управління (Оі): методичне забезпечення, ключові показники діяльності, регламентація доступу до інформації, коментуючі процедури в управлінні.

У запропонованій моделі під центрами фінансової відповідальності підприємства слід розуміти структурні підрозділи підприємства або групи підрозділів підприємства, що повністю контролюють ті чи інші напрямки фінансово-господарської діяльності, а їх керівники несуть відповідальність перед вищим керівництвом за реалізацію поставлених цілей і дотримання рівня витрат у межах доведених лімітів. Їх перелік може бути різним на різних підприємствах. Відповідні їм процеси розглядаються як спеціально організована сукупність процедур різних систем управління підприємства.

У структурі контролінгу елементи управління відповідають найважливішим фазам класичного циклу управління. При цьому можливе різне масштабування в залежності від рівня управління, деталізації процесів або найважливіших процедур. В цілому формалізована підтримка елементів управління передбачає високий ступінь документованості процедур і рішень, зокрема наявність документів, що відображають:

- ✓ в області планування - постановку цілей і завдань в актуальних галузях діяльності; організацію робіт з розробки відповідних планів за сферами відповідальності та підрозділах; розробку фінансових планів-бюджетів з адресною прив'язкою їх до місць виникнення витрат та прибутку;

- ✓ в області обліку - організацію дій виконавців у структурних підрозділах та застосування програмних і технічних засобів для достовірного обліку фактичних витрат і прибутку з актуальних видів діяльності;

- ✓ в області контролю і аналізу результатів діяльності - організацію робіт, визначення процедур і прийомів, що дозволяють виявити відхилення фактичних даних від нормативних за сферами відповідальності, тимчасовим інтервалам, видам витрат; аналіз причин виявлених відхилень; виявлення недосконалостей в господарських механізмах управління підприємством;

- ✓ в області регулювання - організаційні дії по досягненню поставлених цілей з визначенням повноважень і відповідальності за результати.

Особливої уваги заслуговує розгляд ракурсу «Завдання управління». Ця складова частина в структурі контролінгу забезпечує його працездатність і ефективність застосовуваних інструментів, є найважливішою умовою

результативності запропонованої технології управління. У наведеному переліку елементів цього ракурсу спеціальних пояснень вимагає останній - «коментуючі процедури в управлінні». Механізм контролінгу підприємства - це виключно насичений конгломерат, що складається з організаційних, технічних, процедурних та методичних компонентів. Процедура впровадження в експлуатацію всього комплексу контролінгу завершується реалізацією саме цього елемента, від якості виконання якого залежить ефективність управління на підприємстві.

Структура механізму контролінгу може бути описана за допомогою моделі, що представляє собою тривимірну математичну матрицю, де:

- індекс I є структурним номером завдань управління зі значеннями від 1 до 4; значущими є параметри:

$I = 1$ (комплекс методик управління);

$I = 2$ (комплекс показників управління);

$I = 3$ (комплекс регламентів доступності показників управління);

$I = 4$ (комплекс документів, що описують коментують процедури для прийняття управлінських рішень);

- індекс J відображає структурні елементи управління:

$J = 1$ (організація планування);

$J = 2$ (організація обліку);

$J = 3$ (організація робіт з контролю і аналізу результатів);

$J = 4$ (організація робіт по розробці коригуючих заходів);

- індекс K позначає центри фінансової відповідальності підприємства:

$K = 1$ (продаж автомобілів);

$K = 2$ (загальний сервіс);

$K = 3$ (кузовний сервіс);

$K = 4$ (продаж запчастин).

Матричний опис структури контролінгу підприємства автосервісу робить можливим формування типової моделі з умовними чисельними характеристиками її структурних елементів для оцінки ступеня розвитку управління і комплексу контролінгу на кожному підприємстві.

Число X_{ijk} може характеризувати кількість документів зі структурними параметрами i, j, k . $\overline{X_{ijk}}$ може бути нормативною величиною в рамках типової

моделі контролінгу і мати характеристики $\frac{X_{ijk}}{\overline{X_{ijk}}}$

рівня насичення позицій i, j, k необхідними регламентами.

Індекс заповнення матриці M розраховується за формулою (окремий випадок для чотирьох актуальних значень в кожному ракурсі моделі, тобто $i = 4, j = 4, k = 4$:

$$M = \frac{1}{64} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 \frac{X_{ijk}}{\overline{X_{ijk}}},$$

де $\frac{1}{64}$ нормований множник відповідний заданим значенням знаменника $\frac{1}{i \cdot j \cdot k}$ - при цьому $0 < M < 1$.

Такий підхід дозволяє обчислювати M у відсотках, помноживши на 100% початкове значення.

В цілому в розглянутій моделі повнота використання елементів в площині ioj характеризує комплексність застосування інструментів контролінгу; елементи в площині $io k$ характеризують актуальну розвиненість організаційно-методичного комплексу; а площина jok відображає повноту вирішення проблем керованості підприємства.

Аналіз наукових праць з проблем організації функціонування контролінгу в управлінні суб'єктами господарювання свідчить про циклічний характер реалізації механізму контролінгу в управлінні суб'єктами господарювання. Л. Гіляровська та В. Белкін [16] вважають, що цикл контролінгу включає наступні інтерактивні етапи: планування, контроль відхилень, прийняття коригуючих рішень, що певною мірою не узгоджується із системою управління підприємством, яка безпосередньо виконує ці функції.

Більш ґрунтовний підхід наведено в праці З.В. Задорожного, І.Є. Давидовича, А.В. Фаїзова [17], які представляють цикл контролінгу у вигляді послідовної реалізації чотирьох етапів: розробка довго- і короткострокових планів, виконання планів (організація, регулювання), вимірювання результатів (облік), оцінка відхилень (аналіз). При цьому управлінський апарат бере участь в реалізації всіх вказаних етапів у специфічній формі – прийнятті рішень щодо збуту, виробництва, постачання та оцінки показників, які характеризують поліпшення господарської діяльності.

Враховуючи викладене, можна зробити висновок, що реалізація механізму контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу відбувається циклічно. Отже, при організації практичного функціонування контролінгового механізму в управлінні суб'єктами автосервісного бізнесу слід виділяти окремі цикли контролінгу.

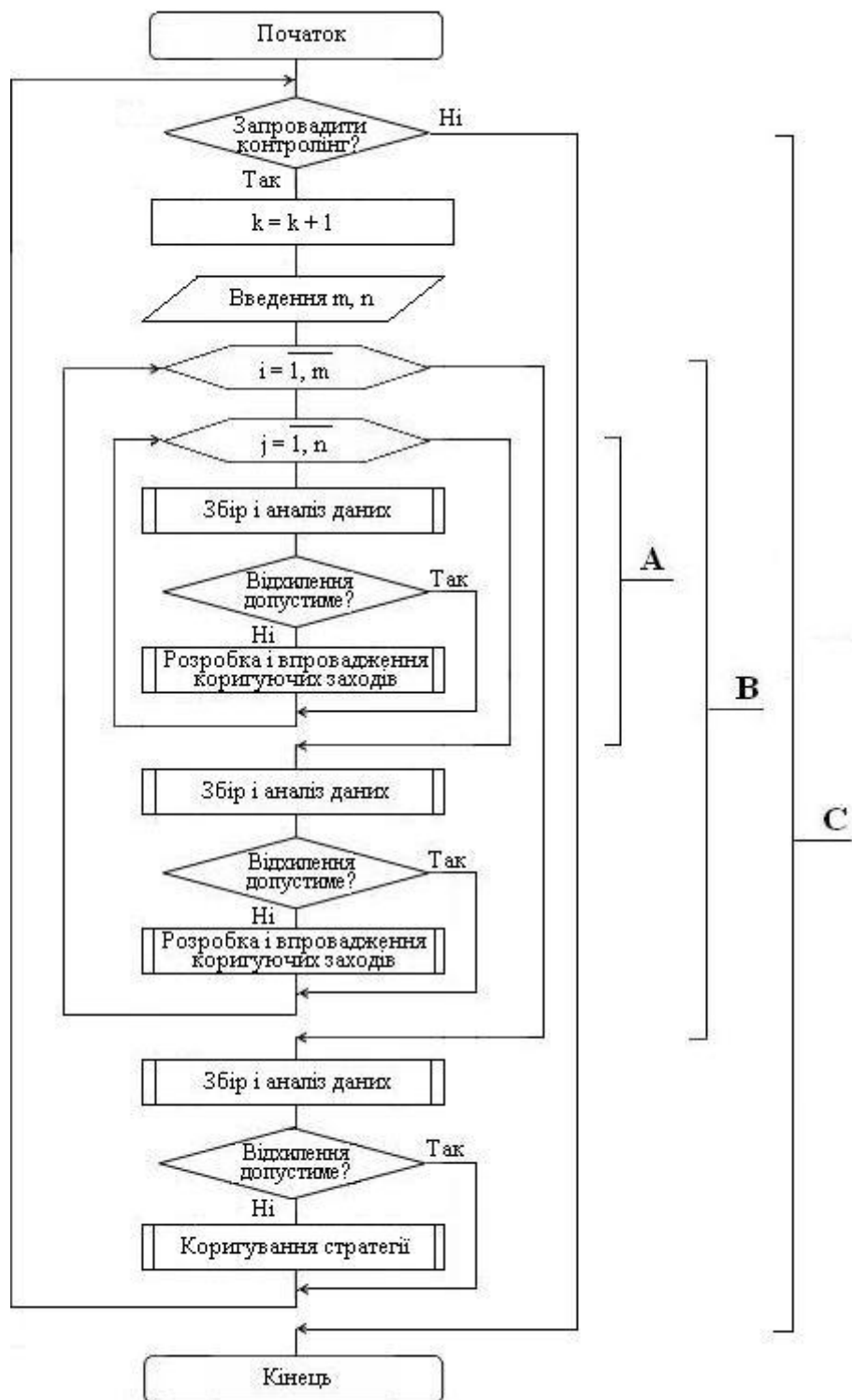
На сьогодні прийнято розрізняти три основні підсистеми контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу: стратегічний, тактичний та оперативний, які характеризуються різними часовими періодами. Доцільно також виділяти цикли, відповідно, стратегічного, тактичного та оперативного контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу.

Сучасне розуміння змісту контролінгу та його підсистем формулює визначення циклу стратегічного контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу, як регламентований внутрішніми документами суб'єкта автосервісного бізнесу процес повної реалізації всіх елементів механізму контролінгу в ході підтримки стратегічного управління, що формують замкнуте коло за період від трьох до п'яти років.

Під циклом тактичного контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу слід розуміти регламентований внутрішніми документами суб'єкта автосервісного бізнесу процес повної реалізації всіх елементів механізму контролінгу в ході підтримки тактичного управління, що формують замкнуте коло за звичай протягом одного року.

Цикл оперативного контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу являє собою регламентований внутрішніми документами суб'єкта автосервісного бізнесу процес повної реалізації всіх елементів механізму контролінгу в ході підтримки оперативного управління, що формують замкнуте коло, як правило, за період від одного тижня до одного місяця (залежно від специфіки фінансово-господарської діяльності).

Слід також зазначити, що періодичність певних циклів контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу залежить від специфіки їх фінансово-господарської діяльності та потреб менеджменту. Всі визначені цикли контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу повинні бути взаємопов'язані та постійно взаємодіяти, що пояснюється необхідністю забезпечення єдності контурів стратегічного, тактичного та оперативного управління суб'єктами автосервісного бізнесу (рис. 2).



Умовні позначення:

A – цикл оперативного контролінгу; **B** – цикл тактичного контролінгу;
C – цикл стратегічного контролінгу.

Рисунок 2 – Укрупнена блок-схема алгоритму контролінгу в системі управління підприємством автосервісу

Отже, функціонування контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу відбувається шляхом чітко регламентованої поступової реалізації основних елементів його механізму, які формують замкнене коло за визначений проміжок часу та утворюють таким чином цикли, спрямовані на підтримку контурів стратегічного, тактичного й оперативного управління суб'єктами автосервісного бізнесу.

Висновки

Досліджено основні наукові підходи щодо визначення переліку елементів механізму контролінгу в управлінні підприємствами, їх змісту і послідовності реалізації. Запропоновано комплексну тривимірну модель механізму контролінгу на підприємстві автосервісу, яка має три ракурси: центри фінансової відповідальності підприємства автосервісу; елементи управління; завдання управління. Встановлено, що реалізація механізму контролінгу в управлінні підприємствами автосервісу відбувається циклічно. Розроблено укрупнену блок-схему алгоритму контролінгу в системі управління підприємством автосервісу. Підсумковим критерієм корисності впровадження і функціонування механізму контролінгу на підприємстві слід вважати об'єктивні факти удосконалення систем і процесів управління на підприємстві і як наслідок цього – поліпшення результатів діяльності підприємства в цілому.

Література

1. Гудзинський О.Д., Аксентюк М.М., Деменіна О.М. Контролінг в системі менеджменту (теоретико-методологічний аспект): монографія. – К.: ІПК ДСЗУ, 2009. – 225 с..
2. Цигилик І.І. Контролінг. Сутність і основи формування та функціонування на підприємствах України / І.І. Цигилик, О.І. Мозіль, Н.В. Кірдякіна // Економіка, фінанси, право. – 2004. – № 4. – С. 13-16..
3. Петренко С.Н. Контроллинг : учеб. пособие / С.Н. Петренко, Л.А. Сухарева. – Донецк: ДонГУЕТ, 2003. – 365 с..
4. Петренко С.Н. Контроллинг : учеб. пособие / С.Н. Петренко – К.: Ника-Центр, Эльга, 2003. – 328 с..
5. Быков В.А. Механизм контроллинга в системе управления экономической безопасностью федеральных государственных предприятий министерства обороны РФ : дис. ... канд.. экон. наук : спец. 08.00.05 / Вадим Андреевич Быков. – Ярославль, 2006. – 219 с..

6. Кофорова Н.М. Контроллинг затрат в системе управления промышленным предприятием ; дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Кофорова Надежда Михайловна. – Нижний Новгород, 2007. – 179 с..
7. Драгунова Л.В. Контроллинг как инструмент управления прибылью : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Л.В. Драгунова. – Новосибирск, 2006. – 181 с..
8. Деменіна О.В. Організаційно-економічні аспекти формування системи оперативного контролінгу на вітчизняних підприємствах / О.В. Деменіна // Проблеми науки. – 2008. – № 8. – С. 32-37..
9. Деменіна О.В. Організаційно-економічний механізм оперативного контролінгу на промисловому підприємстві: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к.е.н: спец. 08.06.01 «Економіка, організація і управління підприємствами»/ О.В. Деменіна. – К., 2005. – 25 с..
10. Шульга Н.П. Банківський контролінг: теорія, методологія, практика/Н.П. Шульга. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т., 2004. – 326 с..
11. Басюк Т. Інвестиційний контролінг: проблеми і перспективи / Т. Басюк // Економіка України. – 2004. – № 6. – С. 32-37..
12. Одегов Ю.Г. Аудит и контроллинг персонала : учебник / Ю.Г. Одегов, Т.А. Никонова. – М.: Альфа-Пресс, 2006. – 560 с..
13. Одегов Ю.Г., Никонова Т.В. Аудит и контроллинг персонала : Учеб. пособ. / Ю.Г. Одегов, Т.В. Никонова. – М.: Экзамен, 2002. – 448 с..
14. 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..
15. Дедов О.А. Методология контроллинга и практика управления крупным промышленным предприятием: учеб. пособие / О.А. Дедов. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 248 с..
16. Гиляровская Л. Контроллинг как база обоснования принятия управленческих решений / Л. Гиляровская, В. Белкин // Упр. собственностью. – 2002. – № 2. – С. 31-37..
17. Задорожний З.В., Давидович І.Є., Фаїзов А.В. Контролінг: Навчальний посібник. – Тернопіль: Економічна думка, 2010. – 224с..

УДК 625.7/.8

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Карафізі Л.М.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПОКРИТТІВ ІЗ КАМ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БРУКУВАННЯ

Анотація. Розглядаються дослідження та методи розрахунку, які дають можливість проектувати конструкції дорожніх одягів з покриттями із елементів брукування.

Ключові слова: блокові покриття, вертикальні напруження стиску, елемент брукування, дискретне середовище.

Аннотация. Рассматриваются исследования и методы расчета, позволяющие проектировать конструкции дорожных одежд с покрытиями из элементов мощения.

Ключевые слова: блочные покрытия, вертикальные напряжения сжатия, элемент мощения, дискретная среда.

Annotation. We consider the researches and the calculation methods that enable to design the pavement constructions of paving elements.

Key words: block pavements, compressive stresses, paving element, discrete environment.

Вступ

Для забезпечення надійності покриттів із елементів брукування необхідно розробити достовірний метод розрахунку конструкцій даного типу.

Мета роботи. Метою даної роботи є аналіз робіт, що проводилися в різні періоди, задля можливості проектування покриттів із кам'яних елементів брукування з необхідними експлуатаційними показниками.

Огляд досліджень. Під блочним покриттям пропонується приймати такий вид покриття, що складається з елементів брукування, горизонтальні розміри котрих є меншими від розміру сліду прикладеного навантаження (діаметра кола, рівновеликого сліду колеса розрахункового автомобіля), а їх висота дозволяє їм працювати переважно на стиснення.

В 60-тих роках минулого століття професором Теренецьким К.С. в КАДІ [1], був запропонований метод розрахунку дорожніх одягів як дискретного середовища, який дає можливість розрахунку найбільш масових видів дорожніх одягів в тому числі блочних покриттів з елементів брукування.

Схему розрахунку блочних покриттів наведено на рис. 1. Підстилаюче середовище розглядається із умов рівноваги системи, яка займає проміжне місце між двома ідеальними крайніми системами: найбільш щільно складена система призматичних брусків і така ж система куль. Дійсна форма зерен в покритті лежить між цими крайніми формами і наближається то до однієї, то до іншої. Найбільш щільне укладення припускає при цьому пошарове рядове розташування зерен.

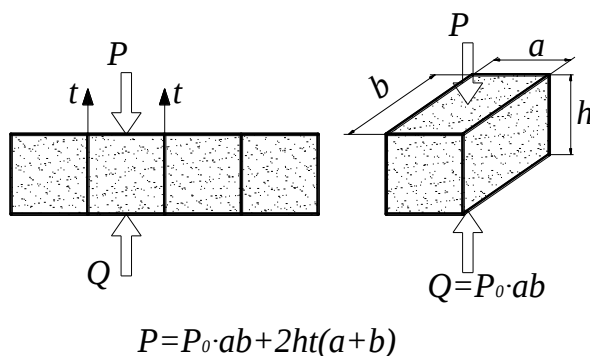


Рисунок 1 – Схема розрахунку блочного покриття

Розглядається найпростіша схема безрозпірної конструкції одягу, що складається з найбільш щільно складених призматичних елементів (рис. 2) з передачею поверхневого тиску через один елемент [1]. Передача тиску в наступному шарі відбувається на чотири елементи, у третьому на 9 і т. д. Для даної схеми при передачі тиску через $m \cdot n$ зерен на поверхні отримано загальний вираз визначення вертикальних напружень:

$$\sigma_{zN} = \frac{mnP - 2N(N + m + n - 1)ah}{(m + N - 1)(n + N - 1)a^2}, \quad (1)$$

де $m \cdot n$ – кількість зерен на поверхні через які передається тиск; P - прикладене навантаження; $N=H/h$, H – товщина покриття до розрахункового шару, h – висота елемента, тобто висота ряду; a – горизонтальний розмір елемента; t – опір зрізу в тілі шару.

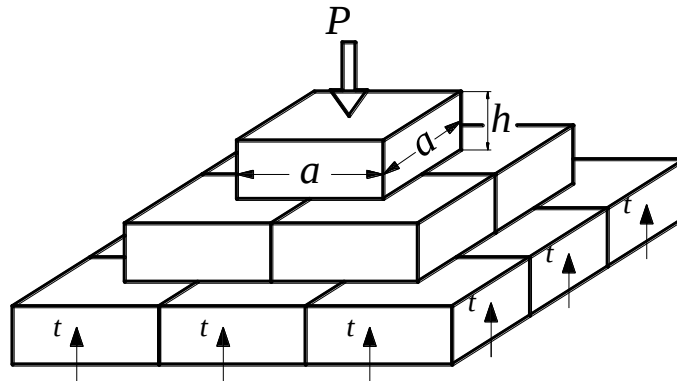


Рисунок 2 – Схема безрозпiрного середовища, що складається з щiльно складених призматичних елементiв з ребром (a) та висотою (h)

Через нерiвномiрний розподiл тиску в кожному шарi найбільший тиск по осi приймається рiвним подвiйному - середньому в даному шарi.

$\sigma_{zmax} = 2\sigma_{zN-1}$ – при передачі тиску не менше ніж через 3 зерна. При передачі через одне або 2 зерна – $\sigma_{zmax} = \sigma_{zN}$ (формула 1).

Властивістю цієї схеми рівноваги є те, що розподільча здатність покриття посилюється із зменшенням співвідношення $h:a$. При цьому зростає N і $ha < a^2$, але ha впливає на P менше, ніж N .

Тому, плоска форма призматичних елементів є вигіднішою від кубічної.

Збільшення висоти елемента в порівнянні з його довжиною (і шириною) значно знижує розподільчу здатність покриття, тому що N зменшується, а $ha > a^2$. Найбільш невигідною розподільчою здатністю відрізняються однорядні покриття типу бруківок, найбільш вигідними є покриття з дещо плоскими щібінками при недопущенні елементів, що стирчать.

Інша крайня система передбачає, що одяг складається з елементів, котрі мають форму кулі. Рівновага покриття із кулеподібних зерен розглядається на рис. 3.

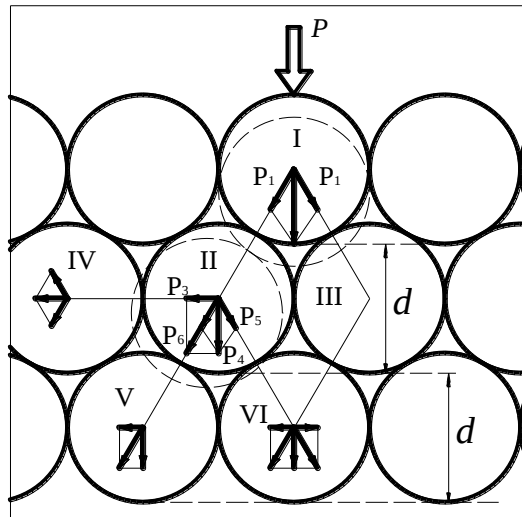


Рисунок 3 – Схема середовища, що складається з щільно складених кульових елементів з діаметром (D)

Зерно I ряду стискається силою P і прагне вдавнити і розсунути кулі II і III (пунктир на рисунку). У точках контакту цей тиск передається другому ряду з силою P_1 на кожне зерно, що діє під кутом α до вертикалі і прагне розсунути кулі IV, V, VI [1]. При цьому, $\frac{P}{2} = P_1 \cdot \cos \alpha$ звідки слідує $P_1 = \frac{P}{2 \cos \alpha}$. У центрі зерна другого ряду ця сила, розкладаючись, дає горизонтальну, складову $P_3 = P_1 \cos(90^\circ - \alpha) = P_1 \sin \alpha$, що відсовує зерно IV і вертикальну P_4 , яка стискає зерно. $P_4 = P_1 \cos \alpha = \frac{P}{2}$, яка розсовує кулі V та VI.

Таким чином, у цій системі з'являються, крім вертикальних сил, що стискають зерно, ще й горизонтальні, які прагнуть розсунути зерна. Сили останнього виду діють на сусідні ненавантажені зерна за тією ж схемою, що і розглядувані вертикальні складові в межах завантаженої частини. При подальшому розгляді, горизонтальні сили дають складові, спрямовані вгору, що призводять, врешті-решт, до відомого явища дилатансії зернистого матеріалу або ґрунту в околицях дії стискаючого штамп.

Ця категорія сил не розглядається в подальшому, тому що для розрахункових цілей є цікавою тільки стискаюча частина сил у зоні найбільших тисків, тобто поблизу осі стиснення.

Взаємодія зерен одне з одним змінюється, однак, за рахунок наявності опору сколюванню, який проявляється по зовнішнім граням піраміди продавлювання, за аналогією з тим же явищем, що має місце в розглянутій вище піраміді для системи складеної з призматичних елементів.

За аналогією з цією схемою можна з деяким наближенням написати для шару на глибині $H=Nd$:

$$\sigma_{zN} = \frac{PM_0 - (a+b)\pi d^2 Nt}{\frac{\pi D^2}{4} M_N},$$

або з подальшим наближенням:

$$\sigma_{zN} = \frac{PM_0 - (a+b)\pi d^2 Nt}{0,75D^2 M_N}, \quad (2)$$

де a, b – кількість зерен в середньому ряду завантаженої піраміди; M_0 – кількість зерен, через які передається тиск на поверхню; d – урізаний діаметр зерна, $d=0,85D$; D – повний діаметр зерна; M_N – кількість зерен в ряду на глибині $H = Nd$; N – кількість рядів зерен від поверхні до даного шару.

Для вирішення цього виразу потрібно знати загальну кількість зерен в межах піраміди тиску ΣM_i^N (щоб знайти ab) і кількість зерен в шарі на глибині $H=Nd$.

Дійсні значення напружень повинні лежати між знайденими крайніми їх значеннями, визначеними за формулою 1 і 2, або за однією з них, якщо форма зерна є кульова або призматична.

Так, для порівняння наведемо формулу розподілу вертикальних напружень стиску, отриману І.І. Кандауровим для зернистих середовищ [2]:

$$\sigma_z = \frac{P}{2\pi\nu z^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\nu z^2}\right), \quad (3)$$

де

$$r^2 = x^2 + y^2$$

ν – коефіцієнт розподільчої здатності середовища, приймається рівним 0,35; x, y, z – координати.

В механіці ґрунтів найбільш широко використовується формула Буссінеска для розрахунку вертикальних напружень стиску у пружному напівпросторі [3]:

$$\sigma_z = \frac{P}{z^2} \frac{3}{2\pi} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}}, \quad (4)$$

Графічне порівняння результатів розрахунків за приведеними вище формулами наведено на рисунку 4.

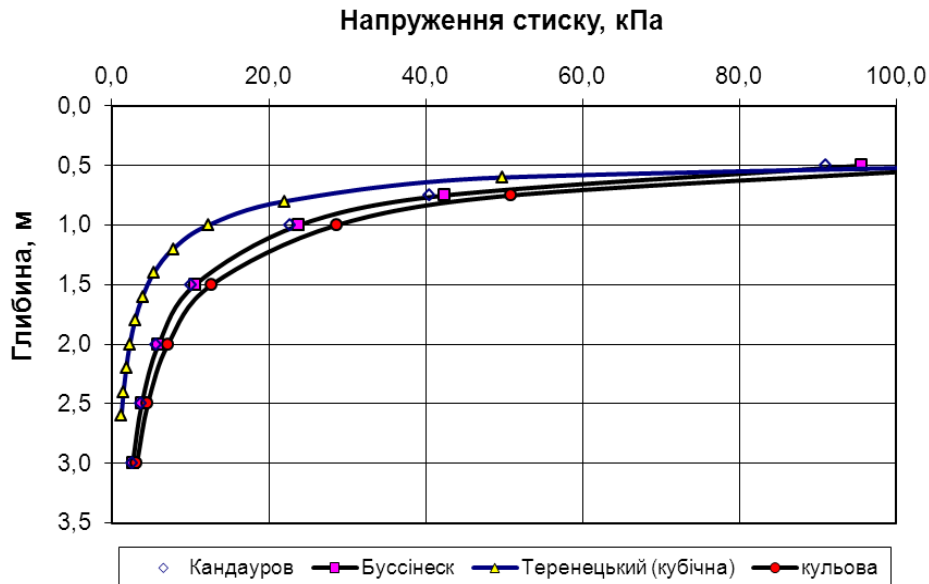


Рисунок 4 - Аналіз зміни вертикальних нормальних напружень за різними залежностями

Аналіз зміни вертикальних нормальних напружень за різними залежностями вказує, що напруження за формулами І.І. Кандаурова та Буссінеска практично співпадають і є проміжними між значеннями напружень для кубічної та кулеподібної форми зерен (рішення Теренецького).

Однорядні системи, до яких відносяться блокові конструкції (бруківки) дискретного типу, тобто неомонолічені заповнювачем швів, розраховуються за формулою (5), спрощеної для польових умов [4]:

$$P = \sigma_{cp} \omega + Uht$$

і далі:

$$P \approx 0,7E_0 w \sqrt{\omega} + Uht, \quad (5)$$

де P – допустиме навантаження на колесо автомобіля, що передається через блок, з площею лицьової поверхні ω ; E_0 – еквівалентний модуль системи, що підстилає покриття (основа плюс ґрунт); 0,7 – нормуючий коефіцієнт умов роботи; σ_{cp} – середнє вертикальне напруження по підшві елемента брукування в межах штампа; w – допустиме осідання покриття при його прогині під навантаженням; U – параметр лицьової поверхні блоків, що сприймають тиск; h – висота елемента брукування; t – питомий опір вертикальному зусиллю, необхідного для висмикування елемента брукуваного покриття.

Цей опір для брукуваних покриттів елементів правильної форми (рядової кладки) може бути розрахований за формулою Кулона;

$$t = fq + c = fE(\varepsilon) + c = fE \frac{\Delta l}{na} + c, \quad (6)$$

де f – кут внутрішнього тертя і c – питоме зчеплення у швах блочного покриття.

Δl – скорочення довжини поперечника в результаті будівельного або в подальшому експлуатаційного укочування транспортом;

a – ширина шва;

n – кількість швів у поперечнику.

У такому розумінні t – це структурна характеристика даної дискретної будови.

Наведені залежності не отримали поширення в практиці проектування покриттів із елементів брукування через відсутність значень окремих параметрів та експериментальної перевірки.

За кордоном з середини 80-х років минулого століття спостерігається відновлення зацікавленості до проектування і будівництва покриттів із елементів брукування [5]. Так в 1988 році був представлений універсальний голландський метод проектування блочних покриттів з піщаними підстилаючими шарами [6]. Метод ґрунтується головним чином на визначенні механічного розвитку колії. Для цього підходу потрібно знати механічні властивості всіх матеріалів, що використовуються в основі. Тому рівняння, що описують механічні властивості матеріалів, включені як функції від складу матеріалу, форми зерен і ущільнюваності, що виведені шляхом регресійного аналізу.

В цьому методі для оцінки підстилаючих шарів з незв'язних матеріалів використовуються наступні критерії: а) міцність; б) пружна поведінка; в) залишкова деформація.

Послідовність конструювання заключається в наступному. Спочатку визначаються властивості пісків основи, а саме: кут внутрішнього тертя (φ), питома зчеплення (c), середній розмір зерен (d_{50}), коефіцієнт однорідності ($C_u = d_{60}/d_{10}$), форма зерен (VVS), ступінь ущільнення (DOC). На основі даних властивостей та певних параметрів (частина з яких встановлена емпіричним шляхом для матеріалів, що застосовуються в Голландії, а інша частина розраховується виходячи з їх властивостей), визначаються міцність піску, пружна поведінка та залишкова деформація.

Міцність незв'язаних матеріалів оцінюється за критерієм Кулона-Мора:

$$\sigma_{1,f} = \frac{(1 + \sin \varphi) \cdot \sigma_{conf} + 2c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (7)$$

де $\sigma_{1,f}$ – перше головне напруження при руйнуванні (кПа); φ – кут внутрішнього тертя (град); σ_{conf} – утримуючий тиск (кПа); c – питома зчеплення (кПа).

На основі (7) може бути визначене співвідношення напружень $\sigma_1/\sigma_{1,f}$. Це співвідношення напружень збільшується зі зростанням завантаження матеріалу і досягає значення 1 при руйнуванні.

Пружна поведінка. Щоб дати належний опис визначенню модуля пружності для пісків в залежності від напруження запропоновано наступне рівняння:

$$M_r = k_1 \left(\frac{\sigma_{conf}}{\sigma_0} \right)^{k_2} \left(1 - k_3 \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{1,f}} \right)^{k_4} \right), \quad (8)$$

де M_r – модуль пружності (МПа); σ_{conf} – утримуючий тиск (кПа); σ_0 – характеризує напруження від 1 (кПа); $\sigma_1/\sigma_{1,f}$ – співвідношення напружень(-); k_1 – параметр моделі (МПа); k_2, k_3, k_4 – параметри моделі (-).

Залишкова деформація. Розвиток залишкової деформації в пісках визначається за формулою:

$$\varepsilon_{perm} = A \left(\frac{N}{1000} \right)^B \quad \text{з} \quad A = a_1 \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{1,f}} \right)^{a_2} \quad \text{і} \quad B = b_1 \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{1,f}} \right)^{b_2}, \quad (9)$$

де ε_{perm} - залишкова деформація (%); a_1 - параметр моделі (%); a_2, b_1, b_2 - параметри моделі (-).

Характеристика шару з блоків. Для розрахунку шару з блочних елементів розробили модель з використанням методу скінченних елементів (МСК), в якій розраховували жорсткість стандартного шару. Даний шар складається з прямокутних блоків товщиною 80 мм та горизонтальними розмірами 211 мм x 105 мм (що означає, те що в одному м² знаходиться до 44 блоків вважаючи ширину швів рівною 2,5 мм). Ці блоки взаємопов'язані дотичними і нормальними силами, що являють собою шви між блоками.

Вплив інших типів блоків на структурну поведінку блочних покриттів включений на основі механічного аналізу властивостей цементобетонного шару. На основі цього аналізу механічні властивості будь-якого цементобетонного шару з прямокутних блоків можуть бути перетворені в еквівалентні сумісні властивості для цементобетонного шару з стандартних блоків завтовшки 80 мм. Цей аналіз привів до отримання наступного рівняння для еквівалентної сумісної нормальної жорсткості (аналогічне рівняння виведене для еквівалентної сумісної зсувуючої жорсткості).

$$k_{n,eq} = \frac{44}{n} \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \frac{h}{2w_j} \left(\frac{h}{80} \right)^2, \quad (10)$$

де $k_{n,eq}$ - еквівалентне сумісне нормальне зусилля жорсткості для структурної моделі, що моделюється на мм довжини шва (Н/мм); n - кількість блоків на м² (-); ν - коефіцієнт Пуассона матеріалу шва (-); E - модуль Юнга матеріалу шва (МПа); h - товщина блоку (мм); w_j - ширина шва (мм).

Значення $k_{n,eq}$ змінювалося від 400 до 40500 Н/мм². Малі значення є результатом великої ширини шва, невеликого розміру блоків, тонких блоків, слабких матеріалів шва або поєднання даних факторів.

Результат кожного індивідуального розрахунку дає поперечний профіль колії, як функцію від кількості прикладань навантаження. В результаті глибина колії по середині сліду колеса знаходиться за допомогою рівняння 11.

Ця формула майже досконало відповідає розвитку колії в практиці завдяки розрахунковим даним і таким чином діє тільки при умові якісної та точної бази вихідних даних.

$$RD = a_c \cdot \left(\frac{N}{1000} \right)^{b_c} \quad (11)$$

де a_c - глибина колії після прикладання 1000 осьових навантажень (мм);
 b_c - швидкість розвитку глибини колії в логарифмічному масштабі (-).

Для того, щоб прийти до методу проектування, який включає стандарт нежорсткого критерію глибини колії a_c і b_c , розроблені рівняння, що описують значення a_c і b_c як функцію від:

- властивостей шару блоків, тобто еквівалентної сумісної жорсткості $k_{n,eq}$;
- товщини підстилаючого шару H ;
- міцності піску підстилаючого шару, тобто c і φ ;
- жорсткості піску підстилаючого шару, тобто k_1 і k_2 ;
- жорсткості земляного полотна;
- завантаження покриття, тобто осьового навантаження і відхилення дорожнього руху.

Цей метод широко використовується при проектуванні міських вулиць та доріг в Нідерландах.

В опублікованих дослідженнях [7] Муратом Альгіним в 2007 році зазначається, що розвиток напружень під бруківкою відрізняється від розподілу напружень в звичайних конструкціях нежорсткого типу. В статті показана зміна кутових напружень у випадку прямокутних блочних елементів з розмірами 100x200 мм. Максимальне напруження під навантаженим слідом в 0,8 Н/мм² становить 1,15 Н/мм² тобто має місце 45% перенапруження, коли тільки один кут бруківки дає позитивні напруження стиснення. Рис. 7 показує схему напружень які розвиваються в підстилаючому піску коли транспортний засіб рухається по прямокутній бруківці укладеній за схемою ялинки.

Причина, чому в деяких випадках напруження в підстилаючих пісках насправді є вищими ніж на поверхні покриття пов'язана з ексцентриситетом і величиною поверхні сліду прикладеного навантаження до бруківки.

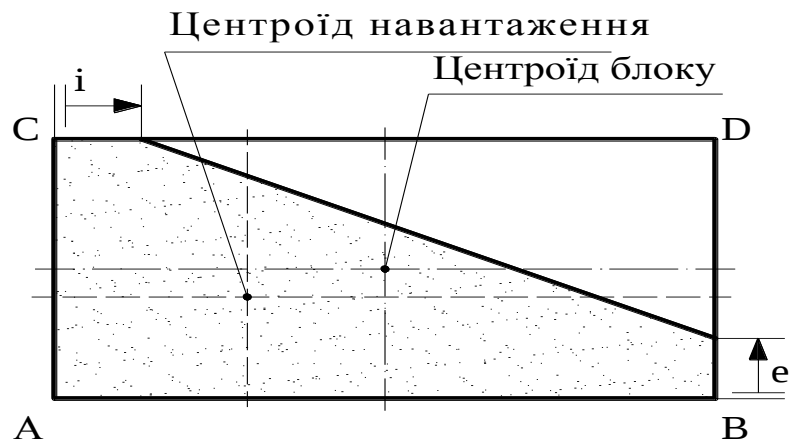
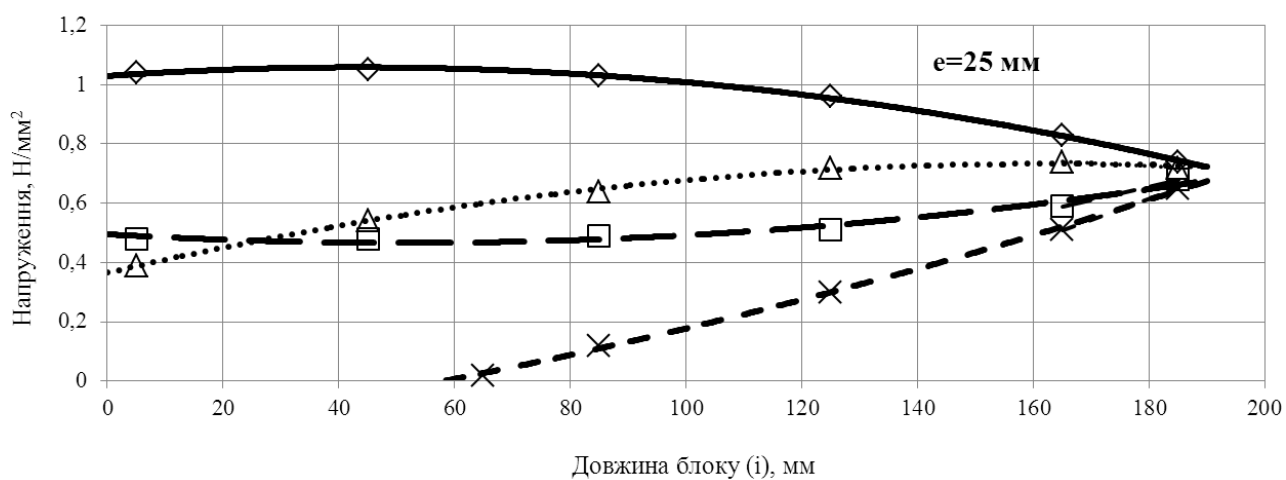
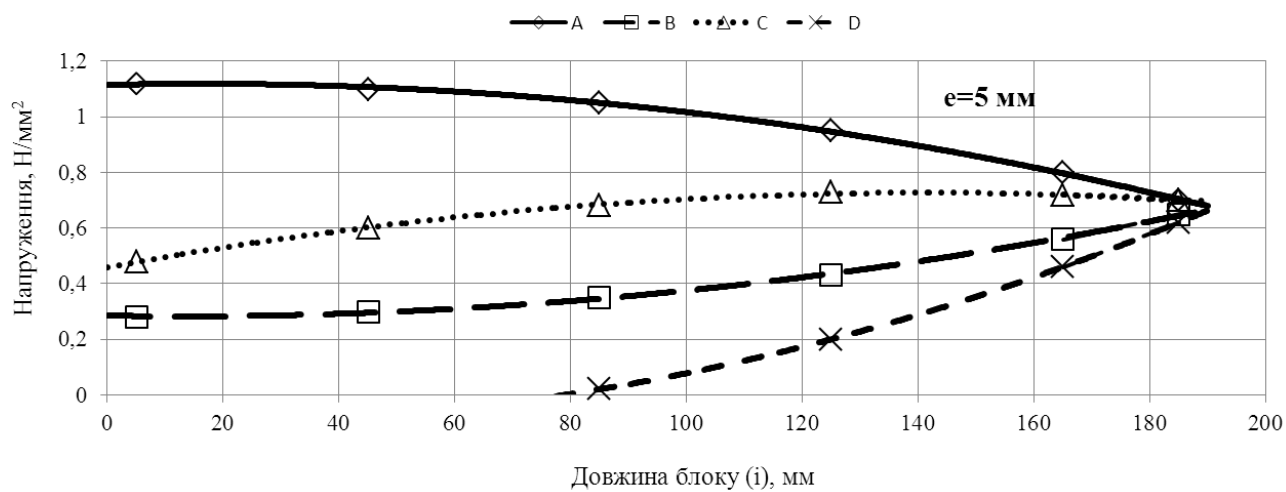


Рисунок 6 - Схематичне зображення блоку та прикладеного навантаження



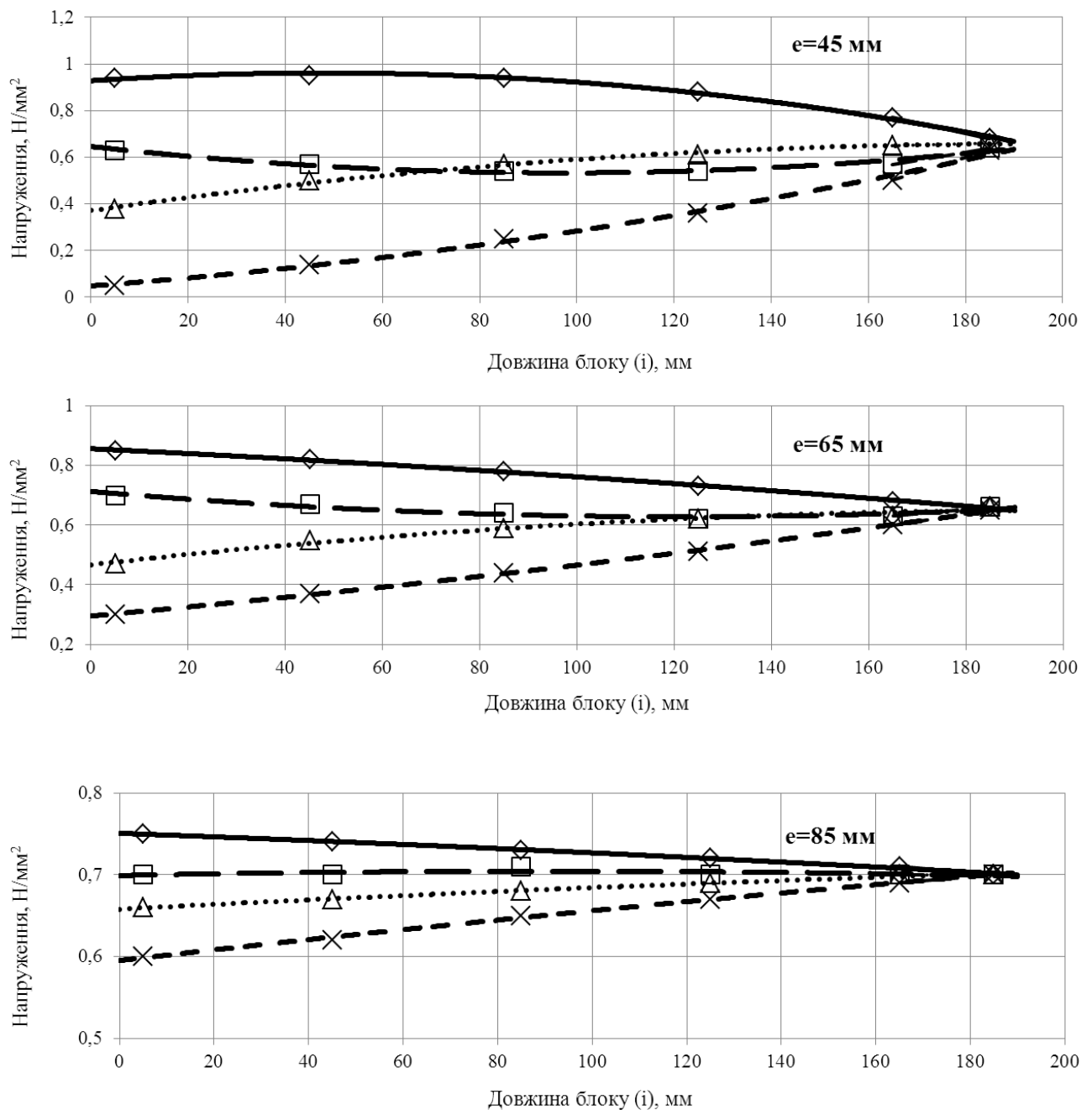


Рисунок 7 - Значення напружень в підстиляючому піску під чотирма кутами скошеної прямокутної бруківки з розмірами 200x100мм для слідів навантаження, що змінюють свою форму

Висновки

На сьогоднішній день в Україні відсутній метод розрахунку дорожнього одягу з блочними покриттями, що не дає можливості забезпечити необхідної надійності відповідних конструкцій. Тому розробка даного методу є

актуальною задачею. Розглянувши наведені роботи можна зробити наступні висновки:

- метод розрахунку, який запропонував професор Теренецький не перевірений практичними дослідженнями;
- голландський метод містить велику кількість параметрів, які визначені наближено лише для матеріалів, що містяться в Голландії;
- необхідно упевнитися у появі перенапружень під елементами брукування, і уточнити їх значення для різних розмірів і форм блоків, та від дії транспортних засобів, що рухаються з різними швидкостями.

Література

1. Теренецький К.С. Нежесткие дорожные покрытия, как распределяющая среда. Труды Саратовского автомобильно-дорожного института, сборник 9, 1948. – С.13 - 40.
2. Кандауров И. И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. Л.: Стройиздат, 1988. – 28 с.
3. Флорин В. А. Основы механики грунтов. Т. 1. Л.: Госстройиздат, 1959. – 121 с.
4. Теренецький К.С. Материали Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции по прочности дорожных одежд. Харьков, 1968. – С. 34 - 39.
5. Гамеляк І.П., Карафізі Л.М. Проблеми і перспективи влаштування покриттів із блоків мощення. - Автомоб. дороги і дорожнє будівництво. - К.: НТУ, Випуск 80, Науково – технічний збірник, 2011. – С. 59 – 70.
6. Huurman, M. Houben, L.J.M., Geense, C.W.A. and J.J.M. van der Vring. The upgraded dutch design method for concrete block road pavements. The 7th International Conference on Concrete Block Paving, Sun City, South Africa. Pave 2003. – 20 p.
7. Halil Murat Algin. Interlock mechanism of concrete block pavements. Journal of transportation engineering © ASCE/May 2007. – PP. 318 - 326.

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

РАНЖУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСНОГО МЕТОДУ

Анотація. Запропоновано метод визначення комплексної оцінки екологічної безпеки структурних елементів вулично-дорожньої мережі, за допомогою якого можна класифікувати однорідні ділянки за ступенем екологічної небезпечності. В якості критеріїв, за якими проводилася класифікація були прийняті територіальні індекси, які характеризують співвідношення геометричних параметрів у просторі.

Ключові слова: екологічної безпеки, індексний метод кластерів.

Аннотация. Предложен метод определения комплексной оценки экологической безопасности структурных элементов улично-дорожной сети, с помощью которого можно классифицировать однородные участки по степени экологической опасности. В качестве критериев, по которым проводилась классификация были приняты территориальные индексы, которые характеризуют соотношение геометрических параметров в пространстве.

Ключевые слова: экологической безопасности, индексный метод кластеров.

Annotation. The method for determining the integrated assessment of ecological safety of the structural elements of the road network, with which you can classify homogeneous areas according to the degree of environmental hazard. The criteria on which the classification was carried out were adopted territorial indices that characterize the ratio of geometric parameters in space.

Key words: ecological security index method clusters.

Вступ

Вулично-дорожня мережа (ВДМ) міста – це система транспортних і пішохідних зв'язків між елементами планувальної структури міста та частинами його території, яка об'єднує місто в цілісний функціонально-планувальний комплекс[1]. Така система складається з мережі під'їздів до будинків, проїздів й житлових вулиць, що мають місцеве значення, та системи магістральних вулиць і доріг, що зв'язують житлові райони зі спеціалізованими центрами обслуговування.

Основні параметри ВДМ мегаполісу, на сьогоднішній день, не відповідають оптимальному функціонування автотранспортних потоків, що її наповнюють, і тому, експлуатація транспортної системи відбувається в умовах значних навантажень. Зокрема, це стосується екологічних вимог, без врахування яких функціонування ВДМ транспортної системи призводить до негативних наслідків для навколишнього середовища [1]. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають розробки різних адекватних методів екологічних оцінки об'єктів автотранспортного комплексу та елементів ВДМ. В основу одного з таких методів, наприклад, може бути покладений апріорний факт, що існує кореляція між рівнем потенціального забруднення повітряного басейна міста, з одного боку, та сукупністю просторових показників та показників, які характеризують проїзну частину однорідних ділянок ВДМ, з іншого. Тому, класифікація структурних елементів ВДМ, за цими показниками є важливою процедурою, оскільки дозволить встановити ступінь екологічної безпеки окремої ділянки мережі.

Основна частина

ВДМ – детермінована система структурних елементів міста, яка розраховується на довготривалий період експлуатації без суттєвих структурних змін. Вулиці та дороги утворюють мережу наземних шляхів сполучення. Класифікація ВДМ здійснюється за основним призначенням вулиць та доріг (табл. 1) [2]. Призначення вулиць та доріг встановлюють, з огляду на величину й планувальну структуру міста, його зв'язок із приміською зоною, основні види транспорту, інтенсивності й швидкості руху транспортних засобів, пішохідного руху, характеру вуличної забудови, вимоги охорони навколишнього середовища.

Таблиця 1 – Класифікація та параметри ВДМ міст

Група поселень	Категорія вулиць і доріг	Розрахункові швидкості руху, км/год.	Ширина муги руху, м	Кількість смуг проїзної частини	Макс. поздовж. ухил, ‰	Мін. радіуси кривих у плані, м	Ширинатротуару, м
Магістральні вулиці й дороги:							
Мегаліси	загальноміського значення (безперервний рух)	100	3,75	6-8	40	500	4,5
	загальноміського значення (регульований рух)	80	3,75	4-6	50	400	3,0
	районного значення	70	3,75	4-6	60	250	2,25
Великі міста	загальноміського значення	80	3,75	4-6	60	400	3,0
	районного значення	60	3,75	2-4	60	250	2,25
Середні, малі міста	Магістральні вулиці /дороги/	60	3,75	2-4	60	250	2,25
Вулиці й дороги місцевого значення							
Усі групи поселень	житлові вулиці	40	3,75	2	70	125	1,5
	дороги в промислових і комунально-складських зонах	40	3,75	2	60	250	1,5
	проїзди	30	3,5	1-2	80	30	0,75
	пішохідні вулиці і дороги	4	0,75	2-6	60	-	-
	велосипедні і доріжки	30	1,50	1-2	40	50	-

Кожна із ділянок ВДМ має низку індивідуальних характерних особливостей (характер та інтенсивність руху автотранспорту, геометричні характеристики вуличного каньйону, величина ухилу можливих підйомів та спусків, географічна прив'язка на місцевості тощо), що впливають на ступінь її екологічної безпеки. Екологічна оцінка однорідних ділянок ВДМ базується на врахуванні статичних та динамічних показників (індексів)[3]. Тут статичний індекс – це відносна характеристика зміни рівня будь-якої величини, явища чи процесу в просторі. Відповідні відносні характеристики будь-якої величини, що змінюються у часі, визначають динамічні індекси. При цьому зіставляються між собою числові значення однойменних показників, що мають однаковий фізичний зміст.

Обчислення загальних індексів (індексний метод), які надають можливість співвіднести між собою показники за складними сукупностями, являє собою особливий прийом дослідження. За його допомогою можна вивчати вплив окремих факторів на динаміку складного показника. При цьому фактори можна вивчати як ізольовано, абстрагуючись від дії інших параметрів, так і розглядати їх взаємопов'язано. Для побудови статистичного індексу необхідно мати вихідну інформацію про індексовану величину та пов'язану з нею величину, що використовують як постійну, - еліміновану величину (вагу). При вивченні окремих економічних районів міста використовують метод порівняння показників у розрізі окремих статистичних масивів. При побудові загальних територіальних індексів виникає питання вибору бази порівняння і району (об'єкта), на рівні якого слід зафіксувати вагу індексу. У кожному конкретному випадку його вирішують, виходячи з мети самого дослідження.

В даній роботі розглядається вплив саме статичних показників, які є початковою та обов'язковою складовою містобудівного проектування. В якості об'єкта дослідження обрана ВДМ Печерського району м. Києва. Побудована карта-схема району, яка дозволила всю множину вулиць даної мережі розбити на елементарні однорідні ділянки, з наступною ідентифікацією окремих елементів сформованих контурів. За елементарну однорідну ділянку було прийнято ділянку вулиці між найближчими перехрестями. Множина даної мережі, після відповідного розбиття на елементарні однорідні ділянки, склала 377 структурних елементів. Для проведення класифікаційного аналізу, були побудовані узагальнюючі індекси, які характеризують співвідношення в просторі деяких параметрів мережі, а саме: $i_1 = l/L$ – відношення середньої

довжини забудов до протяжності елементарної ділянки; $i_2 = h/H$ – відношення середньозваженої висоти забудов до максимальної висоти забудов; $i_3 = d/D$ – відношення ширини проїзної частини до середньої ширини елементарної ділянки. Тоді сукупність структурних елементів ВДМ можна представити як фазовий простір, при цьому величина елементарного фазового об'єму f_{vnk} , що є атрибутом кожної однорідної ділянки, знаходиться за формулою:

$$f_{vnk} = i_{n1} \cdot i_{n2} \cdot i_{n3} , \quad (1)$$

де i_{nk} – індекси відповідних однорідних ділянок; n – номер однорідної ділянки; k – факторна ознака.

Метод лінійної множинної регресії, застосований до всієї статистичної сукупності факторних ознак однорідних ділянок ВДМ (Табл.2), дозволив побудувати математичну регресійну модель фазового простору однорідної ділянки (2). Згідно t - критерію в модель не потрапила лише одна факторна ознака - максимальна висота забудови, значущий рівень якої не задовольняє вимозі $p < 0,05$. Близькі значення приведених коефіцієнтів регресії b вказують на рівну вагомість чинників, при цьому необхідно відмітити, що при зростанні їх значень, окрім протяжності однорідної ділянки L та її ширини D , елементарний фазовий простір зростає.

Рівняння лінійної множинної регресії для фазового простору однорідної елементарної ділянки ВДМ:

$$f_v = (36,65 + 1,74 l - 0,86 L + 21,94 d - 4,92 D + 9,26 h) 10^{-4} \quad (2)$$

Відповідно, класифікація кластерів, з яких складається ВДМ в цілому, може бути здійснена за допомогою визначення модуля (довжини) відповідного k - вимірного вектора у фазовому просторі (Рис.1) за формулою:

$$R_j = \sqrt{i_{j1}^2 + i_{j2}^2 + i_{j3}^2}; \quad . \quad (3)$$

При цьому початок вектора пов'язаний з «ідеальною» точкою фазового простору, координати якої відповідають нульовим значенням факторних ознак.

Таблиця 2 – Результати регресії для залежної змінної фазовий простір (fv): коефіцієнт кореляції $R=0,88785988$; коефіцієнт детермінації $R^2=0,78829516$; критерій Фішера $F(6,370)=229,62$; значущий рівень $p<0,0000$; стандартна похибка розрахунків 0,01016

$N=377$	b	Ст.пох. для b	B	Ст.пох. для B	$t(370)$	p -рівень
Вільн.член			0,003655	0,001356	2,6943	0,007375
l	0,599935	0,042216	0,000174	0,000012	14,2112	0,000000
L	- 0,491728	0,040447	- 0,000086	0,000007	- 12,1574	0,000000
d	0,631804	0,030684	0,002194	0,000107	20,5906	0,000000
D	- 0,464742	0,031016	- 0,000492	0,000033	- 14,9838	0,000000
h	0,427869	0,032079	0,000926	0,000069	13,3381	0,000000
H	0,047496	0,032789	0,000058	0,000040	1,4486	0,148306

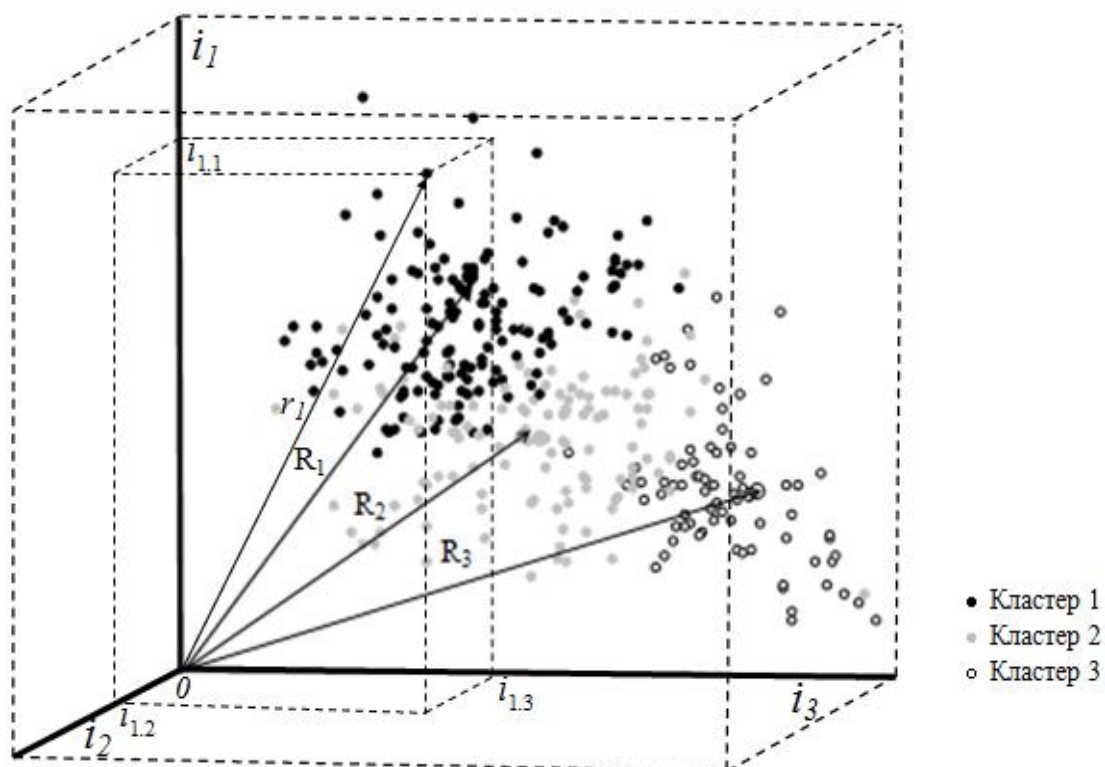


Рисунок 1 – Фазовий простір ВДМ (R_j – k -вимірний вектор j -го кластеру ВДМ у фазовому просторі; i_{jk} – індекси кластеру; r_{nk} – k -вимірний вектор n -ої однорідної ділянки ВДМ; i_{nk} – індекси ділянки)

Задача індексної класифікації ВДМ Печерського району, була вирішена за допомогою кластерного аналізу (метод k-середніх) [4]. Тут багатовимірною сукупністю вхідних даних згрупувалася у однорідні групи, при цьому об'єкти всередині групи подібні між собою згідно висунутих ознак на основі введення певної міри сумарної близькості за всіма ознаками класифікації. 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. Таким чином ВДМ Печерського району була приведена до трьох основних кластерів з відповідними центрами тяжіння. Перший кластер наповнили 45% однорідних ділянок від загального масиву, який якісно характеризується найбільшими індексами з трьох визначених кластерів. Другий кластер, з помірними показниками, склав 34%, тоді як до третього кластеру, з якісно найбільшими індексами увійшло лише 21% ділянок. Встановлено розподіл однорідних ділянок виявлених кластерів ВДМ Печерського району за індексним методом (Рис.2).

Рисунок 2 – Розподіл виявлених за індексним методом кластерів ВДМ Печерського району (фрагмент)

Ранжирування виявлених кластерів за формулою (2) призвело до наступних результатів: для першого кластеру R склало 1,46, а для другого і третього кластерів 0,81 та 0,49 відповідно.

Висновки

Таким чином, запропонований метод комплексної оцінки структурних елементів ВДМ, дозволяє провести ранжирування елементарних однорідних ділянок та кластерів мережі і може слугувати зручним інструментом для оцінок відповідних альтернативних варіантів при розробці генеральних планів розвитку міста. Такий підхід, на наш погляд, також може знайти своє застосування і при проведенні комплексних оцінок екологічної безпеки ВДМ, що є предметом наступних досліджень.

Література

1. Любарський Р.Є. Проектування міських транспортних систем. – К.: будівельник, 1984. - 93 с.
2. ДБН 360-92* «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» -К.:Укрархбудінформ, 1993. – 107 с.
3. Тарасова В.В. Екологічна статистика. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.
4. 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.

Корольков Р.О., канд. техн. наук, Шилін І.В., канд. техн. наук

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ УКОСІВ АРМОВАНИХ ГЕОСИНТЕТИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Актуальність. Підходи до штучних споруд на автомобільних дорогах (мости, шляхопроводи, транспортні розв'язки) представляють собою високі насипи. Будівництво цих споруд все частіше відбувається в стиснених умовах (сільхозгосподарські землі, міська забудова тощо), тому забезпечення стійкості високих армованих насипів з закладанням укосів від 1:0,577 до 1:0,364 є актуальною проблемою.

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

Як свідчить практика, існують випадки руйнування армоґрунтових конструкцій. Це пов'язано з недостатнім вивченням процесів взаємодії ґрунту насипу та армуючого прошарку, а також неможливість в методиці розрахунку армування врахувати всі фактори, що впливають на довговічність конструкції при експлуатації автомобільної дороги. Одним зі шляхів підвищення достовірності вибраної методики конструювання армованих насипів є моделювання та перевірка стійкості конструкції в програмному модулі SCAD.

В якості прикладу розглянемо розрахунок армування насипу [1] при наступних вихідних даних:

Висота насипу – 5 м;

Закладання укосу – 1:0,5;

Кут внутрішнього тертя ґрунту насипу – 35° ;
 Питоме зчеплення ґрунту насипу – 10 кН/м^2 ;
 Питома вага ґрунту насипу – 20 кН/м^3 ;
 Інтенсивність зовнішнього навантаження – 0 кН/м^2 ;
 Ширина насипу по верху – $14,5 \text{ м}$;
 Частковий коефіцієнт запасу на навантаження – $1,0$;
 Частковий коефіцієнт довговічності – $1,1$;
 Частковий коефіцієнт на пошкодження при вкладанні для піску – $1,2$;
 Частковий коефіцієнт запасу – $1,1$;
 Частковий коефіцієнт на повзучість матеріалу армування – $5,0$.

Розрахунок

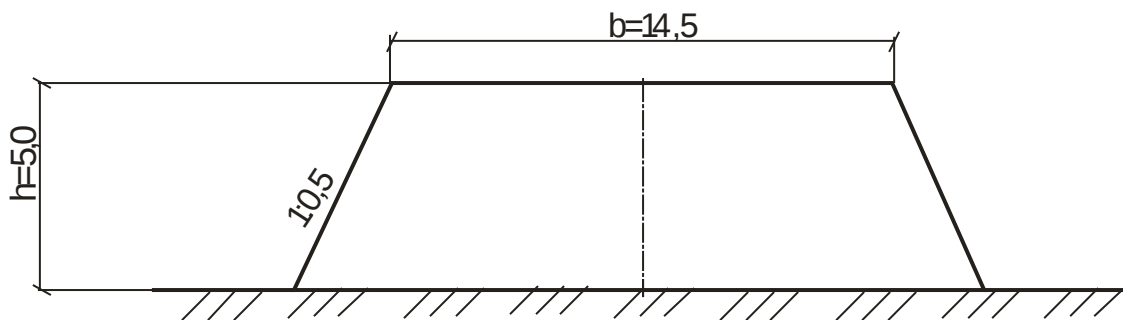


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення необхідного армування

1. Розраховуємо нахил поверхні ковзання армованого насипу:

$$\operatorname{ctg} \theta_1 = -\frac{2 f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \phi - \operatorname{ctg} \phi \cdot \operatorname{ctg} \delta}{2} + \sqrt{\frac{(2 f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \phi - \operatorname{ctg} \phi \cdot \operatorname{ctg} \delta)^2}{4} + f_{ds} (1 + \operatorname{ctg} \delta)}. \quad (1)$$

$$\operatorname{ctg} \theta_1 = -\frac{2 \cdot 0,7 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ - \operatorname{ctg} 35^\circ \cdot \operatorname{ctg} 63,4^\circ}{2} + \sqrt{\frac{(2 \cdot 0,7 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ - \operatorname{ctg} 35^\circ \cdot \operatorname{ctg} 63,4^\circ)^2}{4} + 0,7 (1 + \operatorname{ctg} 63,4^\circ)} = 0,9002$$

2. Визначаємо критичний кут ковзання армованого укусу насипу θ_{max} :

$$\theta_{max} = \text{arcctg} \theta_1. \quad (2)$$

$$\theta_{max} = \text{arcctg} 0,9002 = 48,01^\circ.$$

3. Загальне армуюче зусилля T_a , яке необхідне для забезпечення заданої внутрішньої стійкості укусу, визначаємо за формулою:

$$T_a = \frac{\gamma \cdot H^2 \cos \theta_{max} \cdot \sin \theta_{max} (1 - \text{ctg} \delta \cdot \text{tg} \theta_{max} - \text{tg} \phi \cdot \text{ctg} \theta_{max} + \text{tg} \phi \cdot \text{ctg} \delta)}{2 \cdot \sin \theta_{max} (\cos \theta_{max} + f_{ds} \cdot \text{tg} \phi \cdot \sin \theta_{max})}. \quad (3)$$

$$T_a = \frac{20 \cdot 5^2 \cos 48,01^\circ \cdot \sin 48,01^\circ (1 - \text{ctg} 63,43^\circ \cdot \text{tg} 48,01^\circ - \text{tg} 35^\circ \cdot \text{ctg} 48,01^\circ + \text{tg} 35^\circ \cdot \text{ctg} 63,43^\circ)}{2 \cdot \sin 48,01^\circ (\cos 48,01^\circ + 0,7 \cdot \text{tg} 35^\circ \cdot \sin 48,01^\circ)} =$$

$$= 26,096 \text{ кН}$$

До розрахунку приймаємо розрахункове значення армуючого зусилля з врахуванням значення мінімально допустимого коефіцієнта стійкості армованого укусу $[K_R]$ і коефіцієнта надійності на метод розрахунку (k_{nd}):

$$T_{a \text{ роз}} = [K_R] k_{nd} T_a, \quad (4)$$

де $[K_R]$ – мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укусу згідно з [2] (для доріг I і II категорій – 1,5; III і IV – 1,3);

k_{nd} – коефіцієнт надійності на метод розрахунку $k_{nd} = 1,5$.

$$T_{a \text{ роз}} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 26,096 = 58,717 \text{ кН}$$

4. Розраховуємо необхідну кількість армуючих геосинтетичних прошарків:

$$N_{\text{арм}} = \frac{T_{a \text{ роз}}}{T_D} . \quad (5)$$

$$N_{\text{арм}} = \frac{58,717}{7,58} = 7,746 \approx 8 .$$

5. Визначаємо глибину вертикальної тріщини відриву:

$$h_{90} = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) . \quad (6)$$

$$h_{90} = \frac{2 \cdot 10}{20} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{35^\circ}{2} \right) = 1,92 \text{ м.}$$

6. Розраховуємо відстань між армуючими прошарками:

$$d_a = \frac{H - 0,5 \cdot h_{90}}{N_{\text{арм}}} . \quad (7)$$

$$d_a = \frac{5 - 0,5 \cdot 1,92}{8} = 0,505 \text{ м.}$$

Перший прошарок від поверхні насипу розміщують на глибині $0,5h_{90}$ (0,96 м), а перший від основи насипу – на відстані $d_a = 0,5$ м, далі прошарки розподіляють рівномірно по висоті насипу та визначають глибину їх закладання (z_i) від поверхні насипу.

7. Розподіляють прошарки рівномірно по висоті насипу та визначають глибину їх закладання (z_i) від поверхні насипу.

$$z_1=0,96 \text{ м; } z_2=1,47 \text{ м; } z_3=1,98 \text{ м; } z_4=2,49 \text{ м; } z_5=3 \text{ м; } z_6=3,5 \text{ м; } z_7=4 \text{ м; } z_8=4,5 \text{ м.}$$

8. Знаходимо кут біля вершини насипу β :

$$\beta = 90 - \delta . \quad (8)$$

$$\beta = 90 - 63,4 = 26,6^\circ .$$

9. Розраховуємо вертикальне напруження σ_{zi} з врахуванням технології спорудження насипу та стадійного укладання армуючих геосинтетичних прошарків:

$$\sigma_{zi}^* = \frac{\rho g}{\operatorname{ctg} \beta + \beta + \frac{\pi}{2}} \left\{ -z_i \cdot \left[\beta \cdot (1 + 2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta) + \cos^2 \beta \operatorname{ctg} \beta + \frac{\pi}{2} \sin^2 \beta \right] + \right. \\ \left. + 2 \cos^4 \beta (z_i \cdot \operatorname{tg} \beta) \ln(\operatorname{tg} \beta) - 2 \sin \beta \cos^3 \beta (z_i \cdot \operatorname{tg} \beta) \times \arctg(\operatorname{ctg} \beta) \right\}; \quad (9)$$

$\sigma_{z1} = -15,51878$ МПа; $\sigma_{z2} = -23,76313$ МПа; $\sigma_{z3} = -32,00748$ МПа; $\sigma_{z4} = -40,25183$ МПа; $\sigma_{z5} = -48,49618$ МПа; $\sigma_{z6} = -56,57887$ МПа; $\sigma_{z7} = -64,66157$ МПа; $\sigma_{z8} = -72,74427$ МПа.

10. Розраховуємо довжину анкерування армуючого прошарку у стійку частину насипу:

$$L_{\text{анк}} \geq 1 + \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot f_{ds-\phi} \cdot \sigma_z^* \cdot \operatorname{tg} \phi}, \quad (10)$$

$L_{\text{анк}1} = 1,747392$ м; $L_{\text{анк}2} = 1,488092$ м; $L_{\text{анк}3} = 1,362372$ м; $L_{\text{анк}4} = 1,288151$ м; $L_{\text{анк}5} = 1,239165$ м; $L_{\text{анк}6} = 1,204999$ м; $L_{\text{анк}7} = 1,179374$ м; $L_{\text{анк}8} = 1,159444$ м.

11. Розраховуємо довжину геосинтетичного прошарку у призмі обвалення:

$$L_{\text{пр.обв}} = X_{\theta} - X_{\delta}, \quad (11)$$

де X_{θ} – горизонтальна проекція лінії ковзання на рівні закладення

армуючого прошарку;

X_δ – горизонтальна проекція лінії укосу на рівні закладення армуючого прошарку.

$$X_\theta = \frac{h_{ai}}{\operatorname{tg} \theta}, \quad (12)$$

де h_{ai} – висота закладення армуючого прошарку.

$$X_\delta = \frac{h_{ai}}{\operatorname{tg} \delta}. \quad (13)$$

$L_{\text{пр.обв.1}}=1,61679201$ м; $L_{\text{пр.обв.2}}=1,41269203$ м; $L_{\text{пр.обв.3}}=1,20859205$ м;
 $L_{\text{пр.обв.4}}=1,00449207$ м; $L_{\text{пр.обв.5}}=0,80039209$ м; $L_{\text{пр.обв.6}}=0,60029406$ м;
 $L_{\text{пр.обв.7}}=0,40019604$ м; $L_{\text{пр.обв.8}}=0,20009802$ м

12.Розраховуємо загальну довжину армування для кожного геосинтетичного прошарку:

$$L_{\text{арм}} = L_{\text{анк}} + L_{\text{пр.обв}} + L_{\text{об}}, \quad (14)$$

де $L_{\text{анк}}$ – довжина анкерування геосинтетичного прошарку;

$L_{\text{пр.обв}}$ – довжина геосинтетичного прошарку у призмі обвалення на рівні його закладання;

$L_{\text{об}}$ – довжина геосинтетичного прошарку, яка передбачається на влаштування обойми (коли за проектом не передбачено влаштування обойм, то $L_{\text{об}} = 0$).

$L_{\text{заг.1}}= 3,36$ м; $L_{\text{заг.2}}= 2,90$ м; $L_{\text{заг.3}}= 2,57$ м; $L_{\text{заг.4}}= 2,29$ м; $L_{\text{заг.5}}= 2,04$ м; $L_{\text{заг.6}}= 1,81$ м; $L_{\text{заг.7}}= 1,58$ м; $L_{\text{заг.8}}= 1,36$ м.

13.Перевіряємо необхідну кількість армуючих прошарків за умови виключення проковзування ґрунту над (під) або між армуючими елементами в активній зоні насипу:

$$T_{зсув} > k'_{акт} d_a \sigma_z^*, \quad (15)$$

де $T_{зсув}$ – сила опору армуючих прошарків із умови проковзування ґрунту над або між ними;

$k'_{акт}$ – коефіцієнт активного бокового тиску для насипу з кутом закладання укосу δ ;

σ_z^* – тут нормальне напруження на рівні армування.

$$T_{зсув} = L_{пр.обв} \cdot B_{пр.обв} \cdot \tau_{зсув}, \quad (16)$$

де $B_{пр.обв}$ – ширина геосинтетичного прошарку у призмі обвалення;

$\tau_{зсув}$ – опір зсуваючим зусиллям.

$$\tau_{зсув} = \sigma_z^* f_{ds} \operatorname{tg} \phi. \quad (17)$$

$$k'_{акт} = \frac{[\operatorname{tg}(90 - \theta) - \operatorname{tg}(90 - \delta)] \cdot \sin(\theta - \phi)}{\sin(\delta - \theta + \phi)}. \quad (18)$$

$$k'_{\text{акт}} = \frac{[tg(90 - 48,01) - tg(90 - 63,34)] \cdot \sin(48,01 - 35)}{\sin(63,34 - 48,01 + 35)} = 0,1168.$$

$T_{\text{зсув1}}=12,29806$ МПа; $T_{\text{зсув2}}=16,45417$ МПа; $T_{\text{зсув3}}=18,96077$ МПа; $T_{\text{зсув4}}=19,81787$ МПа; $T_{\text{зсув5}}=19,02546$ МПа;

$T_{\text{зсув6}}=16,64728$ МПа; $T_{\text{зсув7}}=12,68364$ МПа; $T_{\text{зсув8}}=7,134547$ МПа.

$\tau_{\text{зсув1}}=0,91562$ МПа; $\tau_{\text{зсув2}}=1,402042$ МПа; $\tau_{\text{зсув3}}=1,888465$ МПа; $\tau_{\text{зсув4}}=2,374888$ МПа; $\tau_{\text{зсув5}}=2,861311$ МПа; $\tau_{\text{зсув6}}=3,338196$ МПа; $\tau_{\text{зсув7}}=3,815081$ МПа;

$\tau_{\text{зсув8}}=4,291967$ МПа.

Так як $T_{\text{зсув}} > \tau_{\text{зсув}}$ для всіх обріїв армування, робимо висновок, що кількість армуючих прошарків достатня за умови виключення проковзування ґрунту над (під) або між армуючими елементами в активній зоні насипу.

Для перевірки відповідності розрахункової схеми та армування, використовуємо програму SCAD. За допомогою якої перевіримо стійкість системи армований насип – основа по деформаціям та напруженням.

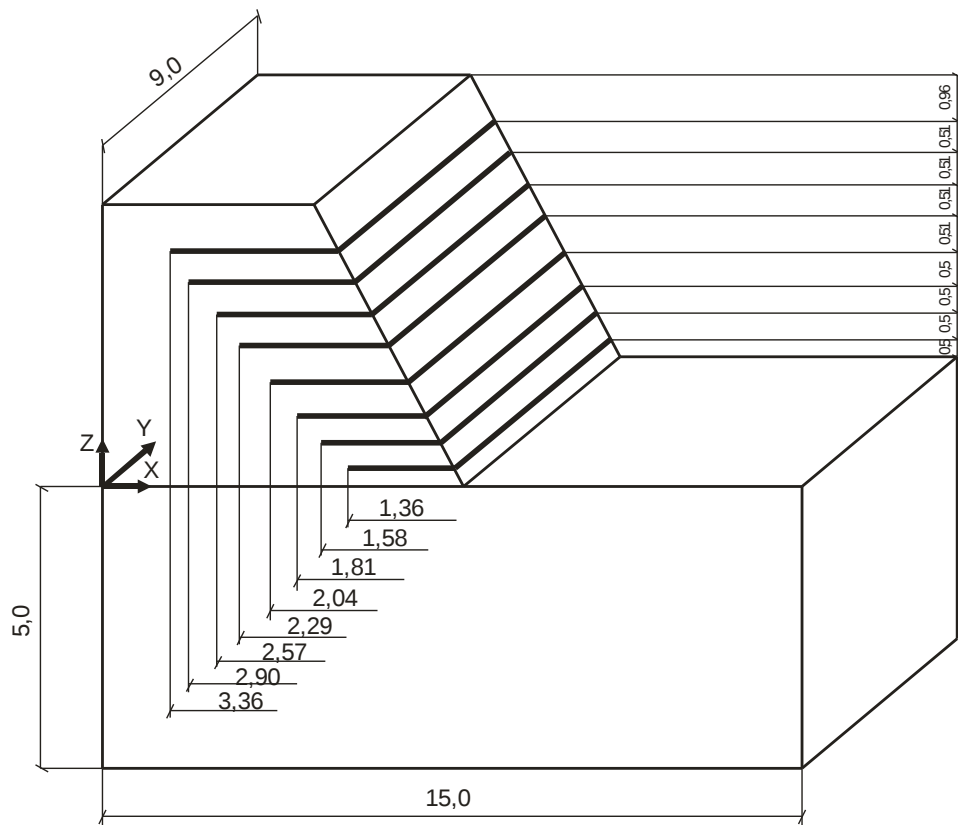


Рисунок 2 – Розрахункова схема системи «армований насип – основа»

Прийняті жорсткості:

1. Основа

Ґрунт – супісок не пилюватий: модуль пружності $E = 180 \text{ МПа}$ ($18348,62 \text{ т/м}^2$), коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$, питома вага $\gamma = 1,7 \text{ т/м}^3$.

2. Насип

Ґрунт – супісок пилювата: модуль пружності $E = 42 \text{ МПа}$ ($4281,35 \text{ т/м}^2$), коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,33$, питома вага $\gamma = 2,0 \text{ т/м}^3$.

3. Геотекстиль

Polyfelt TS50: модуль пружності $E = 27,5 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ ($2803261,97757 \text{ т/м}^2$), коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,33$, питома вага $\gamma = 0,1 \text{ т/м}^3$, товщина $0,002 \text{ м}$.

Прийняті зв'язки (граничні умови)

Основа: відповідним площинам накладені зв'язки по X та по Y . Площина основи – по всім напрямкам.

Насип: відповідним площинам по X та по Y (окрім укосу насипу).

Геотекстиль: відповідним площинам по Y . По X – накладені тільки по грані усередині насипу.

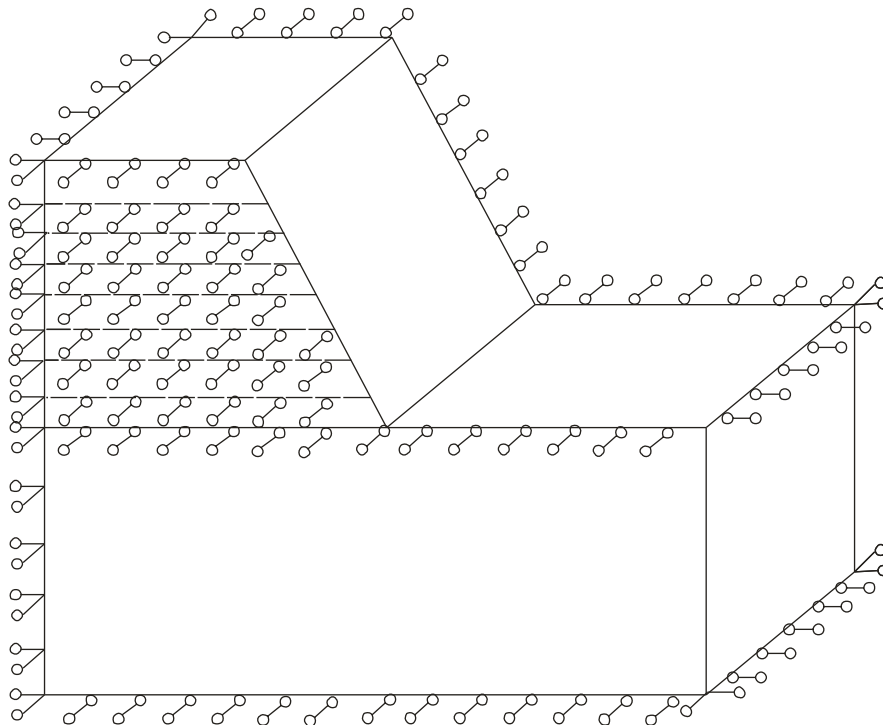


Рисунок 3 – Прийняті зв'язки

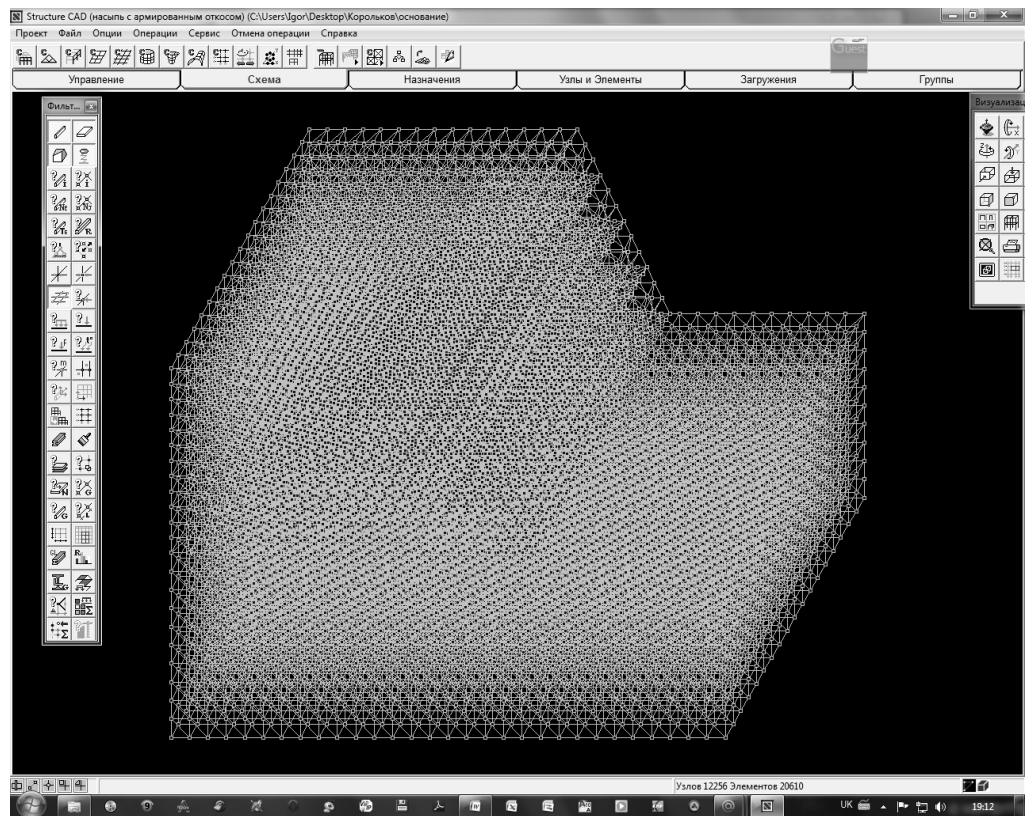


Рисунок 4 – Розрахункова просторова схема

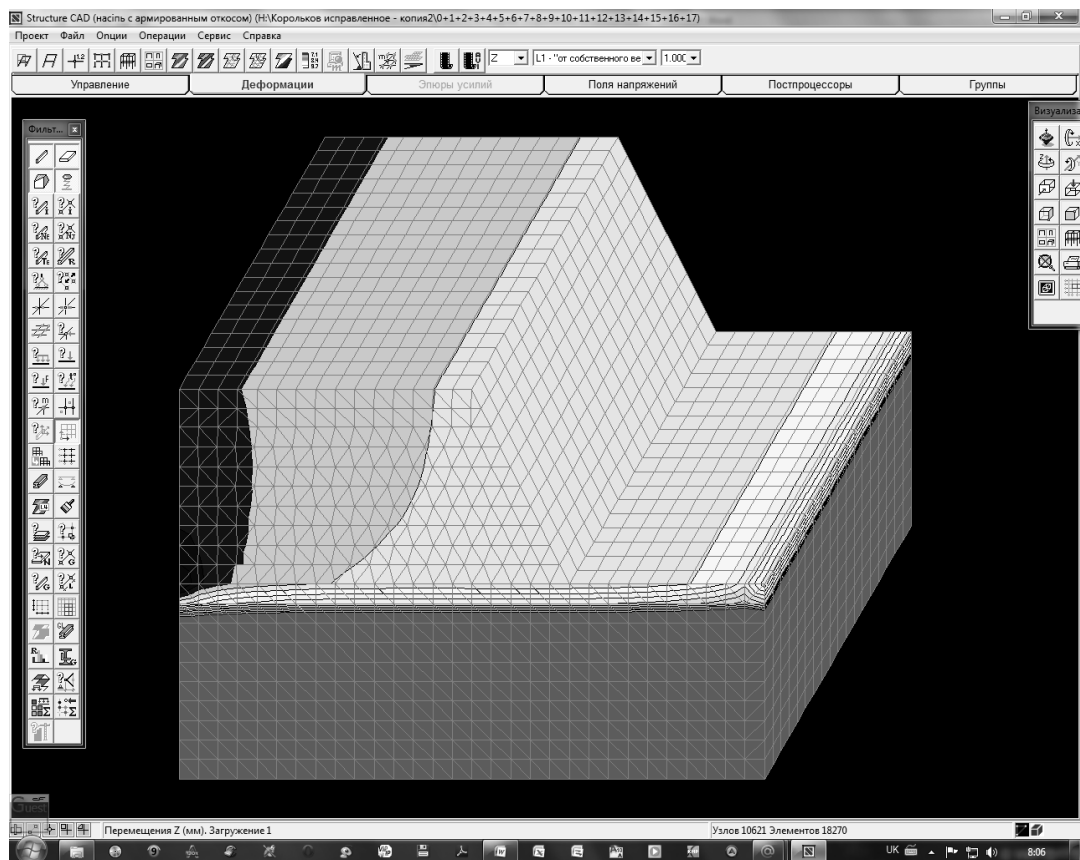


Рисунок 5 – Деформації по осі Z

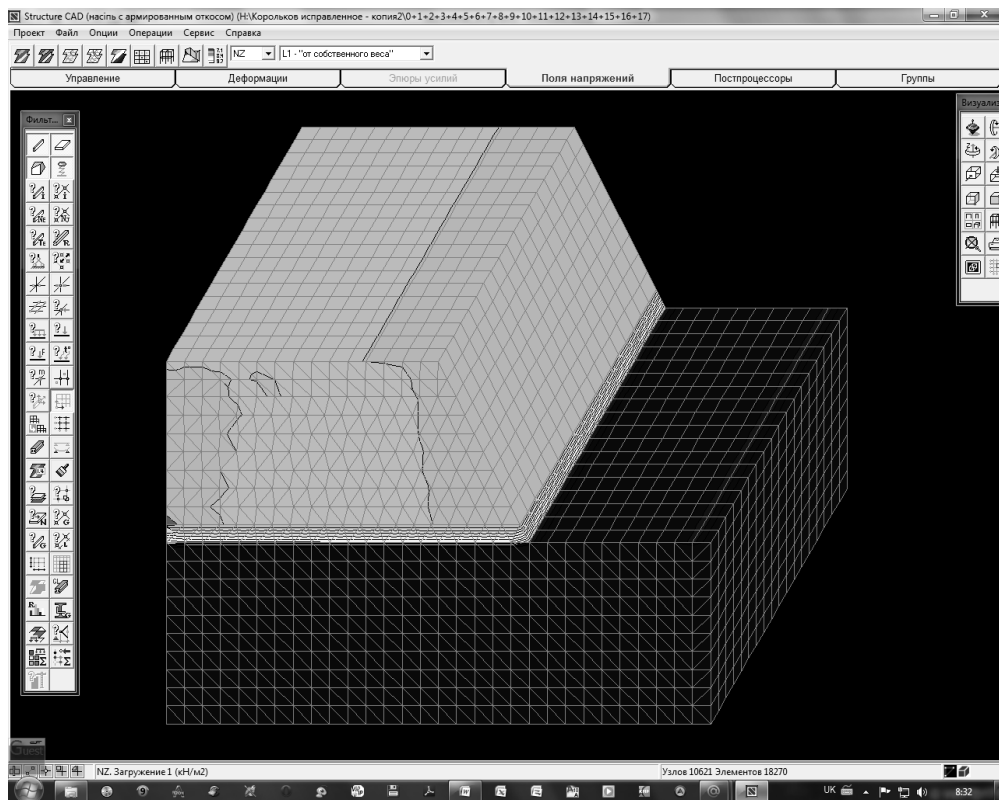


Рисунок 6 – Поля напряжень по NZ

Наведені епюри свідчать про те, що стійкість насипу забезпечена, деформації що виникають, не ведуть до руйнування насипу.

Висновок

Отримані результати свідчать про те, що запропонована методика дозволяє обґрунтувати інженерні рішення з армування укосів насипів автомобільних доріг. За допомогою числового моделювання із застосуванням метода скінченних елементів підтверджено достовірність розробленої методики.

Література

1. Корольков Р.О. Методика розрахунку необхідного армування для стабілізації укосів насипів з урахуванням зміни напруженого стану при їх спорудженні / Р.О. Корольков // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2010. – Вип. 78. – С. 23–30.
2. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008. – К.: Укравтодор, 2008. – 126 с.

Кузлю М.Т., канд. техн. наук

ДЕФОРМАЦІЇ БАГАТОШАРОВОГО ГРУНТОВОГО МАСИВУ ПРИ НАЯВНОСТІ МАСОПЕРЕНОСУ СОЛЬОВИХ РОЗЧИНІВ ТА ДІЇ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПОТОКУ

Анотація. Отримані розв'язки напружено-деформованого стану багат шарового ґрунтового масиву при наявності масопереносу сольових розчинів та дії фільтраційного потоку.

Ключові слова: напруження, переміщення, деформації, фільтрація.

Аннотация. Получены решения напряжённо-деформованого состояния многослойного ґрунтового массива при наличии масопереноса солевых растворов та действия фильтрационного потока.

Ключевые слова: напряжения, перемещения, деформации, фильтрация.

Annotation. The solutions of multilayer soil massif's tensely-deformed state under the existence of salt solutions' mass transfer and action of filtration flow were obtained.

Key words: tension, transfer, deformation, filtration.

Надійність ґрунтових насипів та штучних споруд на дорогах в значній мірі залежить від вміння правильно оцінити інженерно-геологічні умови ділянки будівництва. При експлуатації даних об'єктів, їх основи можуть зазнавати впливу різних фізико-хімічних процесів: фільтрації підземних вод, масопереносу розчинених солей фільтраційним потоком тощо.

Тому при проектуванні, будівництві та експлуатації споруд особлива увага приділяється дослідженню напружено-деформованому стану (НДС) природних та штучних ґрунтових основ.

Аналіз останніх досліджень показав, що існує ряд теоретичних рішень з визначення НДС ґрунтових масивів [1,2]. Однак, питання з визначення деформацій багат шарового ґрунтового масиву при наявності масопереносу сольових розчинів та дії фільтраційного потоку недостатньо вивчено.

Метою роботи є визначення деформацій багат шарових ґрунтових масивів при наявності масопереносу сольових розчинів та дії фільтраційного потоку і відповідних їм вертикальних зміщень поверхні землі.

Постановка задачі. Нехай дано масив ґрунту, що складається з n горизонтальних шарів (рис. 1.). У якому, на глибині l_k відбувається масоперенос сольових розчинів та рух фільтраційного потоку.

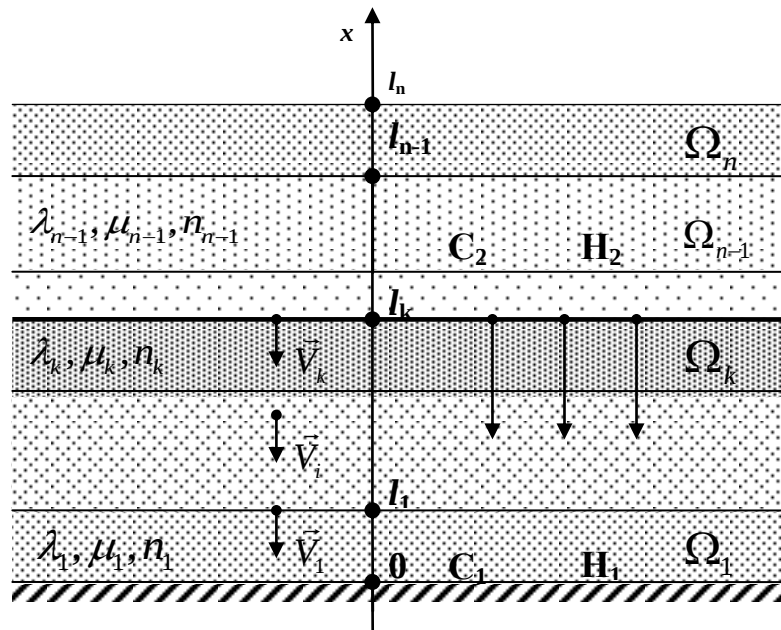


Рисунок 1 – Схема багат шарового ґрунтового масиву при наявності масопереносу сольових розчинів та дії фільтраційного потоку

Кожен з шарів ґрунту характеризується пружними сталими $\lambda_i, \mu_i, i = \overline{1, n}$, пористістю $n_i, i = \overline{1, n}$ та питомою вагою $\gamma_i, i = \overline{1, n}$.

На нижній межі ґрунту $x=0$ задано п'єзометричний напір H_1 та концентрація розчинених у воді солей C_1 , а на глибині l_k відповідно H_2 та C_2 ($H_2 > H_1, C_2 > C_1$). В результаті різниці напорів відбувається перенесення розчинених у воді речовин фільтраційним потоком. При цьому процес фільтрації розчинених у воді речовин підлягає модифікованому закону Дарсі [3].

Математичну модель даної задачі описується рівняннями НДС ґрунтових масивів у переміщеннях, конвективної дифузії розчинених речовин, фільтрації речовин.

Рівняння НДС ґрунтового масиву в переміщеннях записуються у вигляді [4]:

$$(\lambda_i + 2\mu_i) \frac{d^2 u_i}{dx^2} = X_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad x \in \bigcup_{i=1}^n (l_{i-1}, l_i), \quad l_0 = 0; \quad (1)$$

$$X_i = \begin{cases} \gamma_{se,i} + \frac{dp_i}{dx}, & i = \overline{1, k}, \\ \gamma_{np,i}, & i = \overline{k+1, n}, \end{cases} \quad (2)$$

де $\gamma_{se,i}, i = \overline{1, k}$ – питомі ваги ґрунту в i -ому шарі в зваженому стані;

$\gamma_{np,i}, i = \overline{k+1, n}$ – питомі ваги ґрунту в природному стані; $p_i, i = \overline{1, k}$ – фільтраційний тиск, який визначається за формулою

$$p_i = \gamma_p (h_i - x), \quad i = \overline{1, k}. \quad (3)$$

У формулі (3) $h_i, i = \overline{1, k}$ – п'єзометричні напори у відповідних шарах; x – вертикальна координата;

Запишемо рівняння конвективної дифузії у вигляді:

$$D_i \frac{d^2 c_i}{dx^2} - V_i \frac{dc_i}{dx} - \gamma(c_i - C_*) = 0, \quad i = \overline{1, k}, \quad (4)$$

де D_i – коефіцієнт конвективної дифузії; $c_i(x)$ – концентрація розчинених речовин в точці x ; V_i – швидкість фільтрації розчину; γ – коефіцієнт масообміну; C_* – концентрація граничного насичення.

Крайові умови та умови спряження для концентрації мають вигляд:

$$L_1 c_1 = (\alpha_1 c + \beta_1 \frac{dc_1}{dx}) \Big|_{x=0} = C_1, \quad (5)$$

$$c_i(l_i) = c_{i+1}(l_i), \quad i = \overline{1, k-1}, \quad (6)$$

$$D_i \frac{dc_i(l_i)}{dx} = D_{i+1} \frac{dc_{i+1}(l_i)}{dx}, \quad i = \overline{1, k-1}, \quad (7)$$

$$L_2 c_k = (\alpha_2 c + \beta_2 \frac{dc_k}{dx}) \Big|_{x=l_k} = C_2, \quad (8)$$

де $L_1 c_1, L_2 c_k$ – оператори, що задають граничні умови для концентрації на вході та на виході фільтраційного потоку.

Задача фільтрації сольових розчинів записується у вигляді рівнянь:

$$V_i = -k(c(x)) \frac{dh_i}{dx}, \quad \frac{dV_i}{dx} = 0, \quad i = \overline{1, k} \quad (9)$$

$$h_1(0) = H_1, \quad (10)$$

$$h_i(l_i) = h_{i+1}(l_i), \quad i = \overline{1, k-1}, \quad (11)$$

$$k(c(l_i)) \frac{dh_i(l_i)}{dx} = k(c(l_i)) \frac{dh_{i+1}(l_i)}{dx}, \quad i = \overline{1, k-1}, \quad (12)$$

$$h_k(l_k) = H_2. \quad (13)$$

У формулах (9), (12) $k(c(x))$ - коефіцієнт фільтрації, що залежить від концентрації сольових розчинів в ґрунті.

Знайдемо розв'язок задачі фільтрації підземних вод, що описується формулами (9)-(13) при $n=3$. Використовуючи формули (9), маємо

$$\frac{d\left(k(c(x)) \frac{dh_i}{dx}\right)}{dx} = 0, \quad i=1,2 \quad \Rightarrow \quad \frac{dh_i}{dx} = \frac{A_i}{k(c(x))}, \quad i=1,2,$$

$$h_i(x) = A_i \int_{l_{i-1}}^x \frac{ds}{k(c(s))} + B_i, \quad i=1,2 \quad (14)$$

Невідомі коефіцієнти в (14) знаходимо, використовуючи крайові умови (10), (13) та умови спряження (11), (12)

$$B_1 = H_1, \quad (15)$$

$$A_1 = A_2 = A = \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_2} \frac{ds}{k(c(s))}}, \quad (16)$$

$$B_2 = H_2 - \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_2} \frac{ds}{k(c(s))}} \int_{l_1}^{l_2} \frac{ds}{k(c(s))}. \quad (17)$$

Враховуючи (16), отримаємо

$$\frac{dh_i}{dx} = \frac{1}{k(c(x))} \cdot \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_2} \frac{ds}{k(c(s))}}, \quad i=1,2. \quad (18)$$

Визначимо швидкість фільтрації за допомогою формул (9)

$$V_i = -A, \quad i=1,2,$$

$$V_i = V = \frac{H_1 - H_2}{\int_0^{l_2} \frac{ds}{k(c(s))}}, \quad i=1,2. \quad (19)$$

Знайдемо $\frac{dp_i}{dx}$, $i=1,2$ використовуючи формулу (3)

$$\frac{dp_i}{dx} = \gamma_p \cdot \left(\frac{1}{k(c(x))} \cdot \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_2} \frac{ds}{k(c(s))}} - 1 \right), \quad i=1,2, \quad x \in \bigcup_{i=1}^2 (l_{i-1}, l_i), \quad l_0 = 0.$$

Таким чином

$$X_i = \gamma_{36,i} + \gamma_p \cdot \left(\frac{1}{k(c(x))} \cdot \frac{H_2 - H_1}{\int_0^{l_2} \frac{ds}{k(c(s))}} - 1 \right), i = 1, 2. \quad (20)$$

Знайдемо розв'язок задачі масопереносу солей, що описуються формулами (5)-(8) при $\gamma = 0$

$$\frac{d^2 c_i}{dx^2} - \frac{V}{D_i} \frac{dc_i}{dx} = 0, i = 1, 2. \quad (21)$$

Запишемо характеристичне рівняння

$$\lambda_i^2 + \frac{V}{D_i} \lambda_i = 0, i = 1, 2$$

і знайдемо його розв'язки

$$\lambda_i^1 = 0, \lambda_i^2 = -\frac{V}{D_i}, i = 1, 2. \quad (22)$$

Отже, загальний розв'язок рівняння (21) має вигляд

$$c_i(x) = b_{2i-1} e^{\lambda_i^1 x} + b_{2i} e^{\lambda_i^2 x}, i = 1, 2. \quad (23)$$

Підставивши значення (22) в (23), отримаємо

$$c_i(x) = b_{2i-1} + b_{2i} e^{-\frac{V}{D_i} x}, i = 1, 2. \quad (24)$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів $b_{2i-1}, b_{2i}, i = 1, 2$ використовуємо крайові умови (5), (8) та умови спряження (6), (7). У випадку, коли $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ та $\beta_1 = \beta_2 = 0$, отримаємо

$$b_2 = \frac{C_2 - C_1}{e^{\frac{V}{D_1} l_1 + \frac{V}{D_2} (l_2 - l_1)} - 1}, \quad (25)$$

$$b_1 = b_3 = C_1 - b_2, \quad (26)$$

$$b_4 = b_2 e^{\frac{V}{D_1} l_1 - \frac{V}{D_2} l_2}. \quad (27)$$

Побудуємо математичну модель НДС ґрунту у безрозмірних змінних. Для цього розглянемо масив ґрунту, що складається з двох шарів та вільною поверхнею на висоті l_2 . Знайдемо розв'язок задачі при наявності переміщення на поверні землі.

Перейдемо у (1)-(13) до безрозмірних величин згідно формул (рисочки над безрозмірними змінними опустимо):

$$\bar{x} = \frac{x}{l_0}, \quad \bar{l} = \frac{l}{l_0}, \quad \bar{k} = \frac{k}{k}, \quad \bar{u}_i = \frac{u_i}{l_0}, \quad \bar{a}_i = a_i \cdot l_0, \quad i = \overline{1,3},$$

$$\bar{c}_i = \frac{c_i}{C_*}, \quad \bar{D}_i = \frac{D_i}{l_0 k}, \quad \bar{a}'_i = a'_i \cdot l_0, \quad \bar{l}_i = \frac{l_i}{l_0}, \quad \bar{h}_i = \frac{h_i}{l_0}, \quad \bar{p}_i = \frac{p_i}{l_0}, \quad i = \overline{1,2},$$

де $\bar{l} < 1$ для будь-якого $t > 0$.

Враховуємо, що $l(t) \leq l_0$, $l(t) - l_0 = u_3(l(t))$, $l(0) = l_0$.

Математична модель НДС ґрунту запишеться у вигляді:

$$\frac{d^2 u_i}{dx^2} = a_i + a'_i \cdot \frac{1}{k(c(x))}, \quad i = \overline{1,2}, \quad x \in \bigcup_{i=1}^2 (l_{i-1}, l_i), \quad l_0 = 0, \quad (28)$$

$$\frac{d^2 u_3}{dx^2} = a_3, \quad x \in (l_2, l), \quad (29)$$

$$\text{де } a_i = \frac{\gamma_{se,i} - \gamma_p}{\lambda_i + 2\mu_i}, \quad a'_i = \frac{\gamma_p \cdot (H_2 - H_1)}{(\lambda_i + 2\mu_i) \int_0^{l_2} \frac{ds}{k(c(s))}}, \quad i = \overline{1,2}, \quad a_3 = \frac{\gamma_{np}}{\lambda_3 + 2\mu_3}.$$

Розглядуємо випадок, коли крайові умови для переміщень мають вигляд

$$u_i(0) = 0, \quad (30)$$

$$\frac{du_3(l)}{dx} = 0 \quad (31)$$

і означають наявність переміщення верхньої межі ґрунту.

Умови спряження запишуться наступним чином:

$$u_i(l_i) = u_{i+1}(l_i), \quad i = \overline{1,3}, \quad (32)$$

$$(\lambda_i + 2\mu_i) \frac{du_i(l_i)}{dx} = (\lambda_{i+1} + 2\mu_{i+1}) \frac{du_{i+1}(l_i)}{dx}, \quad i = \overline{1,3}. \quad (33)$$

Загальний розв'язок (28), (29) прийме вигляд:

$$u_i(x) = \frac{a_i x^2}{2} + a'_i \int_{l_{i-1}}^x \left(\int_{l_{i-1}}^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + c_{2i-1} x + c_{2i}, \quad i = \overline{1,2}, \quad (34)$$

$$u_3(x) = \frac{a_3 x^2}{2} + c_5 x + c_6, \quad (35)$$

$$\text{де } c_2 = 0, \quad (36)$$

$$c_5 = -a_3 l, \quad (37)$$

$$c_1 = \frac{\lambda_2 + 2\mu_2}{\lambda_1 + 2\mu_1} (a_2 l_1 + c_3) - a_1 l_1 - a'_1 \int_0^{l_1} \frac{dz}{k(c(z))}, \quad (38)$$

$$c_3 = \frac{\lambda_3 + 2\mu_3}{\lambda_2 + 2\mu_2} (a_3 l_2 + c_5) - a_2 l_2 - a'_2 \int_{l_1}^{l_2} \frac{dz}{k(c(z))}, \quad (39)$$

$$c_4 = \frac{a_1 - a_2}{2} l_1^2 + a'_1 \int_0^{l_1} \left(\int_0^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + l_1 (c_1 - c_3), \quad (40)$$

$$c_6 = \frac{a_2 - a_3}{2} l_2^2 + a'_2 \int_{l_1}^{l_2} \left(\int_{l_1}^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz + l_2(c_3 - c_5) + c_4. \quad (41)$$

Величина деформації обчислюється за формулами:

$$\varepsilon_i(x) = a_i x + a'_i \int_{l_{i-1}}^x \frac{dz}{k(c(z))} + c_{2i-1}, \quad i = 1, 2, \quad x \in \bigcup_{i=1}^2 (l_{i-1}, l_i), \quad l_0 = 0, \quad (42)$$

$$\varepsilon_3(x) = a_3 x + c_5, \quad x \in (l_2, 1). \quad (43)$$

Формули з визначення напруження матимуть вигляд:

$$\sigma_i(x) = (\lambda_i + 2\mu_i) \left(a_i x + a'_i \int_{l_{i-1}}^x \frac{dz}{k(c(z))} + c_{2i-1} \right), \quad (44)$$

$$i = 1, 2, \quad x \in \bigcup_{i=1}^2 (l_{i-1}, l_i), \quad l_0 = 0,$$

$$\sigma_3(x) = (\lambda_3 + 2\mu_3)(a_3 x + c_5), \quad x \in (l_2, 1). \quad (45)$$

Таким чином, задача НДС багат шарового ґрунтового масиву при наявності масопереносу сольових розчинів та дії фільтраційного потоку дається формулами (28)-(45).

Зазначимо, що у зв'язку із тим, що відбувається переміщення верхньої межі ґрунту $\left(\frac{du_3(l)}{dx} = 0 \right)$, то відповідно спостерігається її осідання, що визначається за формулою:

$$l(t) - l_0 = u_3(l(t)). \quad (46)$$

Використовуючи формулу (35), маємо

$$u_3(l(t)) = \frac{a_3 l^2(t)}{2} + c_5 l(t) + c_6, \quad (47)$$

де коефіцієнти c_5 і c_6 визначаються згідно формул (37) і (41).

Підставивши значення (34) і (41) у формулу (47), а (47) у (46), після певних перетворень отримаємо

$$\frac{a_3}{2} l^2(t) + b_1 \cdot l(t) + b_2 = 0, \quad (48)$$

$$\text{де} \quad b_1 = \frac{\lambda_3 + 2\mu_3}{\lambda_1 + 2\mu_1} a_3 l_1 + \frac{\lambda_3 + 2\mu_3}{\lambda_2 + 2\mu_2} (a_3 l_2 - a_3 l_1) - a_3 l_2 + 1, \quad (49)$$

$$\begin{aligned}
b_2 = & \frac{a_1 + a_2}{2} l_1^2 + \frac{a_2 + a_3}{2} l_2^2 - a_2 l_1 l_2 - \frac{\lambda_3 + 2\mu_3}{\lambda_1 + 2\mu_1} a_3 l_1 l_2 - \\
& - \frac{\lambda_2 + 2\mu_2}{\lambda_1 + 2\mu_1} \left(a_2 l_1^2 - a_2 l_1 l_2 - a_2' \int_{l_1}^{l_2} \frac{dz}{k(c(z))} \right) - \frac{\lambda_3 + 2\mu_3}{\lambda_2 + 2\mu_2} (a_3 l_2^2 - a_3 l_1 l_2) + \\
& + a_1' l_1 \int_0^{l_1} \frac{dz}{k(c(z))} + a_2' (l_2 - l_1) \int_{l_1}^{l_2} \frac{dz}{k(c(z))} - a_1' \int_0^{l_1} \left(\int_0^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz - a_2' \int_{l_1}^{l_2} \left(\int_{l_1}^z \frac{ds}{k(c(s))} \right) dz - l_0.
\end{aligned} \tag{50}$$

Розв'язуючи квадратне рівняння (48) відносно змінної $l(t)$, отримаємо

$$l(t) = \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 2a_3 b_2}}{a_3}, \tag{51}$$

де b_1 і b_2 визначаються за формулами (49), (50).

Нижче наведені результати числових розрахунків задачі НДС ґрунтового масиву з рухомою верхньою межею при наявності масоперенесення сольових розчинів при наступних вхідних даних:

$\lambda_1 = 7500 \text{ кг/м}^2$; $\lambda_2 = 13500 \text{ кг/м}^2$; $\lambda_3 = 17000 \text{ кг/м}^2$; $\mu_1 = 5000 \text{ кг/м}^2$; $\mu_2 = 9000 \text{ кг/м}^2$; $\mu_3 = 11500 \text{ кг/м}^2$; $\gamma_{36,1} = 11,5 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{36,2} = 10,5 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{np} = 17,0 \text{ кг/м}^3$; $l_1 = 0,3 \text{ м}$; $l_2 = 0,7 \text{ м}$; $l_0 = 1 \text{ м}$; $H_1 = 0,05 \text{ м}$; $H_2 = 0,65 \text{ м}$; $C_1 = 0 \text{ г/л}$; $C_2 = 350 \text{ г/л}$; $D_1 = 0,02 \text{ м}^2/\text{доба}$; $D_2 = 0,015 \text{ м}^2/\text{доба}$.

Коефіцієнт фільтрації залежить від концентрації сольового розчину:

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

де $a_5' = 5,9404 \cdot 10^{-2}$, $a_4' = -1,6703 \cdot 10^{-1}$, $a_3' = 1,7051 \cdot 10^{-1}$, $a_2' = -7,4311 \cdot 10^{-2}$, $a_1' = 1,0563 \cdot 10^{-2}$, $a_0' = 1,0054 \cdot 10^{-3}$, $c \in [0,1]$ - безрозмірна величина.

За формулою (51) знаходимо значення $l \approx 0,98958 \text{ м}$.

Результати розрахунку значення переміщень, деформацій та напружень наведено в таблиці 1.

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

Червоний колір – графік НДС ґрунтового масиву при наявності масопереносу сольових розчинів;

синій колір – значення НДС масиву ґрунту при наявності фільтрації розчинених речовин з вільної поверхні;

зелений колір – значення НДС масиву ґрунту без фільтрації з вільної поверхні.

Таблиця 1 – Значення переміщень, деформацій та напружень.

	x	$u(x), \times 10^{-4}$	$\varepsilon(x), \times 10^{-4}$	$\sigma(x)$
	0	0	-6,62452	-11,59291
	0,1	-0,64277	-6,39921	-11,19862
	0,2	-1,24801	-6,18291	-10,82010
	0,3	-1,79217	-5,88817	-10,30430
Ґрунт в зваженому стані	0,3	-1,79217	-3,27121	-10,30430
	0,4	-2,03353	-3,04291	-9,58518
	0,5	-2,19563	-2,74426	-8,64442
	0,6	-2,20619	-2,28992	-7,21326
	0,7	-1,97431	-1,61680	-5,09291
Ґрунт в природному стані	0,7	-1,97431	-1,27323	-5,09291
	0,8	-2,08038	-0,84823	-3,39291
	0,9	-2,14395	-0,423228	-1,69291
	1	-2,16503	0,00177	0,00709

Як бачимо з отриманих результатів, процес масопереносу сольових розчинів суттєво впливає на зміну напружено-деформованого стану ґрунту.

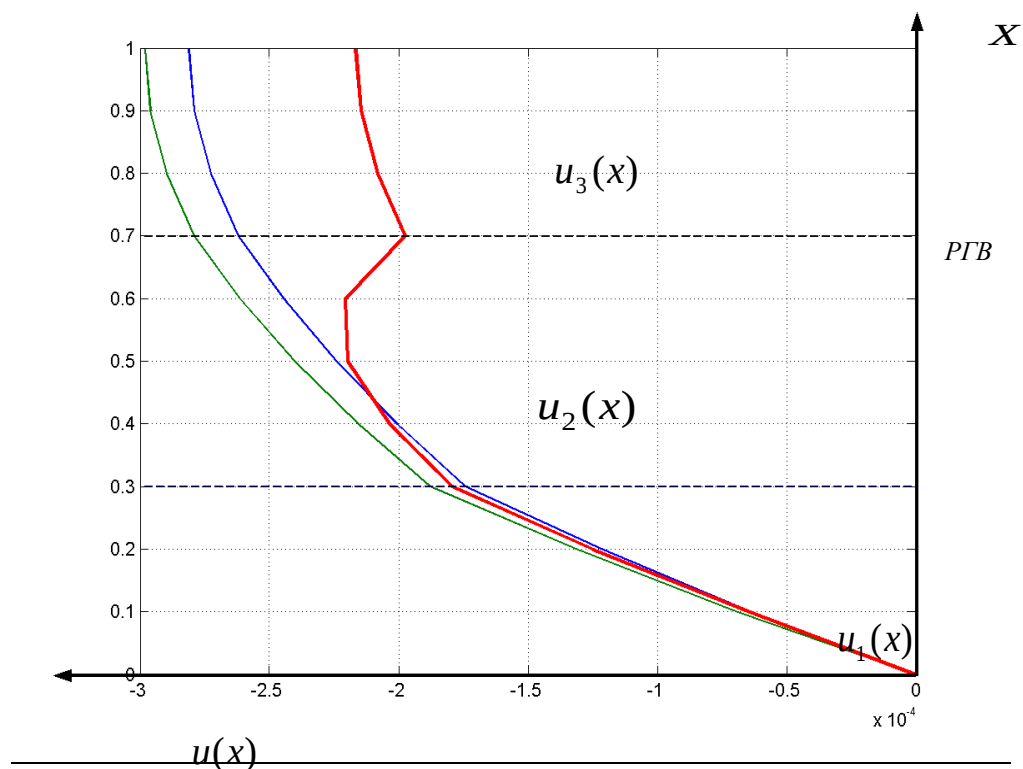


Рисунок 2 – Графік розподілу переміщень

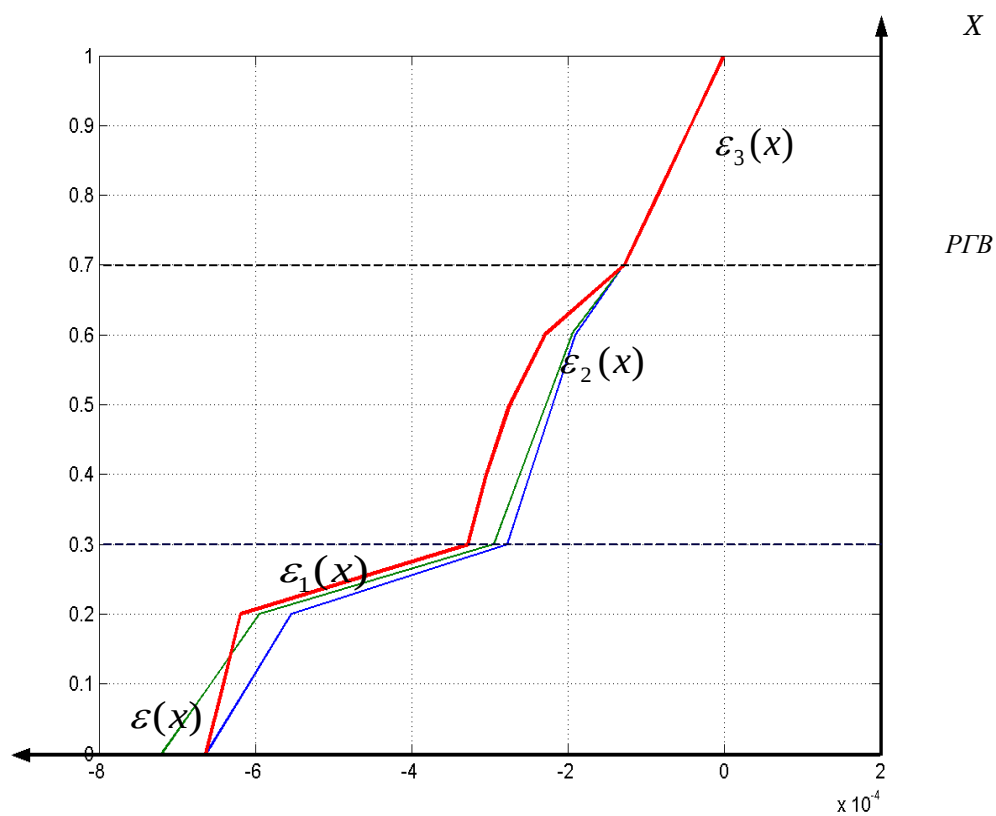


Рисунок 3 – Графік розподілу деформацій

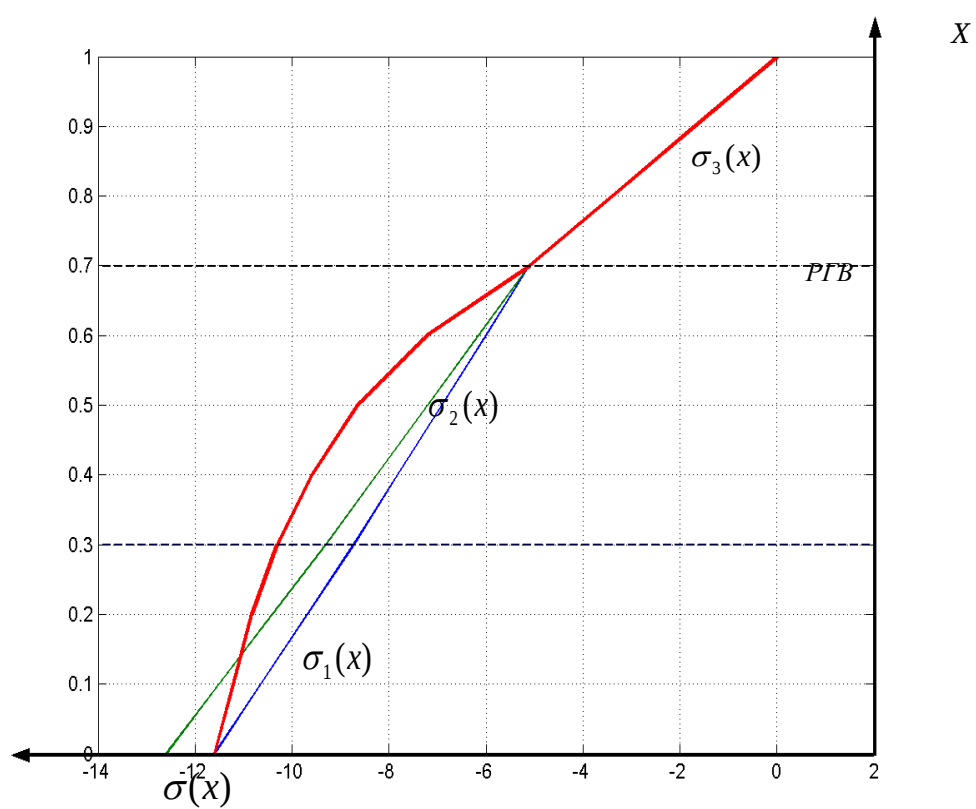


Рисунок 4 – Графік розподілу напружень

Висновок

Отримані розв'язки дають можливість визначити вертикальні зміщення поверхні ґрунтового масиву при наявності масопереносу сольових розчинів та дії фільтраційного потоку. Отримані теоретичні залежності підтверджені на конкретному прикладі. Подальшими дослідженнями можуть бути отримання відповідних розв'язків для випадку, коли рівень ґрунтових вод змінюється.

Література

1. Сергиенко И. В. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах / И. В. Сергиенко, В. В. Скопецкий, В. С. Дейнека. – К.: Наук. думка, 1991. – 432с.
2. Власюк А. П. Розв'язування одновимірної стаціонарної задачі напружено-деформованого стану ґрунтових масивів в умовах масо перенесення / А. П. Власюк, Є. І. Катерина // Вісник Львівського університету. Сер. прикладна математика та інформатика, 1999. Вип.1. С.50 – 55.
3. Кузло М. Т. Моделювання руху сольових розчинів у ґрунтах / М. Т. Кузло, І. А. Філатова // Вісник НУВГП: Зб. наук. праць. – Вип.4 (36) – Рівне, 2006. – С.131 – 135.
4. Кузло М. Т. Оцінка напружено-деформованого стану багатошарового ґрунтового масиву при дії фільтраційного потоку води // Комунальне господарство міст: Наук. техн. зб. Вип. 105. - Харків, 2012. – С.232 – 241.

Артеменко В.А., Петрович В.В., кандидат. техн. наук

ПРОГНОЗУВАННЯ НЕРЕГУЛЯРНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОЇ АППРОКСИМАЦІЇ

Анотація. Наведено процедуру прогнозування нерегулярних часових рядів методом локальної аппроксимації.

Проаналізовано результати числових експериментів по прогнозуванню модельних рядів даним методом.

Розглянуті можливості застосування методу локальної аппроксимації при прогнозуванні гідрологічних показників на прикладі прогноза середньодобових витрат води на один рік.

Ключові слова: Нерегулярні часові ряди, прогноз на базі методу локальної аппроксимації, довгостроковий прогноз середньодобових витрат води у річках.

Аннотация. Приведена процедура прогнозирования нерегулярных временных рядов методом локальной аппроксимации.

Анализируются результаты численных экспериментов по прогнозированию модельных рядов данным методом.

Рассмотрены возможности применения метода локальной аппроксимации для прогнозирования гидрологических показателей на примере прогноза среднесуточных расходов воды на один год.

Ключевые слова: Нерегулярные временные ряды, прогноз на основе метода локальной аппроксимации, долгосрочный прогноз среднесуточных расходов воды в реках.

Annotation. In this article detailed is considered procedure of the forecasting of the irregular time series by Local Approximation method.

Are analysed the results of numerical experiments of the forecasting model time series by this method.

Considered possibility of the using the Local Approximation for forecasting hydrometeorological time series on example of the hidrological series.

Keywords: Irregular time series, Local Approximation method, forecast of average daily water flow in the rivers.

Вступ

За останні роки спостерігається інтенсивне зростання повторюваності такого небезпечного природного явища як катастрофічні повені, які негативно впливають на стан автомобільних доріг та мостів, безпечний та безперебійний рух транспорту.

На ліквідацію наслідків руйнівної дії повеней постійно виділяються значні фінансові кошти.

В цих умовах надійний та своєчасний гідрологічний прогноз набуває особливої актуальності.

Наявність широкої мережі гідрологічних постів в Україні, своєчасна інформація про рівень води у річках в режимі реального часу, що одержується також автоматичними гідрологічними станціями із супутниковим зв'язком, дозволяє оперативно отримувати дані для складання відповідних гідрологічних прогнозів.

Однак якість гідрологічних прогнозів, якими користується дорожньо-мостове господарство, і далі залишається незадовільною.

Тільки впровадження у практику принципово інших підходів, безпосередньо пов'язаних з прогресом у галузі нелінійної динаміки та комп'ютерних технологій, дає можливість розробки якісно нового рівня прогнозування.

За останні роки встановлено, що у своїй більшості часові гідрологічні ряди володіють специфічною хаотичною поведінкою. Внаслідок цього для аналізу та прогнозу цих часових рядів і знайшли своє застосування методи нелінійної динаміки та детермінованого хаосу.

У статті розглянутий один із таких методів – метод локальної аппроксимації (Local Approximation, далі **LA**), його особливості та процедура прогнозування нерегулярних (у тому числі і гідрологічних) часових рядів.

Метод локальної аппроксимації

Сучасні методи нелінійної динаміки та детермінованого хаосу дозволяють не тільки аналізувати поведінку нерегулярного ряду в цілому, але також і прогнозувати його зміни у часі. При цьому припускається, що характеристики

природної системи, яка безпосередньо породжує та формує такий ряд, невідомі.

Звичайно на практиці при проведенні відповідних розрахунків використовують дані одномірного ряду спостережень. Але методи теорії динамічних систем дозволяють тільки за даними цього ряду провести відбудову поведінки всіх динамічних змінних процесу [1,2].

Так, наприклад, якщо система трьохмірна, а її поведінка описується змінними X, Y та Z , то тільки по ряду змінної X можливо відбудувати також часові ряди і для змінної Y , і для змінної Z .

Для цього слід застосувати метод затримки [3,4], який у якості координат стану динамічної системи у певний момент часу t оперує відповідними значеннями часового ряду, що були використані із деякими «запізнюваннями» через інтервал часу τ (часу «затримки»).

При такому підході до проблеми еволюції динамічної системи (і проблеми прогнозування часових рядів у тому числі) задача прогнозування трансформується у задачу суто геометричну, - необхідно відслідкувати траєкторію певної точки у N – мірному фазовому просторі, знаючі закономірності її руху на попередніх участках.

По суті при цьому вхідний ряд певним чином перетворюється у матрицю, яку називають матрицею «затримок» (траєкторною матрицею).

Для аналізу та прогнозу нерегулярних часових рядів теорія динамічних систем пропонує різноманітні успішно апробовані методи, у тому числі і метод локальної аппроксимації [5-8].

Можливість використання методу ЛА для прогнозування нерегулярних часових рядів визначається базовим принципом, що лежить у його основі – локальністю самої аппроксимації. Припускається відмова від використання всіх відомих значень ряду та обмеження їх числа лише найбільш близькими до деякої «стартової точки», від якої і починається прогноз.

Знайшов своє застосування цей метод зокрема і при прогнозуванні рядів добових витрат води гірських річок [9].

Однак у переважній більшості публікацій методика використання методу ЛА з точки зору її практичної реалізації не наведена.

Розглянемо в зв'язку з цим детальну побудову алгоритму цього метода прогнозування та деякі результати числових експериментів, проведених за допомогою розробленої авторами програми.

Зазначимо, що запис векторів та матриць наведений далі в нотації MATLAB.

Позначимо кількість динамічних змінних систем як DIM, а часову затримку τ як TAY.

Стовпці траєкторної матриці – це відбудовані часові ряди для динамічних змінних X, Y та Z.

Строки цієї матриці описують положення певної фазової точки на фазовій траєкторії для різних моментів часу, тобто у часі послідовно розглядається перша, друга, третя і т.д. строки траєкторної матриці.

Ці строки – N – мірні, або, у нашому позначенні, DIM – мірні вектори.

Оскільки розглядаються трьохмірні вектори, DIM = 3.

Приймемо, наприклад, що вихідний скалярний, одномірний часовий ряд S має дев'ять складових, тобто

$$S = [S(1); S(2); S(3); \dots S(8); S(9)]. \quad (1)$$

Необхідно спрогнозувати поведінку ряду (1) на два кроки (дві точки) вперед.

Для цього вихідного ряду при DIM = 3 та TAY = 1 може бути побудована траєкторна матриця **M** виду

$$\begin{array}{cccc} [X] & [Y] & [Z] & \\ S(1) & S(2) & S(3) & [1] \\ S(2) & S(3) & S(4) & [2] \\ S(3) & S(4) & S(5) & [3] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S(7) & S(8) & S(9) & [7], \end{array} \quad (2)$$

де стовпці [X], [Y], [Z] – це відбудовані ряди для відповідних динамічних змінних.

Справа в квадратних скобках вказаний порядковий номер трьохмірного вектора (вектори [1],[2],[3], ... [7]).

Таким чином, у початковий момент часу фазова точка для трьохмірного випадку (2) у фазовому просторі має координати S(1); S(2); S(3), або X(t = 1); Y(t = 1); Z(t = 1).

У наступний момент часу ця точка має координати S(2); S(3); S(4), тобто X(t = 2); Y(t = 2); Z(t = 2), або у компактному вигляді X(2); Y(2); Z(2).

З часом фазова точка описує у фазовому просторі деяку DIM – мірну лінію (фазову траєкторію).

Ця фазова траєкторія, по-суті, характеризує часову еволюцію динамічної системи, тобто яким чином змінюються значення змінних, що однозначно характеризують стан цієї системи. Для визначення еволюції системи слід простежити послідовність зміни векторів [1]; [2]; [7] , із яких складена траєкторна матриця (2).

Зрозуміло, що траєкторна матриця розглядає лише дискретний стан динамічної системи.

При гідрометеорологічному прогнозуванні це має певні переваги, оскільки ряд спостережень S також є дискретним, рівнодистантним у часі рядом.

Якщо, наприклад, інтервал у часі між двома сусідніми точками вихідного ряду S дорівнює 1 хвилині; то і в траєкторній матриці **M** між кожним наступним положенням фазової точки цей час також дорівнює 1 хвилині: тобто 1 хвилина – це різниця у часі між двома сусідніми векторами.

Далі, не змінюючи значення параметру DIM = 3, почнемо поступово збільшувати параметр TAY, тобто часову затримку.

При параметрах DIM = 3 та TAY = 2 одержуємо із вихідного ряду (1) трьохмірну матрицю виду

$$\begin{array}{lll} [X] & [Y] & [Z] \\ S(1) & S(3) & S(5) \quad [1] \\ S(2) & S(4) & S(6) \quad [2] \\ S(3) & S(5) & S(7) \quad [3] \\ S(4) & S(6) & S(8) \quad [4] \\ S(5) & S(7) & S(9) \quad [5] , \end{array} \quad (3)$$

при параметрах DIM = 3 та TAY = 3 матрицю виду

$$\begin{array}{lll} [X] & [Y] & [Z] \\ S(1) & S(4) & S(7) \quad [1] \\ S(2) & S(5) & S(8) \quad [2] \\ S(3) & S(6) & S(9) \quad [3] , \end{array} \quad (4)$$

та остаточно при параметрах DIM = 3 та TAY = 4 траєкторну матрицю

$$\begin{array}{lll} [X] & [Y] & [Z] \\ S(1) & S(5) & S(9) \quad [1] . \end{array} \quad (5)$$

Таким чином, значення $TAY = 4$ при $DIM = 3$ є граничним значенням, при якому ще можливо сформувати «непусту» траєкторну матрицю.

Методи хаотичної динаміки дозволяють попередньо знаходити оптимальні значення DIM та TAY по вихідному ряду та після цього проводити відбудову траєкторної матриці. Однак визначення цих значень DIM та TAY по вихідному одномірному та скалярному ряду є досить складною задачею. При цьому немає повної впевненості щодо оптимальності цих значень для конкретного процесу прогнозування.

У данному випадку значення DIM та TAY підбирали за спеціальною процедурою. Зазначимо, що це не є механічний перебір підряд всіх можливих значень. Однак методика пошуку таких значень у статті не розглядається.

Перейдемо далі безпосередньо до процесу прогнозування. Попередньо відмітимо, що для кожної траєкторної матриці у лівому верхньому куті її завжди знаходиться перший елемент вихідного ряду, а в правому нижньому куті – останній елемент ряду (у даному випадку $S(9) = S(END)$).

Цей останній елемент ряду міститься згідно (2) у векторі [7].

Даний алгоритм методу прогнозування базується на твердженні, що ряд S породжений динамічною системою, еволюція якої визначається лише початковою умовою та законом цієї еволюції.

Визначальна ідея методу полягає у пошуку аналога для останнього вектора траєкторної матриці (у даному випадку вектора [7]). Тобто вектор [7] – це початкова умова прогнозування.

Відповідно закон еволюції представлений векторами траєкторної матриці.

Якщо розглядати траєкторну матрицю (2), то вектор [1] через одиницю часу переходить у вектор [2]. Далі вектор [2] через ту саму одиницю часу переходить у вектор [3], і т.д.

Тобто всі переходи векторів можливо розглядати з позицій тільки вектора [1] та визначати його еволюцію через одну одиницю часу (один крок), дві одиниці часу (два кроки), і т.і., тобто

вектор [1] $\rightarrow$ вектор [2] (один крок)

вектор [1] $\rightarrow$ вектор [3] (два кроки)

вектор [1] $\rightarrow$ вектор [4] (три кроки), і т.д.

Зрозуміло, що аналогічно вектор [5] через один крок переходить у вектор [6], а через два кроки – у вектор [7].

При такій умові вектор [7] переходить у вектор [8] і далі у вектор [9] відповідно за один та два кроки.

Необхідно визначити ці «нові» вектори [8] та [9], тобто при $DIM = 3$ та $TAY = 1$ одержати матрицю виду

$$\begin{array}{llll}
 [X] & [Y] & [Z] & \\
 S(1) & S(2) & S(3) & [1] \\
 S(2) & S(3) & S(4) & [2] \\
 S(3) & S(4) & S(5) & [3] \\
 & & & \\
 S(7) & S(8) & S(9) & [7] \\
 S(8) & S(9) & S(10) & [8] \\
 S(9) & S(10) & S(11) & [9] ,
 \end{array} \tag{6}$$

Таким чином, на скільки значень вперед за умовами задачі потрібно виконати прогноз вихідного ряду, стільки потрібно знайти і «нових» векторів (наступних за останнім вектором вихідної траєкторної матриці).

Далі починаємо пошук аналога для останнього вектора траєкторної матриці. Нехай, наприклад, для вектора [7] найбільш близький аналог буде вектор [3].

У цьому разі еволюцію вектора – зразка [7] можливо ототожнювати із еволюцією вектора – аналога [3], який переходить у вектор [4] за один крок, у вектор [5] – за два кроки. За аналогією тоді

вектор [7] $\rightarrow$ вектор [4] (один крок)

вектор [7] $\rightarrow$ вектор [5] (два кроки).

З іншого боку, оскільки вектор [7] відповідно умов задачі через один крок переходить у вектор [8], а через два кроки – у вектор [9], можливо також умовно прийняти, що вектор [8] та вектор [9] відповідають векторам [4] та [5].

У цьому разі

$[S(8); S(9); S(10)] = [S(4); S(5); S(6)]$,

$[S(9); S(10); S(11)] = [S(5); S(6); S(7)]$.

Враховуючи рівність векторів, остаточно одержуємо, що $S(10) = S(6); S(11) = S(7)$, тобто виконаний прогноз для вихідного ряду S на два значення (два кроки) вперед.

Слід зазначити, що звичайно під мірою схожості векторів $\vec{V1}$ та $\vec{V2}$ розуміють відстань між ними

$$D = \|\vec{V1} - \vec{V2}\|,$$

де D – число (скаляр),

$\|\dots\|$ – деяка норма.

Приймаючи до уваги теорему про еквівалентність норм, можливо використовувати будь-яку норму. На практиці переважно використовують Евклідову норму.

Однак з точки зору забезпечення швидкості дії програм найбільш прийнятною є норма, що визначається через абсолютні значення.

Так, для двох трьохмірних векторів ($DIM = 3$)

$$\vec{V1} = [X1; Y1; Z1] \text{ та } \vec{V2} = [X2; Y2; Z2]$$

відстань D визначається як

$$D = \text{Abs}(X1-X2) + \text{Abs}(Y1-Y2) + \text{Abs}(Z1-Z2),$$

для двох чотирьохмірних векторів ($DIM = 4$)

$$\vec{V1} = [X1; Y1; Z1; W1] \text{ та } \vec{V2} = [X2; Y2; Z2; W2]$$

відстань D визначається як

$$D = \text{Abs}(X1-X2) + \text{Abs}(Y1-Y2) + \text{Abs}(Z1-Z2) + \text{Abs}(W1-W2),$$

де $\text{Abs}(\quad)$ – абсолютні значення.

Таким чином, для вектора [7] у даному випадку слід шукати вектор, відстань між яким та даним вектором – зразком є мінімальною. У цьому разі вектори будуть найбільш схожі (аналогічні).

Зазначимо, що при прогнозуванні реальних природних рядів іноді слід знаходити не один, а декілька векторів – аналогів. Це дозволяє у ряді випадків суттєво покращувати прогноз, оскільки з'являється можливість певного усунення помилок у ряді вихідних даних спостережень, а також завдяки деяким іншим причинам.

Разом з цим надмірна кількість аналогів (особливо якщо траєкторна матриця "коротка") може призводити до того, що у число аналогів попадуть вектори, які насправді не є такими аналогами.

У цьому разі якість прогнозу стає ще гіршою ніж у випадку, якщо оперують лише одним вектором-аналогом. Тому у розроблених процедурах прогнозування використовували такий параметр, як NNV – кількість найближчих векторів. По суті, NNV – це реальне число векторів-аналогів для

даного вектора-зразка. Використовуючи параметр $NNV > 1$, маємо змогу простежувати еволюцію кожного із векторів-аналогів.

Наприклад, будемо мати для вектора-зразка [7] два вектора-аналога ($NNV = 2$) – вектор [3] та вектор [1].

Через один крок вектор [1] переходить у вектор [2], а вектор [3] – відповідно у вектор [4].

У цьому випадку вектори [8] та [9] слід розглядати як середньоарифметичне цих векторів:

$$\text{вектор [8]} = \left[\frac{S(2)+S(4)}{2}; \frac{S(3)+S(5)}{2}; \frac{S(4)+S(6)}{2} \right], \text{аналогічно}$$

$$\text{вектор [9]} = \left[\frac{S(3)+S(5)}{2}; \frac{S(4)+S(6)}{2}; \frac{S(5)+S(7)}{2} \right].$$

Оскільки $S(10)$ згідно (6) є крайня права складова вектора [8], а $S(11)$ – крайня права складова вектора [9], можливо записати, що

$$S(10) = \frac{S(4)+S(6)}{2}, S(11) = \frac{S(5)+S(7)}{2}.$$

У випадку більшого числа NNV всі розрахунки виконуються аналогічно.

При роботі реальної процедури прогнозування сформована по вихідному ряду S траєкторна матриця розподіляється на три нерівномірні частини:

- 1) частина, у якій відшуковуються аналоги;
- 2) частина, у якій прослідковується еволюція аналогів;
- 3) частина, у якій знаходиться вектор-зразок.

Всі ці частини траєкторної матриці у загальному випадку будуть взаємно перекривати одна одну.

Перша частина є по суті верхньою частиною траєкторної матриці. Вона починається з вектора [1]. Довжина цієї частини дорівнює довжині всієї траєкторної матриці мінус число кроків прогнозування та мінус одиниця.

Частина, в якій прослідковується еволюція аналогів, являє собою повністю траєкторну матрицю за виключенням останнього вектора матриці (у нашому прикладі це вектор [7]).

Частина, у якій знаходиться вектор-зразок – це просто останній вектор траєкторної матриці.

Таке розподілення матриці припускає коректну роботу як головної процедури прогнозування, так і підпорядкованих головній процедурі всіх інших допоміжних процедур, та запобігає виходу за межі масивів, що використовуються у процедурах.

Реальні процедури були оснащені ретельною перевіркою коректності всіх вхідних даних, оскільки, наприклад, не можна сформувати траєкторну матрицю при надто короткому вихідному ряді S , а також занадто значній величині параметрів DIM, TAY та/або NNV.

Метод **LA** дозволяє виконувати прогноз без звертання до попередніх спрогнозованих значень. Наприклад, якщо для ряду довжиною 10 значень необхідно зробити прогноз ще на 10 значень вперед, а практичний інтерес являє тільки значення $S(20)$, метод дозволяє відразу знаходити це значення $S(20)$, без попереднього звертання до всіх проміжних значень $S(11)$, $S(12)$, ... $S(19)$.

Зазначимо, що більшість інших методів прогнозування є ітеративними, тобто вимагають послідовного знаходження всіх значень $S(11)$, $S(12)$, ... $S(19)$ для визначення $S(20)$.

Зрозуміло, що на кожному кроці при цьому неминуcho накопичуються помилки. Тому через певне число кроків прогнозування стає неможливим (кінцевий результат звичайно «іде» у нескінченність).

Але оскільки цей метод прогнозування не є ітеративним, навіть при значному числі кроків прогнозування «виходу» у нескінченність кінцевого результату не буде.

Таким чином, припускається досить значна стійкість такої процедури прогнозування.

Ця позитивна якість даного методу прогнозування особливо важлива при прогнозуванні нерегулярних часових рядів природних процесів. Такі ряди мають певну погрішність у вихідних даних та містять різноманітні «стрибки» (піки) та інші незручні особливості, що звичайно призводить до хибних прогнозів при використанні більшості ітеративних процедур. Також цей метод не потребує будь-якої попередньої обробки даних у протилежність ітеративним методам прогнозування, де ефективність роботи процедури безпосередньо залежить від методу попередньої обробки.

З метою верифікації прогнозної моделі були проведені відповідні числові експерименти із використанням модельних та гідрологічних часових рядів.

Результати числових експериментів

Числові експерименти для перевірки даної процедури прогнозування попередньо проводили на модельних рядах.

Експеримент 1.

Досліджувався модельний ряд, що був одержаний при ітераціях логістичного рівняння

$$X(J+1)=A * X(J) * (1-X(J)) \quad (7)$$

при значенні параметра $A = 4$ та початковій умові $X(1) = 0.1$.

Ітерації рівняння (7) виконувались до одержання загальної довжини ряду, що дорівнювала 11000 значень. Для усунення перехідних явищ перші 1000 значень ряду відкидалися. Тобто числовий експеримент проводився з рядом довжиною 10000 значень.

Перші 9980 значень цього ряду подавали на вхід процедури прогнозування, а останні 20 значень використовували для контролю якості прогнозу.

Результати прогнозування наведені на рис.1.

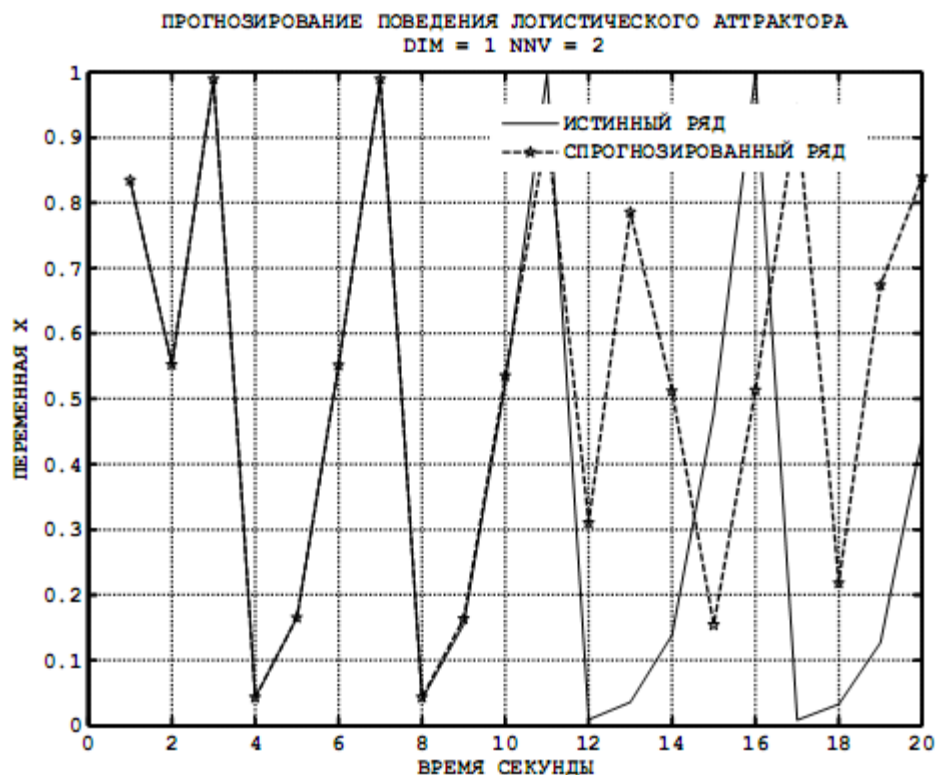


Рисунок 1

У даному випадку 1 умовна секунда на горизонтальній вісі графіка відповідає подовженню ряду на 1 значення вперед.

Як видно, одержуємо добрий прогноз логістичного ряду на 10 значень.

Експеримент 2.

Розглянемо результати прогнозування ряду, що породжений двохмірним рекуррентним рівнянням (класичним рівнянням Енона) виду

$$\begin{cases} X(J+1) = 1 - A * X(J) * X(J) + Y(J) \\ Y(J+1) = B * X(J) \end{cases} \quad (8)$$

при початкових значеннях $X(1) = 0.1$ та $Y(1) = 0.2$.

Як і рівняння (7), це рівняння при величині параметрів $A = 1.4$ та $B = 0.3$ проявляє хаотичну поведінку.

При ітераціях рівняння (8) був одержаний двохмірний ряд довжиною 11000 значень, який являв собою матрицю, що мала 11000 строк та відповідно 2 стовпця. При цьому кожний стовпець матриці – це вектор, що містив значення змінної (перший стовпець – значення змінної X , другий стовпець – змінної Y).

При експериментах подовжували або ряд X , або ряд Y . Це пов'язано виключно з тим, що застосована процедура прогнозує тільки одномірний ряд.

Перші 1000 строк матриці усувались, що дозволило у більшому або меншому ступені звільнитися від впливу перехідних явищ.

Далі перші 9970 строк матриці довжиною 10000 значень подавали на вхід процедури прогнозування, а останні 30 строк використовувались для порівняння спрогнозованих та дійсних значень.

Тобто ряд довжиною 9970 значень подовжували на 30 значень.

При цьому використовувались різні значення параметрів прогнозування DIM та NNV для кожного ряду (X або Y).

На рис. 2 наведений результат прогнозування для ряду змінної X . Як свідчать результати розрахунків, прогнозні та дійсні значення добре співпадають приблизно на протязі перших 12 точок, а далі на протязі 15 точок – із задовільною точністю.

У даному випадку слід зазначити, що для процедури прогнозування ряди X та Y виявляються нерівноцінними, хоч ці ряди змінних і генеруються одним і тим самим рівнянням (належать певній динамічній системі).

Тобто оптимальні параметри прогнозування DIM та NNV для змінної X у загальному випадку можуть бути не оптимальними для іншої змінної двомірного ряду Y .

У цьому зв'язку кожний одновимірний ряд з точки зору процедури прогнозування повинен розглядатися як окремий ряд із своїми оптимальними параметрами прогнозування.

Досить спрощене пояснення цього явища полягає у тому, що використана процедура прогнозування розглядає ряди із геометричної точки зору. Тому, незважаючи на належність рядів змінних X та Y одній динамічній системі, слід розглядати ці ряди окремо один від одного.

Як свідчать проведені розрахунки, збільшення величина DIM із одиниці до двох, а також збільшення числа аналогів NNV із одного до трьох, істотно поліпшують якість прогнозу.

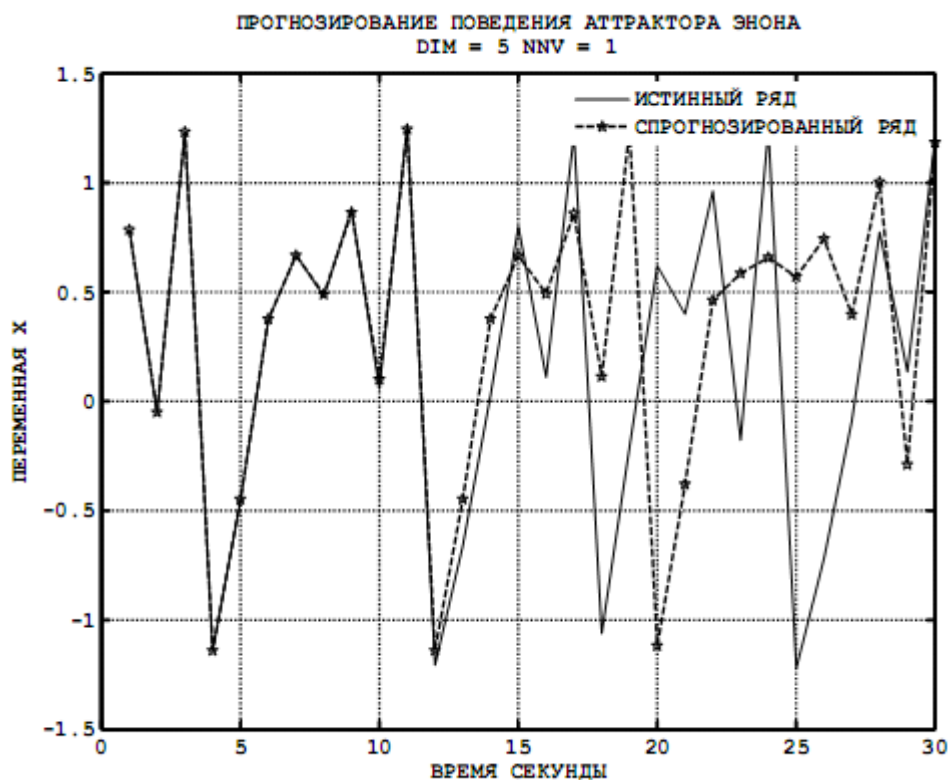


Рисунок 2

Експеримент 3

Як було зазначено в [10], всі динамічні системи у першому наближенні можливо умовно поділити на каскадні та поточкові динамічні системи.

У експериментах 1 та 2 було розглянуто прогнозування рядів, що породжені каскадними динамічними системами.

Далі розглянемо прогнозування часових модельних рядів, що породжені поточковими динамічними системами. Будемо досліджувати модельний ряд, що одержаний при числовому рішенні диференціального рівняння Ж. Спротта (модель виду А) :

$$\begin{cases} \frac{DX}{DT} = Y, \\ \frac{DY}{DT} = -X + Y * Z, \\ \frac{DZ}{DT} = 1 - Y * Y. \end{cases} \quad (9)$$

Система звичайних диференціальних рівнянь (9) розв'язувалась методом Рунге-Кутта 4 порядку з кроком у часі 0.1 сек. при початкових умовах $X = 0.1$; $Y = 0.2$; $Z = 0.3$.

Таким чином був одержаний трьохмірний ряд довжиною 11000 значень (матриця в 11000 строк та 3 стовпця, що містять значення змінних X , Y та Z відповідно).

Процедура розв'язання диференціального рівняння (9) дозволила одержати також і вектор часу, що дало можливість побудови графіків змінних із прив'язкою їх у часі.

Після видалення перших 1000 строк матриці, що була одержана у результаті розв'язання (9), та відповідної корекції вектора часу (враховуючи нову довжину матриці у 10000 строк), виконували дану процедуру прогнозування із використанням тільки перших 9500 строк цієї нової матриці. Останні 500 строк використовувались виключно для порівняння спрогнозованих значень із дійсними значеннями.

В експерименті був використаний крок інтегрування у часі, що дорівнював 0.1 сек.

На рис. 3 наведений типовий результат прогнозування ряду для змінної X , що одержаний при параметрах $DIM = 30$ та $NNV = 1$.

Зазначимо, що при оптимальних параметрах одержуємо майже ідеальний результат прогнозування на протязі 500 точок ряду, або 50 умовн. сек. (див. рис. 4).

Як показують результати розрахунків, при параметрах $DIM \in [53;57]$ та $NNV = 1$ теж одержуємо прогноз достатньої якості, у інших випадках – стабільний прогноз на протязі перших 100 точок (100 умовн. сек.).

Експеримент 4

Проаналізуємо далі результати прогнозування ряду, що одержаний при числовому інтегруванні системи звичайних диференціальних рівнянь Лоренца

$$\begin{cases} \frac{DX}{DT} = A * (Y - X), \\ \frac{DY}{DT} = X * (B - Z) - Y, \\ \frac{DZ}{DT} = X * Y - C * Z. \end{cases} \quad (10)$$

при класичному наборі параметрів рівняння $A = 10$; $B=28$ та $C = 8/3$.

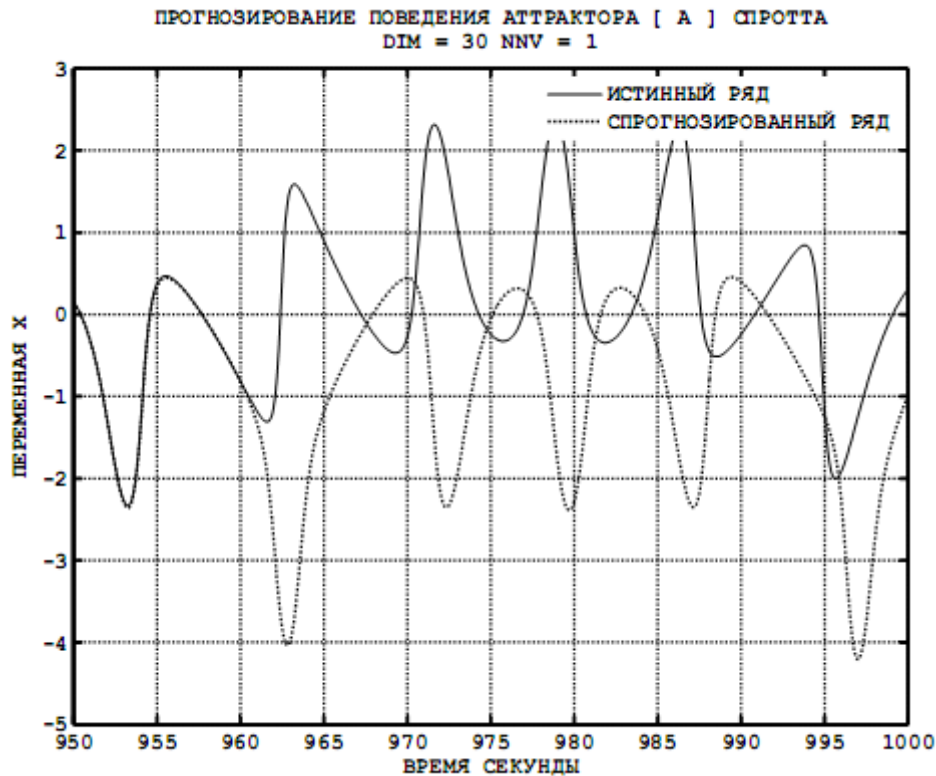


Рисунок 3

Ця система Лоренца, як і розглянута вище система Спротта (9), проявляє хаотичну поведінку (при вказаних коефіцієнтах).

Методика проведення даного експеримента повністю відповідає методиці проведення експеримента 3 (початкові умови, шаг інтегрування і т.і.).

На вхід процедури прогнозування подавали перші 9900 точок ряду (у даному випадку ряду X) довжиною 10000 значень, а останні 100 значень використовувались виключно для контролю якості прогнозу.

На рис.5 наведені результати прогнозування для змінної X , що були одержані при параметрах прогнозування $DIM = 20$ та $NNV = 1$. Як видно, спостерігається повне співпадіння спрогнозованого та дійсного ряду на протязі перших 30 точок (3 умовн.од.), а далі на протязі наступних 35 точок – досить задовільний прогноз.

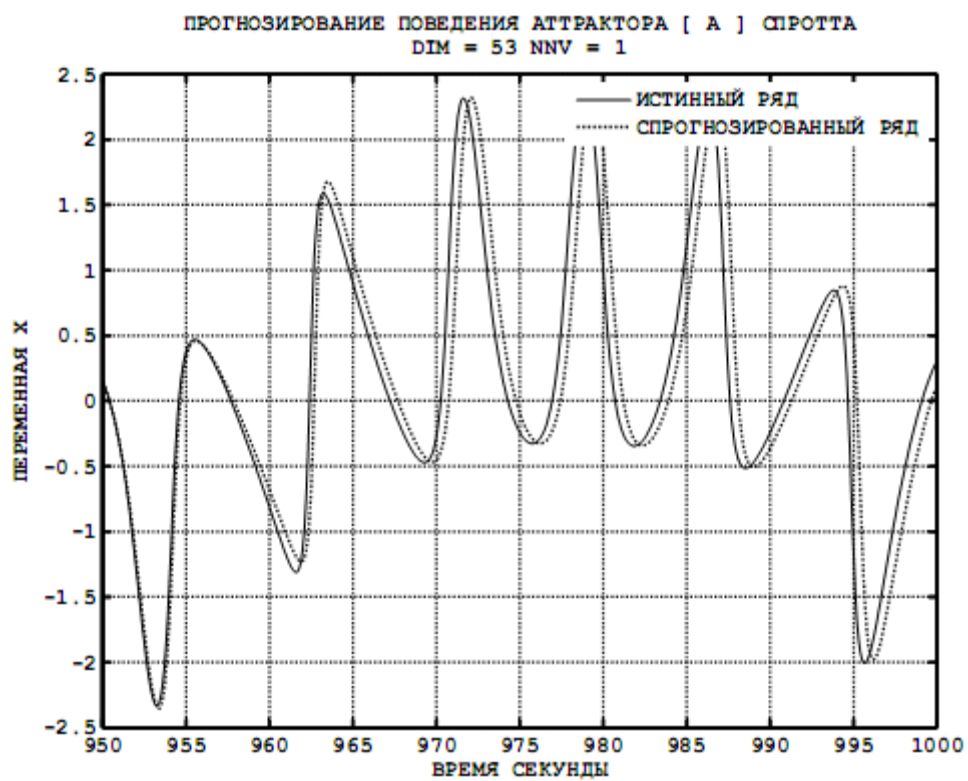


Рисунок 4

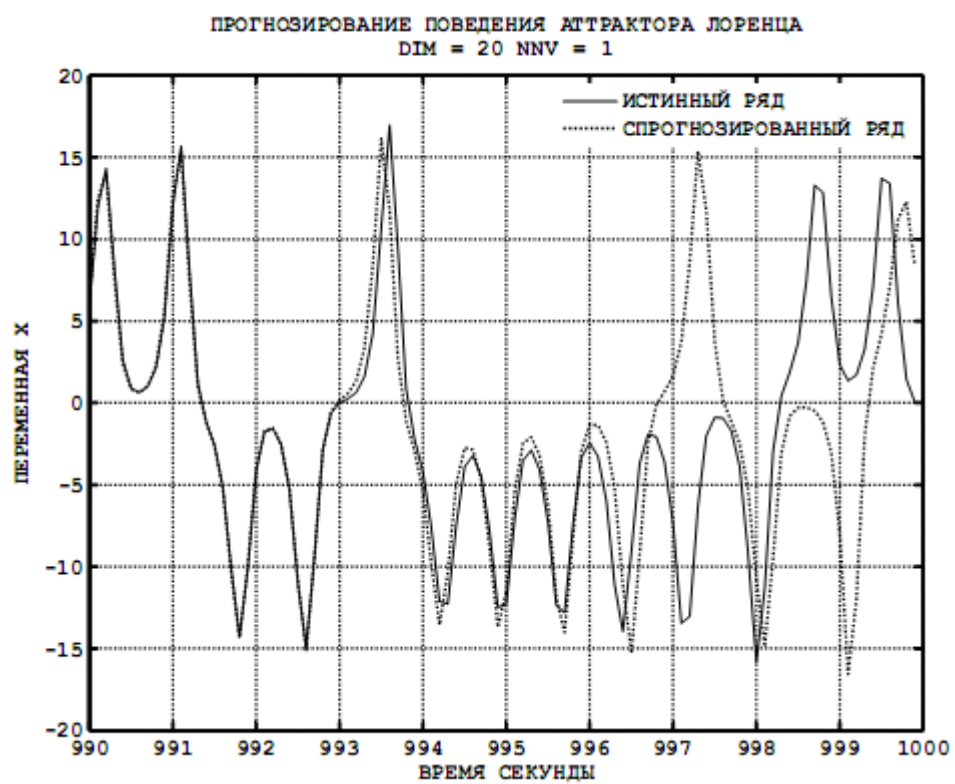


Рисунок 5

Як показують розрахунки, при $DIM \in [20; 33]$ та $NNV = 1$ маємо учасок стійкого прогнозування, на якому досягаються найкращі результати (як у часі, так і помилці прогнозу).

При цьому оптимальне значення DIM знаходиться приблизно у середині вказаного діапазону.

Зазначимо, що метод **LA** є одним із самих простих у реалізації методів прогнозування, що розроблені на базі принципів хаотичної динаміки.

Однак цей метод прогнозування використовує часовий ряд вихідних даних значної довжини, одержати який на практиці не завжди можливо.

Тому для досить коротких часових рядів доцільно використовувати інші методи прогнозування, що також базуються на засадах хаотичної динаміки (дивись, наприклад, [11]).

Прогнозування річкового стоку

Сучасна практика гідрологічних прогнозів вимагає принципово нового підходу, що полягає у застосуванні нелінійних динамічних моделей, адекватних результатам багаторічних натурних спостережень за річковим стоком.

Розглянемо результати прогнозування гідрологічного ряду витрат води у річці методом **LA**.

Як було зазначено вище, метод **LA** дозволяє проводити якісне прогнозування ряду як на коротку, так і довготривалу перспективу.

Для адекватного прогнозування був вибраний достатньо довгий часовий ряд середньодобових витрат води довжиною 12045 значень, тобто приблизно за 33 роки (див.рис.6).

Вихідні дані спостережень були переведені у текстові файли, які далі використані у процедурі прогнозування. На вхід процедури подавали лише перші 10950 значень цього ряду, а потім подовжували ряд ще на 365 значень, використовуючи різні параметри прогнозування.

Після виконання процедури порівнювали одержані при прогнозуванні значення із значеннями реального ряду (останні 365 значень ряду довжиною 11315 од. відповідно).

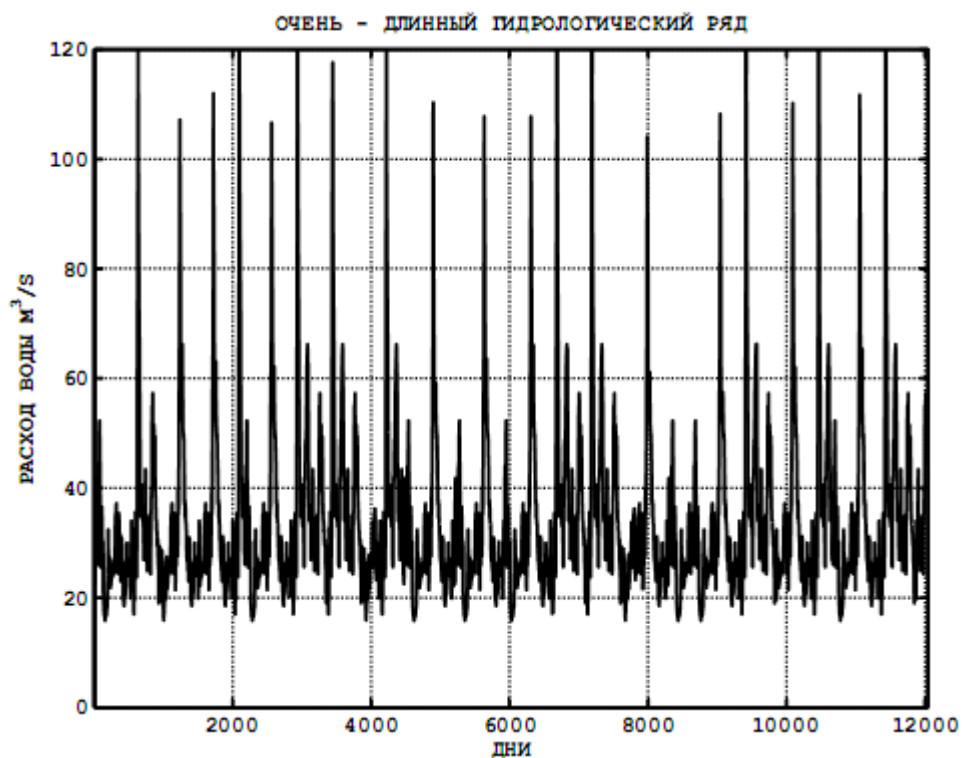


Рисунок 6

На рис.7 наведені результати прогнозу на кожний день протягом року, що були одержані при оптимальних параметрах прогнозування $DIM = 350$ та $NNV = 1$.

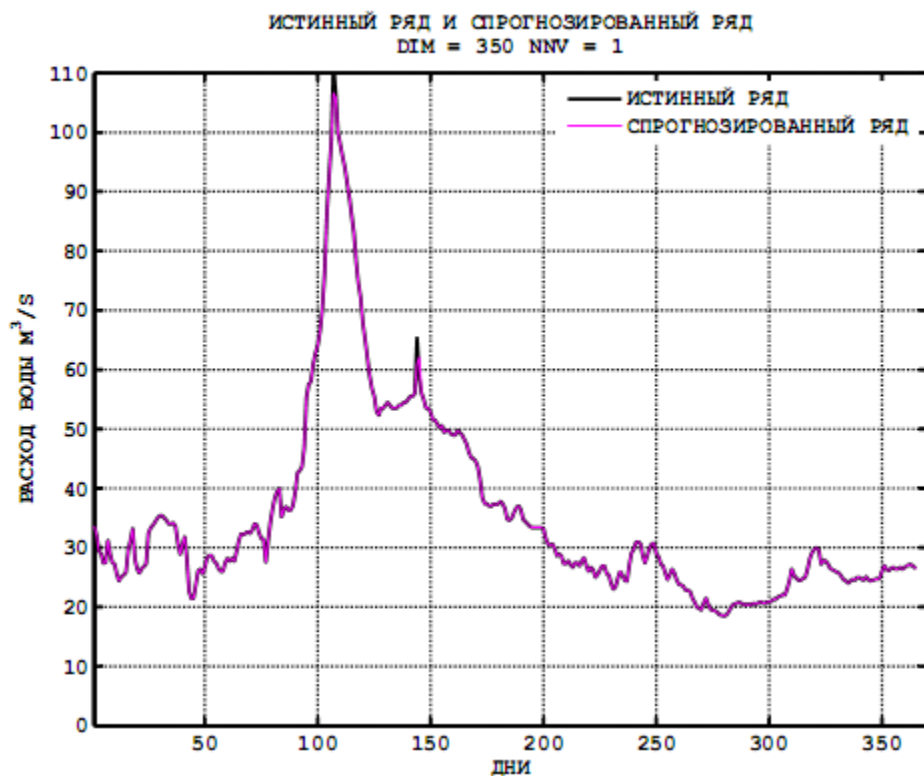


Рисунок 7

Як видно, дійсний та спрогнозований участок ряду практично співпадають.

Відхилення параметрів прогнозування від оптимальних у певних межах дещо погіршує якість прогнозу, але з практичної точки зору ще можна говорити про адекватність цього прогнозування (див.рис.8). Але навіть такий прогноз якісно відрізняється від результатів, що можуть бути одержані існуючими методами прогнозування.

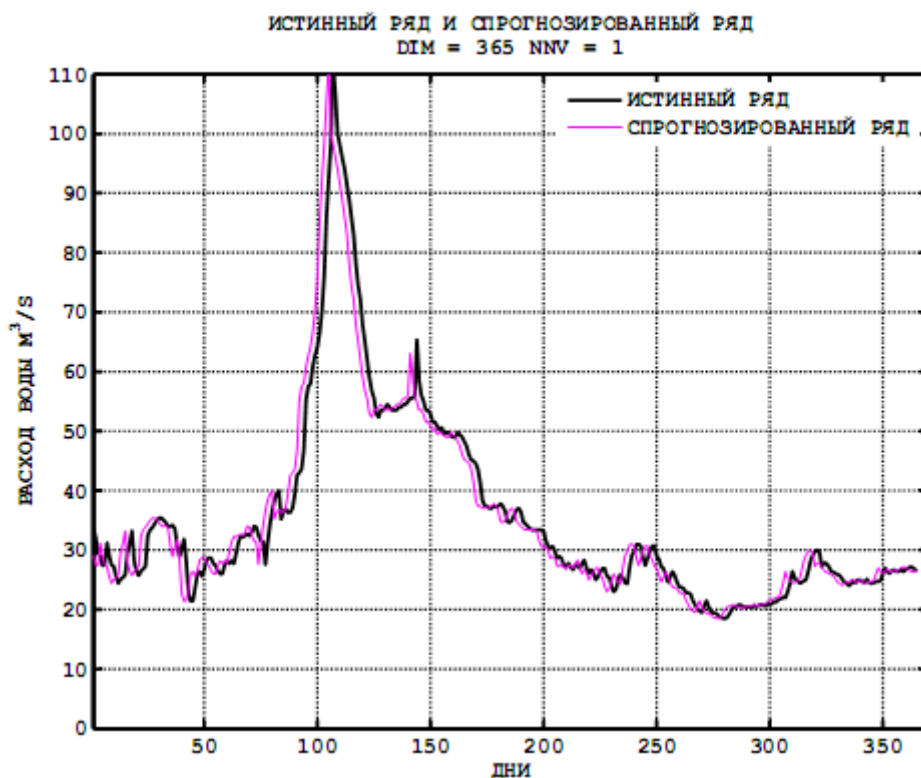


Рисунок 8

Слід зазначити, що загальноприйнятий підхід до прогнозування вважає, що модельні ряди прогнозуються значно краще рядів реальних. Однак проведеними числовими експериментами доведено, що гідрологічний часовий ряд прогнозується на велику кількість значень не гірше (а іноді навіть краще!) рядів модельних, оскільки застосована процедура постійно виявляє та аналізує схожі участки довжиною DIM та кількістю NNV у ряді.

Висновки

1. Розглянуто достатньо простий у реалізації алгоритм прогнозування будь-яких нерегулярних часових рядів методом локальної апроксимації (методом LA).

Метод володіє такими позитивними якостями як відсутність попередньої обробки вхідних даних, значною стійкістю процедури прогнозування, малим необхідним ресурсом ЕОМ;

2. Результати прогнозування модельних рядів, а також прогнозування гідрологічного ряду середньодобових витрат води на один рік свідчать про універсальність та високу точність методу **LA**.

Література

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос. – М.:Физматлит, 2001. – 296 с.
2. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. – Саратов: Изд-во Гос. УНЦ «Колледж», 2005. – 343 с.
3. Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике: Элементарное введение. – М.:КомКнига, 2006. – 208 с.
4. Гринченко В.Т., Мацыпура В.Т., Снарский А.А. Введение в нелинейную динамику : Хаос и фракталы. – М.: Изд-во ЛКИ, 2010. – 280 с.
5. Farmer J.D., Sidorovich J.J. Predicting chaotic time series.- Phys.Rev.Lett., 1987, 59(8). – P. 845 – 848.
6. Casdagli M. Nonlinear prediction of chaotic time series. – Physica D, 1989, 35. – P. 335 – 356.
7. Лоскутов А.Ю., Котляров О.Л. Нелинейная динамика и анализ временных рядов// Проблемы анализа риска. – 2004. – № 2. – Т.1. – С. 160 – 177.
8. Лоскутов А.Ю., Котляров О.Л., Журавлёв Д.И. Временные ряды: анализ и прогноз // Сб. научн. Трудов 11-й международной конф. «Математика, компьютер, образование». – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – Т.1. – С. 9 – 46.
9. Jayawardena A.W. Runoff forecasting using a local approximation method.- «Destructive Water : Water- Caused Natural Disasters, their Abatement and Control.» Proceedings of the Conference held at Anaheim, California, June 1996 // IAHS, Publ. №239. – 1997. – P.167 – 171.
10. Петрович В.В., Артеменко В.А. Довгострокове прогнозування величини річкового стоку методом SVD-розкладення // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип.85. – К.: Вид-во НТУ, 2012. – С. 142 – 147.
11. 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.

Ряпухін В.М., канд. техн. наук, Дорожко Є.В.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ ПРИ РОЗРАХУНКУ ТОНКОШАРОВИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННІЙ ОСНОВІ

Анотація. У статті розглянуті схему температурної деформації комбінованої конструкції асфальтобетонний шар на жорсткій основі і визначення температурних напружень на контакті асфальтобетонного шару і жорсткої основи.

Ключові слова: асфальтобетонний шар, жорстка основа, температурне напруження.

Аннотация. В статье рассмотрена схема температурной деформации комбинированной конструкции асфальтобетонный слой на жестком основании и определение температурных напряжений на контакте асфальтобетонного слоя и жесткого основания.

Ключевые слова: асфальтобетонный слой, жесткое основание, температурные напряжения.

Annotation. The article considers the scheme of the temperature structure of the combined deformatii asphalt layer on a rigid base and determination of thermal stresses on the contact layer of asphalt concrete and hard ground.

Key words: asphalt layer, a rigid base, the thermal stress.

В останній час конструкції тонкошарових асфальтобетонних покриттів на цементобетонній основі стали часто застосовуватися як при реконструкції доріг, так і при новому будівництві. Тонкі асфальтобетонні шари на жорсткій основі знаходяться під впливом як зовнішнього навантаження так і

температурних напружень завдяки цементобетонній плиті основи. В таких умовах асфальтобетонні шари дуже часто розтріскуються і «розвалюються».

Одним із важливих питань в цій проблемі є питання розробки математичної моделі НДС таких «комбінованих» плит з урахуванням впливу температурного градієнту на НДС системи.

Дорожні конструкції з тонкими асфальтобетонним шарами на жорсткій основі можна представити у вигляді наступної конструктивно-розрахункової схеми :

1 шар – шар асфальтобетону завтовшки від 2 до 7 (8) см;

2 шар – жорсткий шар у вигляді цементобетонної монолітної або збірної плити; шар з кам'яної бруківки, втопленої у цементобетон, і інші матеріали на основі неорганічного в'язучого, модуль пружності яких більше ніж у п'ять разів перевищує модуль пружності верхнього шару;

3 шар – пружна основа, яка складається з одного або декількох шарів дорожньої основи і ґрунтів земляного полотна.

Так як конструктивно асфальтобетонний шар і цементобетонна плита представляють одне єдине, то при зміні температури комбінованої плити температурні деформації всіх шарів, незалежно від матеріалу шарів, будуть єдині. В той же час лінійні коефіцієнти температурного розширення асфальтобетону і цементобетону значно відрізняються[1,2]. Тонкий шар асфальтобетону (захисний шар зносу) має модуль пружності значно менший ніж матеріал жорсткої основи. Він деформується разом з цементобетонною плитою, майже не впливаючи на деформацію останньої.

Механіку поведінки комбінованої конструкції «асфальтобетонний шар на жорсткій плиті» можна представити наступним чином (рисунк 1).

При зміні температури цементобетонної плити ($\Delta t_{цб}$ – температурний градієнт) її лінійні розміри збільшаться або зменшаться на величину $\Delta l_{цб}$, тоді відносна деформація становить[1]:

$$\varepsilon_{цб} = \frac{\Delta l_{цб}}{L/2} \quad (1)$$

Це та деформація, яка буде при вільному сковзанні плити по основі. При переміщенні нижньої поверхні плити по основі виникає сила тертя-зчеплення, яка заважає вільному подовженню плити. Фактична відносна деформація плити становить $\epsilon_{цбф}$. В той же час температурний градієнт для асфальтобетонного шару ($\Delta t_{аб}$) може дорівнювати температурному градієнту цементобетонну $\Delta t_{цб}$ або бути іншим.

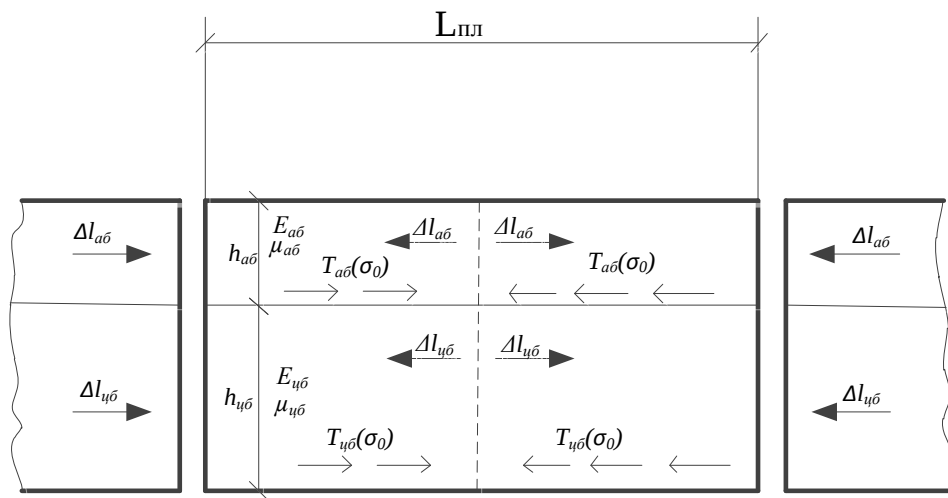


Рисунок 1 – Схема температурної деформації «комбінованої плити» (асфальтобетон плюс цементобетон)

де $h_{аб}$ $E_{аб}(t)$ $\mu_{аб}(t)$ – відповідно товщина, модуль пружності і коефіцієнт Пуассона асфальтобетонного шару для певної температури t ;

$h_{цб}$ $E_{цб}$ $\mu_{цб}$ – відповідно товщина, модуль пружності і коефіцієнт Пуассона цементобетонної плити;

$\Delta l_{аб}$ – подовження асфальтобетонного шару при температурному градієнті $\Delta t_{аб}$;

$\Delta l_{цб}$ – подовження цементобетонної плити при температурному градієнті $\Delta t_{цб}$;

$T_{цб}$ – сили тертя і зчеплення по підшві цементобетонної плити;

$T_{аб}$ – сили зчеплення між асфальтобетонною і цементобетонною плитами;

L – довжина плити.

В будь-якому з цих випадків лінійна температурна деформація асфальтобетонного шару при монолітному контакті асфальтобетону і цементобетонна буде однаковою.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta l_{a\bar{b}} = \Delta l_{ц\bar{b}} \\ i \\ \varepsilon_{a\bar{b}.ф} = \varepsilon_{ц\bar{b}.ф} \end{array} \right\} \quad (2)$$

При вільному подовженні асфальтобетонний шар (плита) при температурному градієнті $\Delta t_{a\bar{b}}$ мала б відносну деформацію $\varepsilon_{a\bar{b}}$, яка відрізняється від фактичної на величину

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{a\bar{b}} - \varepsilon_{a\bar{b}.ф} \quad (3)$$

Нереалізоване подовження асфальтобетонної плити (шару) викликає додаткові напруження $\sigma_{0.a\bar{b}}$. Ці напруження виникають на контакті плит і можуть збільшити дотичні напруження на контакті плит. В наслідок незначної товщини плит можна вважати $\sigma_{0.a\bar{b}}$ як додаткові горизонтальні напруження.

Якщо асфальтобетонний шар і цементобетонна плита об'єднані на контакті шарів в спільну конструкцію (монолітний контакт), то температурна деформація асфальтобетонного шару і цементобетонної плити будуть однакові.

Температурна лінійна деформація цементобетонної плити при зміні її температури на $\Delta t_{ц\bar{b}}$ при вільному сковзанні по основі дорівнює[1]:

$$\Delta l_{ц\bar{b}} = \alpha_{ц\bar{b}} \cdot \Delta t_{ц\bar{b}} \cdot \frac{1}{2} L_{плити} \quad (4)$$

А відносна деформація[1]:

$$\varepsilon_{ц\bar{b}} = \alpha_{ц\bar{b}} \cdot \Delta t_{ц\bar{b}} \quad (5)$$

де $\alpha_{ц\bar{b}}$ - лінійний коефіцієнт температурного розширення цементобетонну.

На підшві цементобетонної плити діють сили тертя-зчеплення ($T_{ц\bar{b}}$), які стримують вільне деформування плити. Т.я. від середини зсуваються дві половинки плити, врахуємо вагу половини плит з часткою ваги автомобіля.

$$T_{ц\bar{b}} = P \cdot f \quad (6)$$

де P – вага плити (асфальтобетон плюс цементобетон) разом з вагою автомобіля;

$$P = B \cdot \frac{1}{2} L (h_{цб} \cdot \gamma_{цб} + h_{ас} \cdot \gamma_{ас}) + \frac{Q_{ав} \cdot K}{2} \quad (7)$$

де B , L , $h_{цб}$ – відповідно ширина, довжина і товщина цементобетонної плити;

$\gamma_{цб}$ – об'ємна вага цементобетону;

$\gamma_{ас}$ – об'ємна вага асфальтобетону;

$Q_{ав}$ – вага автомобіля.

K – коефіцієнт, враховуючий вплив тимчасового автомобільного навантаження.

Контактні напруження сил тертя-зчеплення:

$$\tau_{цб} = \frac{P}{F_{пл}} \cdot f = \frac{P}{B \cdot \frac{1}{2} \cdot L} f = \gamma_{цб} \cdot f + \frac{Q_{ав}}{B \cdot L} f \cdot K \quad (8)$$

Вираз $\frac{Q_{ав}}{B \cdot L}$ позначимо через $q_{ав}$ – питома вага автомобіля на плиту.

Контактні напруження викличуть відносну деформацію плити ε_T , яка зменшує вільну температурну деформацію плити.

$$\varepsilon_T = \frac{\tau_{цб}(1 - \mu_{цб})}{E_{цб}} \text{ – у середині плити} \quad (9)$$

$$\varepsilon_T = \frac{\tau_{цб}}{E_{цб}} \text{ – на краю плити} \quad (10)$$

При коефіцієнті Пуассона цементобетонна $\mu_{цб}=0,15$ середнє значення буде на 7,5 % відрізнятись від двох крайніх. Це не дуже велика похибка, але її можна буде врахувати або привести найбільш несприятливі по напруженням

умови на краю плити. Тоді, фактичне температурне розширення цементобетонної плити з урахуванням сил тертя на підшві плити становить:

$$\varepsilon_{\text{цб.ф}} = \varepsilon_{\text{цб}} - \varepsilon_T = \alpha_{\text{цб}} \cdot \Delta t_{\text{цб}} - \frac{\tau_{\text{цб}}}{E_{\text{цб}}} \quad (11)$$

При температурному градієнті асфальтобетонного шару $\Delta t_{\text{аб}}$ вільна відносна деформація шару складає:

$$\varepsilon_{\text{аб}} = \alpha_{\text{аб}} \cdot \Delta t_{\text{аб}} \quad (12)$$

Оскільки асфальтобетонний шар при монолітному (спаяному) контакті з цементобетонною плитою деформується точно також, як і цементобетонна плита, то $\varepsilon_{\text{цб.ф}} = \varepsilon_{\text{аб.ф}}$.

Нереалізовані (стримані) деформації асфальтобетону:

$$\varepsilon_{0.\text{аб}} = \varepsilon_{\text{аб}} - \varepsilon_{\text{аб.ф}} = \alpha_{\text{аб}} \cdot \Delta t_{\text{аб}} - \alpha_{\text{цб}} \cdot \Delta t_{\text{цб}} + \frac{\tau_{\text{цб}}}{E_{\text{цб}}} \quad (13)$$

Стримані деформації асфальтобетонного шару викличуть у асфальтобетоні максимальні напруження у середині плити.

$$\sigma_{0.\text{аб}} = \frac{\varepsilon_{0.\text{аб}} \cdot E_{\text{аб}(t)}}{(1 - \mu_{\text{аб}(t)})} \quad (14)$$

$$\sigma_{0.\text{аб}} = \frac{(\alpha_{\text{аб}} \cdot \Delta t_{\text{аб}} - \alpha_{\text{цб}} \Delta t_{\text{цб}}) \cdot E_{\text{аб}(t)}}{1 - \mu_{\text{аб}(t)}} + \frac{(\gamma_{\text{цб}} h_{\text{цб}} + \gamma_{\text{аб}} h_{\text{аб}}) f + q_{\text{ав}} \cdot f \cdot K}{\frac{E_{\text{цб}}}{E_{\text{аб}}} (1 - \mu_{\text{аб}(t)})} \quad (15)$$

де $E_{\text{аб}(t)}$ і $\mu_{\text{аб}(t)}$ відповідно модуль пружності і коефіцієнт Пуассона при температурі t °С.

За допомогою рішення (15) маємо можливість визначити температурні напруження на контакті асфальтобетонного шару і цементобетонної плити.

Аналіз результатів розрахунків показує, що температурні напруження залежать, в основному, від розрахункової температури асфальтобетону, температурних градієнтів шару асфальтобетону і цементобетонної плити і марки в'язучого. У випадку, коли температурні градієнти однакові:

- чим нижче марка в'язучого (більш в'язкий бітум) тим температурні напруження більше. Це пов'язано з тим, що лінійний коефіцієнт температурного розширення для асфальтобетону на бітумі БНД 40/60 і модуль пружності більше ніж асфальтобетону на бітумі БНД 90/130;

- у зв'язку з цим при від'ємних температурах температурні напруження однакові для всіх марок і типів асфальтобетону і залежить тільки від величини температурного градієнта і модуля пружності;

У порівнянні з дотичними напруженнями від дії комплексного навантаження можна наголосити наступне:

- температурні напруження при розширенні плити (покриття плюс основа) є стискаючими і по відношенню до середини плити направлені в різні сторони (по ходу руху і проти напрямку руху);

- дотичні напруження від комплексного навантаження у тонких асфальтобетонних шарах на жорсткій основі є стискаючими по ходу руху транспорту;

- тому, найбільш несприятливі умови напружено-деформованого стану можливі на одній з половини плити при гальмуванні і на іншій при різкому зростанні швидкості;

Література

1. Горецкий Л.И. Теория и расчет цементобетонных покрытий на температурные воздействия / Л.И. Горецкий – Москва: Транспорт, 1965. – 284 с.
2. Богуславский, А. М. О деформативной способности асфальтобетона при охлаждении Текст. / А. М. Богуславский // Труды ХАДИ, вып.26. - Харьков, 1961. - С. 81-90.

УДК 628.128

Жук В.М., канд. техн. наук, Матлай І.І.

МАКСИМАЛЬНА ВИТРАТА ДОЩОВИХ СТІЧНИХ ВОД З ПРЯМОКУТНИХ У ПЛАНІ УРБАНІЗОВАНИХ БАСЕЙНІВ СТОКУ З ВОДОЗБІРНИМ ЛОТКОМ

Анотація. У роботі представлено удосконалений метод розрахунку максимальної витрати дощового стоку з прямокутних у плані урбанізованих басейнів стоку з перехоплювальним водовідвідним лотком, розташованим у нижній частині басейна. Розроблено комп'ютерну програму для реалізації запропонованого методу. Отримано графічні залежності максимальної витрати від довжини водозбірного лотка залежно від кліматичних умов, від характеристик басейна стоку та параметрів водозбірних лотків для найтиповіших урбанізованих басейнів стоку з водонепроникним покриттям. Досліджено також коефіцієнт, який враховує зміну швидкості потоку по довжині водозбірних лотків. Отримано значення коефіцієнта нерівномірності в межах 1,55–2,15, що значно перевищує значення 1,25, рекомендоване нормативним документом СНиП 2.04.03–85.

Ключові слова: дощовий стік, урбанізований басейн стоку, розрахункова витрата, час концентрації стоку, водозбірний лоток.

Аннотация. В работе представлен усовершенствованный метод расчета максимального расхода дождевого стока из прямоугольных в плане урбанизированных бассейнов стока с перехватывающим водоотводящим лотком, расположенным в нижней части бассейна. Разработана компьютерная программа для реализации предлагаемого метода. Получены графические зависимости максимального расхода от длины водосборного лотка в

зависимости от климатических условий, от характеристик бассейна стока и параметров водосборных лотков для типичных урбанизированных бассейнов стока с водонепроницаемым покрытием. Исследован также коэффициент, учитывающий изменение скорости потока по длине водосборных лотков. Получено значение коэффициента неравномерности в пределах 1,55–2,15, что значительно превышает значение 1,25, рекомендованное нормативным документом СНиП 2.04.03–85.

Ключевые слова: дождевой сток, урбанизированный бассейн стока, расчетный расход, время концентрации стока, водосборный лоток.

Annotation. Paper presents an improved method of calculating the maximum runoff discharge from a rectangular urbanized catchment with intercepting drainage channel, located at the lower side of the catchment. A computer program for the implementation of the proposed method is proposed. There are obtained the dependencies of the maximum stormwater discharge versus the length of the drainage channel, depending on climatic conditions, the catchment's and drainage channel's parameters for typical urbanized impervious catchments. The coefficient, taking into account the variation of the flow velocity along the drainage channel, was investigated. Flow irregularity coefficient is equal to 1.55–2.15, that is significantly more than 1.25, as recommended by regulatory document SNiP 2.04.03–85.

Key words: stormwater runoff, urbanized catchment, maximum discharge, time of runoff concentration, drainage tray.

Постановка проблеми

Визначення розрахункової витрати дощового стоку є важливим етапом проектування мереж та споруд систем дощового водовідведення. Достовірне визначення розрахункової витрати забезпечує надійність та ефективність функціонування системи дощового водовідведення, що запобігає підтопленню території житлових кварталів, промислових підприємств, проїжджих частин автодоріг та шосе, автостоянок, злітно-посадкових смуг та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні розрахунок параметрів дощового стоку з урбанізованих територій здійснюється відповідно до вимог і рекомендацій [1–3]. Згідно [1] розрахункова витрата дощових стічних вод визначається за формулою:

$$Q_r = \frac{z_{\text{mid}} A^{1,2} F}{t_r^{1,2n-0,1}}, \quad \text{л/с}, \quad (1)$$

де z_{mid} – середнє значення коефіцієнта, який характеризує поверхню басейна стоку; A і n – параметри, які залежать від кліматичних особливостей регіону та від періоду одноразового перевищення розрахункової інтенсивності дощу P ; t_r – розрахункова тривалість дощу, рівна часові концентрації поверхневого стоку для даного перерізу; визначається як сума часу поверхневої концентрації t_{con} , часу протікання води у відкритих лотках t_{can} та часу протікання у закритій водовідвідній мережі t_p , хв; F – загальна площа басейна стоку, га.

За рекомендацією [2] розрахункова витрата дощового стоку з територій аеродромів та вертодромів знаходиться за формулою:

$$Q_r = \frac{\Psi_{\text{mid}} q_{20} 20^n (1 + C \lg P) F}{t_r^n}, \quad \text{л/с}, \quad (2)$$

де Ψ_{mid} – середній коефіцієнт стоку; q_{20} – інтенсивність дощу, л/(с·га), для даної місцевості тривалістю 20 хв. при $P=1$ рік; C – кліматичний коефіцієнт.

Згідно [3] час поверхневої концентрації t_{con} можна обчислити за формулою Абрамова-Шигоріна:

$$t_{\text{con}} = \left(\frac{1,5 n_1^{0,6} L_{\text{con}}^{0,6} 166,7^{0,5}}{z_{\text{mid}}^{0,3} i_o^{0,3} A^{0,5}} \right)^{\frac{1}{(1-0,5n)}}. \quad (3)$$

де n_1 , i_o – відповідно коефіцієнт шорсткості і поздовжній похил басейна стоку; L_{con} – загальна довжина поверхневої концентрації стоку, м.

Час течії дощового стоку по відкритих лотках і каналах згідно [1]:

$$t_{\text{can}} = 1,25 \sum \frac{L_{\text{can}}}{60 \cdot V_{\text{can}}}, \quad (4)$$

де L_{can} – загальна довжина лотка (чи каналу), м; V_{can} – розрахункова швидкість течії в кінці лотка, м/с; 1,25 – коефіцієнт, який враховує наростання швидкості течії по довжині лотка.

Разом з тим, у діючих методах визначення розрахункової витрати дощових стічних вод не враховується ряд параметрів, які впливають на формування стоку з урбанізованих територій, а саме: конфігурація басейна стоку в плані, зворотній взаємозв'язок між інтенсивністю дощу та часом концентрації стоку. Достатньо довільним є припущення щодо значення коефіцієнта нерівномірності течії в лотках $k_{\text{can}}=1,25$ у формулі (4). З іншого боку, швидкість у кінці лотка V_{can} залежить від розрахункової витрати та від часу концентрації, який, у свою чергу, є функцією змінної швидкості течії як поверхневого потоку, так і потоку в лотках.

Удосконалена методика розрахунку максимальної витрати дощових стічних вод. У роботах [4–6] авторами було запропоновано удосконалений метод розрахунку гідрографів притоку дощових стічних вод з лінійних та радіальних у плані урбанізованих басейнів стоку. Цей метод дозволяє розраховувати основні параметри гідрографів притоку дощових стічних вод залежно від кліматичних особливостей регіону з урахуванням характеристик басейна стоку (довжини, висотної схеми, конфігурації в плані, похилу, шорсткості поверхні та ін.). У результаті отримані теоретичні формули для розрахунку часу поверхневої концентрації та розрахункової витрати дощового стоку з урахуванням змінної швидкості течії та взаємовпливу між часом концентрації та розрахунковою інтенсивністю дощу. Час поверхневої концентрації з лінійних і радіальних у плані басейнів стоку з постійним поздовжнім похилом:

$$t_{\text{con,лін}} = \left[\frac{1,67 \cdot (L_{\text{con}} \cdot n_1)^{0,6}}{(1200^n \psi_{\text{mid}} q_{20})^{0,4} i_o^{0,3}} \right]^{\frac{1}{1-0,4n}}, \text{ с}; \quad (5)$$

$$t_{\text{con,рад}} = \left[\frac{1,41 \cdot (R_{\text{con}} \cdot n_1)^{0,6}}{(1200^n \psi_{\text{mid}} q_{20})^{0,4} i_o^{0,3}} \right]^{\frac{1}{1-0,4n}}, \text{ с}. \quad (6)$$

де L_{con} , R_{con} – довжина шляху концентрації для лінійного та радіального басейнів стоку відповідно, м; q_{20} – інтенсивність дощу тривалістю 20 хв. при $P=1$ рік, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Розрахункова витрата дощового стоку:

$$Q_{\text{r,лін}} = (\psi_{\text{mid}} q_{20})^{\frac{1}{1-0,4n}} \left(\frac{720 i_o^{0,3}}{n_1^{0,6} L_{\text{con}}^{0,6}} \right)^{\frac{n}{1-0,4n}} \cdot F, \text{ м}^3/\text{с}; \quad (7)$$

$$Q_{r, \text{рад}} = (\Psi_{\text{mid}} q_{20})^{\frac{1}{1-0,4n}} \left(\frac{851 \cdot i_o^{0,3}}{n_1^{0,6} R_{\text{con}}^{0,6}} \right)^{\frac{n}{1-0,4n}} \cdot F, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8)$$

де F – площа басейна стоку, м^2 .

Представлені вище залежності справедливі, якщо по всій довжині басейна стоку має місце квадратична область опору турбулентного режиму руху, а зв'язок між витратою поверхневого потоку та його гідравлічним радіусом виражається формулою Маннінга.

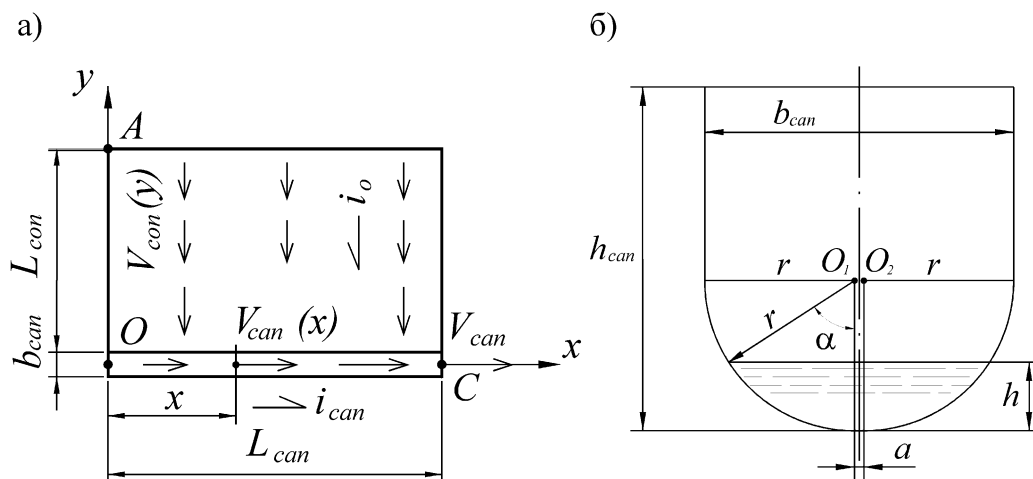
Проте їх застосування обмежується ідеальними лінійними та радіальними басейнами стоку, розрахунок яких ведеться спрощено, нехтуючи наявністю дощової водовідвідної мережі певної конфігурації в плані. При цьому при розрахунку максимальної витрати дощового стоку не беруться до уваги такі параметри, як t_{can} та t_p , а час концентрації дощового стоку t_r ототожнюється з часом поверхневої концентрації t_{con} . Однак, розрахунок поверхневого стоку з територій міської забудови вимагає врахування реальної конфігурації водовідвідної мережі.

Метою роботи є розробка удосконаленого методу розрахунку максимальної витрати дощового стоку з прямокутних у плані басейнів стоку з перехоплювальним водозбірним лотком, розташованим у нижній частині басейна.

Метод розрахунку максимальної витрати дощових стічних вод з урахуванням конфігурації водовідвідної мережі. Для дослідження впливу конфігурації водовідвідної мережі на основні параметри гідрографів притоку розглянуто дощовий стік з прямокутних у плані басейнів стоку з перехоплювальним водозбірним лотком у нижній частині басейна (рис. 1, а). Басейн приймався однорідним, з постійним у всіх точках поперечним похилом i_o та однаковим у всіх точках і незмінним в часі середнім коефіцієнтом стоку Ψ_{mid} .

Розглянуто сучасні типові водозбірні лотки з поперечним перерізом, представленим на рис. 1,б. Для покращення гідравлічних характеристик при малих витратах нижня частина лотків виконана з заокругленням радіусом r .

Визначимо геометричні характеристики живого перерізу потоку в лотку. При наповненні лотка $h < r$ кут α :



$$\alpha = \arccos(1 - h/r). \quad (9)$$

Рисунок 1 – Схеми прямокутного в плані басейна стоку з :

а) схема поверхневого стоку; б) поперечний переріз водозбірного лотка

Площа живого перерізу потоку ω_{can} , змочений периметр χ_{can} та гідравлічний радіус R_{can} при $h < r$ відповідно визначаються за формулами:

$$\omega_{can} = \alpha r^2 - (r - h)\sqrt{r^2 - (r - h)^2} + ah, \quad (10)$$

$$\chi_{can} = 2\alpha r + a, \quad (11)$$

$$R_{can} = \frac{r^2 \arccos(1 - h/r) - (r - h)\sqrt{2rh - h^2} + ah}{2r \arccos(1 - h/r) + a}. \quad (12)$$

При $h \geq r$ площа живого перерізу потоку, змочений периметр та гідравлічний радіус відповідно дорівнюють:

$$\omega_{can} = \pi r^2 / 2 + ar + b_{can}(h - r), \quad (13)$$

$$\chi_{can} = \pi r + a + 2(h - r), \quad (14)$$

$$R_{can} = \frac{\pi r^2 / 2 + ar + b_{can}(h - r)}{\pi r + a + 2(h - r)}. \quad (15)$$

Витрата дощового стоку у довільному перерізі лотка з координатою x (рис. 1, а):

$$Q(x) = \psi_{\text{mid}} q_0 L_{\text{con}} x, \quad (16)$$

де q_0 – розрахункова інтенсивність випадання дощу, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, яка відповідає тривалості дощу, чисельно рівній часу концентрації дощового стоку зі всього басейна стоку.

З іншого боку, за формулою Маннінга розрахункова витрата потоку у лотку:

$$Q(x) = R_{\text{can}}^{2/3} \omega_{\text{can}} \sqrt{i_{\text{can}}} / n_{\text{can}}, \quad (17)$$

де i_{can} – поздовжній похил лотка; n_{can} – коефіцієнт шорсткості стінок лотка.

Прирівнявши вирази (16) і (17), можна визначити наповнення лотка $h(x)$, а відтак і швидкість потоку $V_{\text{can}}(x)$ у довільному перерізі з координатою x .

Час протікання стічних вод по водозбірному лотку:

$$t_{\text{can}} = \int_0^{L_{\text{can}}} \frac{dx}{V_{\text{can}}(x)}, \text{ с.} \quad (18)$$

Час концентрації дощового стоку з досліджуваного басейна стоку:

$$t_r = t_{\text{con}} + t_{\text{can}}, \quad \text{с,} \quad (19)$$

де час поверхневої концентрації t_{con} визначали за теоретичною формулою (5) для лінійних у плані басейнів стоку.

Уточнене значення інтенсивності дощу, яке відповідає тривалості дощу, рівній t_r :

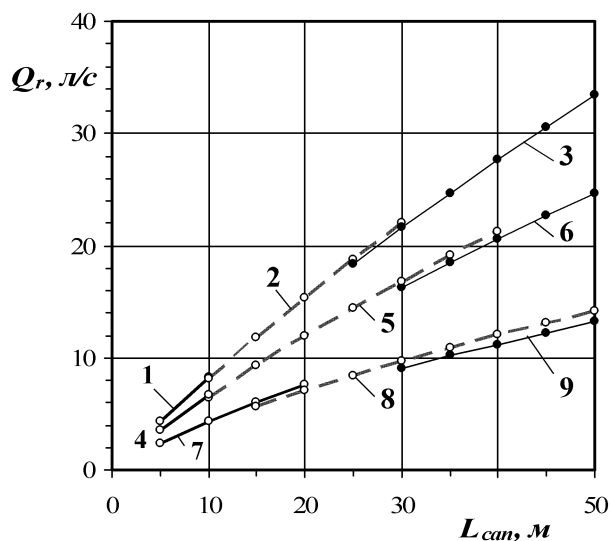
$$q_0 = q_{20} (1200 / t_r)^n, \quad \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с}). \quad (20)$$

Розрахунки виконувалися за розробленою авторами програмою. Водозбірний лоток розбивався по довжині на 50 відрізків однакової довжини. Для середини кожного відрізка вирішувалася система рівнянь (16) і (17), після чого виконувалося чисельне інтегрування виразу (18). У першому наближенні приймали $q_0 = q_{20}$. Цикл обчислень за формулами (16)–(20) продовжувався доти,

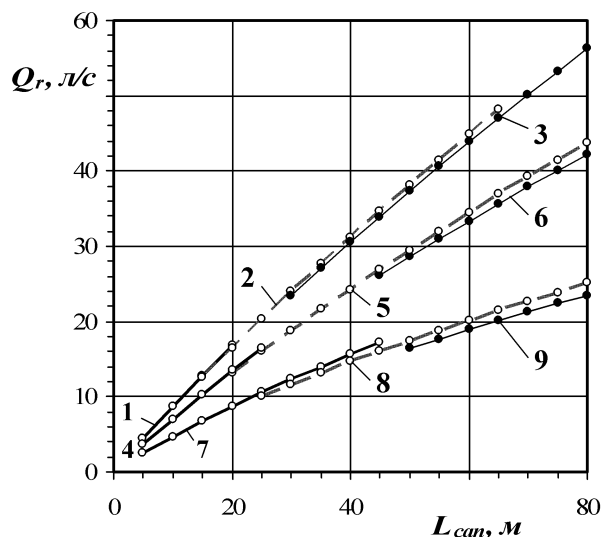
доки відносна різниця між попереднім і наступним значеннями розрахункової інтенсивності дощу не була меншою за 0,01 %.

Результати чисельного розрахунку максимальної витрати дощових стічних вод з прямокутних у плані басейнів стоку з водозбірним лотком. Згідно [7] при наявності закритої внутрішньоквартальної дощової мережі і ширині вулиці до 30 м дощоприймачі потрібно встановлювати на відстанях 50, 60, 70 або 80 м один від одного при поздовжньому похилі вулиці відповідно 0,004; 0,004–0,006; 0,006–0,01; 0,01–0,03.

На рис. 2 представлено результати теоретичного дослідження максимальної витрати дощового стоку з прямокутних у плані басейнів стоку з різними значеннями ширини L_{con} . Розглянуто басейни стоку з удосконаленими водонепроникними покриттями, для яких $\psi_{\text{mid}}=0,95$. Максимальна довжина водовідвідних лотків згідно [6] прийнята рівною $L_{\text{can}}=50\text{--}80$ м. У розрахунках приймалися бетонні водовідвідні лотки типів MAXI 11.19.23, 16.25.31, MAXI 20.29.33 виробництва компанії "Стандартпарк" шириною відповідно 110, 160 і 200 мм з заокругленим дном та коефіцієнтом шорсткості $n_1=0,013$. Поздовжній похил лотків приймався рівним $i_{\text{can}}=0,004$ для лотків довжиною до 50 м та $i_{\text{can}}=0,02$ при $L_{\text{can}}=80$ м.



а)



б)

Рисунок 2 – Залежність максимальної розрахункової витрати дощового стоку Q_r від протяжності басейна стоку L_{can} для $i_{\text{can}}=0,004$ (а), $i_{\text{can}}=0,02$ (б): 1, 2, 3 – при $L_{\text{con}}=30$ м; 4, 5, 6 – при $L_{\text{con}}=20$ м; 7, 8, 9 – при $L_{\text{con}}=10$ м; 1, 4, 7 – лотки MAXI 11.19.23; 2, 5, 8 – лотки 16.25.31; 3, 6, 9 – MAXI 20.29.33 ($\psi_{\text{mid}}=0,95$; $q_{20}=100$ л/(с·га); $i_0=0,02$; $n_1=0,013$)

Отримано діапазони допустимого використання бетонних лотків різної ширини для вказаних умов. Графіки на рис. 2 дають уявлення про максимальну довжину лотків малої ширини (110 і 160 мм) при різних значеннях ширини басейна L_{con} та різних значеннях поздовжнього похилу i_{can} . Слід також зауважити, що графіки залежності Q_r від L_{can} , представлені на рис. 2, побудовані для лотків постійної від самого початку довжини. Збільшення ширини лотків по довжині басейна призводить до незначного (до 10%) зростання розрахункової витрати порівняно з представленими результатами.

Досліджено також залежність від різних факторів коефіцієнта нерівномірності течії в лотках k_{can} , який враховує зміну швидкості потоку по довжині водозбірного лотка L_{can} . Коефіцієнт нерівномірності течії в лотку обчислювали за формулою

$$k_{\text{can}} = \frac{t_{\text{can}}}{L_{\text{can}} \cdot V_{\text{can}}}, \quad (21)$$

де $V_{\text{can}} = V_{\text{can}}(L_{\text{can}})$ – швидкість течії у кінцевому перерізі водозбірного лотка, м/с.

На рис. 3 представлено залежності k_{can} від L_{can} при різних значеннях ширини басейна L_{con} .

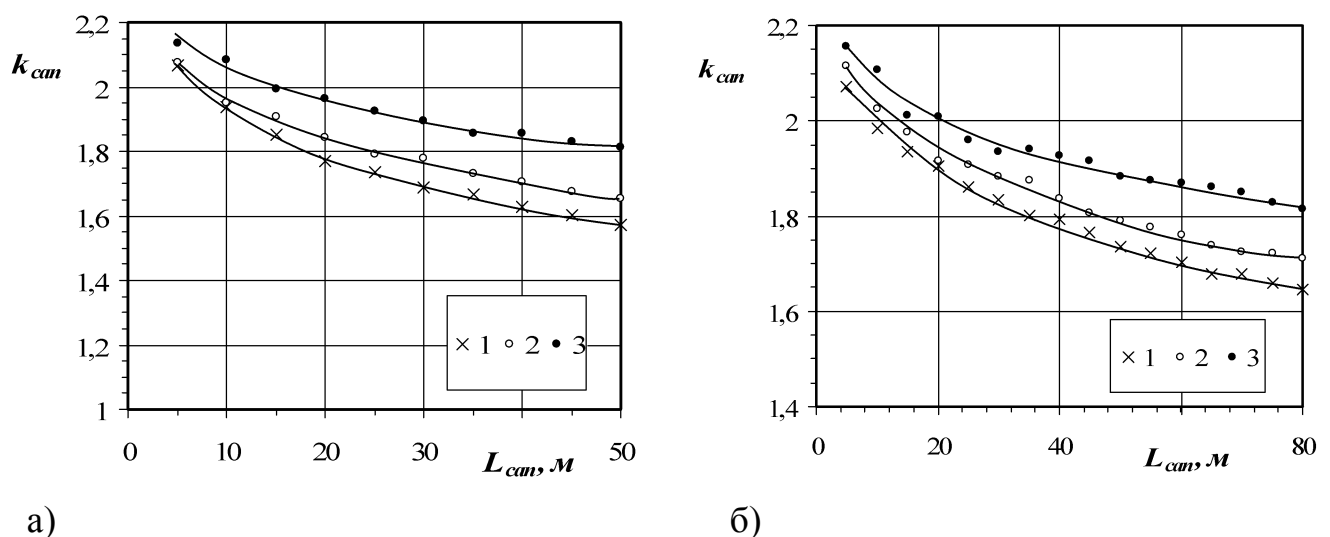


Рисунок 3 – Зміна коефіцієнта k_{can} залежно від довжини водозбірного лотка L_{can} для $i_{\text{can}}=0,004$ (а), $i_{\text{can}}=0,02$ (б) при: 1 – $L_{\text{con}}=30$ м; 2 – $L_{\text{con}}=20$ м; 3 – $L_{\text{con}}=10$ м ($\psi_{\text{mid}}=0,95$; $q_{20}=100$ л/(с·га); $i_0=0,02$; $n_1=0,013$; лотки – МАХІ 20.29.33; $b_{\text{can}}=200$ мм)

Отримані для бетонних лотків шириною $b_{\text{can}}=200$ мм значення коефіцієнта нерівномірності k_{can} в межах 1,55–2,15 значно перевищують значення $k_{\text{can}}=1,25$, регламентоване в нормативному документі [1].

Висновки

Розроблено удосконалений метод розрахунку максимальної витрати дощового стоку з прямокутних у плані басейнів стоку з перехоплювальним водозбірним лотком, розташованим у нижній частині басейна та складено комп'ютерну програму для визначення розрахункової витрати та часу концентрації поверхневого стоку залежно від характеристик басейна стоку та водозбірних лотків. Отримано, що коефіцієнт нерівномірності течії у водозбірних лотках значно перевищує нормативне значення 1,25 і становить в межах від 1,55 до 2,15.

Література

1. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 72 с.
2. СНиП 2.05.08–85. Аэродромы / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. — 59 с.
3. Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения: Учеб. пособие. / В.И. Калицун — М.: Стройиздат, 1987. — 336 с.
4. Жук В.М. Теоретичні гідрографи притоку для дощів постійної в часі інтенсивності при змінній швидкості течії / В.М. Жук // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. Випуск 15. — К.: КНУБА, 2010. — С. 119–130.
5. Жук В.М. Розрахункова витрата дощових стічних вод для лінійних в плані басейнів стоку з постійним позовжнім похилом / В.М. Жук, І.І. Матлай / Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Теорія і практика будівництва”. — № 697. — Львів. — 2011. — С. 97–103.
6. Матлай І.І. Розрахункова витрата та час концентрації дощового стоку з радіальних у плані басейнів з постійним позовжнім похилом / І.І. Матлай, В.М. Жук, М.А. Саницький // Науковий вісник Нац. лісотехнічного ун-ту України. Вип. 22.1 — Львів: НЛТУ — 2012. — С. 119–125.
7. Алексеев М.И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: учеб. пособие / М.И. Алексеев, А.М. Курганов. — М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2000. — 352 с.

Чечуга О.С., канд. техн. наук, Яремов А.П

ВИБІР ЧИСЛОВОГО МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОБОТИ КОНСТРУКЦІЇ «НАСИП – ТРУБА – ОСНОВА»

Анотація. У статті розглянуто методи розрахунку напружень і деформацій основ з використанням концепцій механіки суцільного середовища і механіки ґрунтів.

Ключові слова: середовище, навантаження, механіка суцільного середовища, числовий метод, напруження, основа, труба.

Аннотация. В статье рассмотрены методы расчета напряжений и деформаций оснований с использованием концепций механики сплошной среды и механики грунтов.

Ключевые слова: среда, нагрузки, механика сплошной среды, численный метод, напряжение, основа, труба.

Annotation. The article deals with the methods of calculation of stresses and strains bases using concepts of continuum mechanics and soil mechanics.

Key words: environment, load, continuum mechanics, numerical method, tension, base pipe.

Вступ

При розрахунку конструкції «насип – труба – основа» виникає проблема вибору методу розрахунку. Використання найпоширеніших числових методів: методу середніх різниць, методу граничних елементів і методу скінчених елементів – дозволяє одержувати достатньо близькі до аналітичних чисельні рішення розподілу напружень під дією розподілених і зосереджених сил без висновку аналітичної залежності.

Метод середніх різниць (МСР) ґрунтується на заміні точних значень похідних функцій приблизними числовими співвідношеннями [1]. Приблизні значення похідних записують через дискретні значення функцій у вузлах сітки, що покриває об'єкт розрахунку. Цей метод застосовують тоді, коли розв'язання задачі зводиться до розв'язання диференціального рівняння чи їх системи.

МСР досить успішно використовувався для розрахунку ґрунтових основ, причому інтерпретація основи була як лінійною, так і нелінійною [2]. Спроби розв'язання з його допомогою змішаної задачі теорії пружності і пластичності дали цікаві результати [3], але недостатня розробленість методу і практична неможливість його застосування для задач з просторовою постановкою дещо понизила інтерес до МСР як методу розрахунку, який повинен враховувати специфічні особливості ґрунтових основ (відсутність достатньої кількості інформації про знаходження НДС основ, недостатня розробка моделей, що застосовуються в методі, підвищення точності рішення, пов'язане тільки із збільшенням дискретних елементів області), і призвели до того, що його використання в порівнянні з іншими чисельними методами дуже скоротилося.

Одним з перших числових методів, що надали можливість врахування умов взаємодії споруди з ґрунтовою основою, став метод геометричних елементів (МГЕ), причому основи методу дозволили відмовитися від дискретизації (розбиття розрахункової області на дискретні елементи), розглядаючи рішення для нескінченного масиву, а не його кінцевої частини, як при використуванні МСР і МСЕ [4]. Оригінальність застосування МГЕ для вирішення задач, в яких розраховується нескінченний ґрунтовий масив, відзначена багатьма авторами [4, 5], але деякі особливості роблять його недостатньо зручним для розрахунків основ. Визначення НДС для нескінченного масиву представляється дещо недоцільним, оскільки дослідження осідань основ призвели досить багатьох дослідників до відмови від моделі нескінченного масиву і до заміни його шаром кінцевої товщини [12, 13]. Таким чином, можна зробити висновок, що застосування МГЕ досить складно для розрахунку ґрунтових основ.

Метод скінчених елементів (МСЕ) передбачає дискретизацію суцільного середовища об'єкта деякою кількістю скінчених елементів різної форми і

розмірів та дослідження їх напружено-деформованого стану. Остаточне формулювання математичних основ МСЕ на базі положень будівельної механіки у 40-х роках минулого сторіччя дозволило розвинути новий підхід до розрахунку складних інженерних споруд. З 60-х років за допомогою МСЕ розв'язуються задачі, реалізація яких за допомогою аналітичних методів неможлива: це розрахунки просторових конструкцій; врахування чинників будівництва та експлуатації; дослідження об'єктів із складною структурою [6, 7–10]. Нова інтерпретація МСЕ на базі варіаційного методу остаточно довела його адекватність математичним основам [9], що дозволило йому розвинутися в складніші різновиди – методи скінчених смуг, просторових скінчених елементів, суперелементів, метод Крона тощо.

Рівень розвитку МСЕ на сьогоднішній день дає можливість розрахунку складних споруд з різноманітними поєднаннями навантажень різних видів дії, у тому числі динамічних; середовищ із складною неоднорідною структурою; конструкцій з будь-яким ступенем структурної складності їх елементів і т.д. [7, 11].

Важлива перевага МСЕ – зняття заборони на форму досліджуваної області системи "фундамент – основа" [7, 11]. Це дозволяє, крім моделювання шаруватих масивів з різними видами нашарувань ґрунту, розраховувати фундаменти складної форми як в плані так і в профілі.

Серед недоліків застосування МСЕ до розрахунку напружень і деформацій основ можна назвати, окрім відсутності модернізації моделей, неповний аналіз різних випадків взаємодії фундаменту з основою. Але цей недолік носить об'єктивний характер і поступово усувається у міру розвитку методик дослідження НДС основи з використанням сучасних концепцій механіки суцільного середовища і механіки ґрунтів.

Найбільш легким та раціональним для розрахунку напружено-деформованого стану роботи водопропускних труб у насипах автомобільних доріг методу скінчених елементів. Результати проведених за МСЕ розрахунків добре узгоджуються з результатами моделювання. Числове моделювання на основі методу скінчених елементів дозволяє отримати достатньо близькі до аналітичних чисельні рішення розподілу напружень під дією розподілених і зосереджених сил без виведення аналітичних залежностей.

Література

1. Шевченко В.Д. Будівельна механіка металевих конструкцій дорожньо–будівельних, підйомних і транспортних машин / Шевченко В.Д., Піскунов В.Г., Федоренко Ю.М. та ін; За ред. Піскунова В.Г., Шевченка В.Д. – К.: Вища школа, 2004. – 438 с.
2. Крыжановский А.Л. Эффективность расчета оснований с учетом нелинейных деформационных свойств грунта / Крыжановский А.Л., Чевикин А.С., Куликов О.В. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – №3. – С. 37–40.
3. Федоровский В.Г. Жесткий штамп на нелинейно-деформируемом основании (плоская задача) / Федоровский В.Г., Кагановская С.Е. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – №3. – С. 41–44.
4. Алейников С.М. Метод граничных элементов в контактных задачах для упругих пространственно неоднородных оснований / Алейников С.М. – М.: АСВ, 2000. – 745 с.
5. Givoli D. Numerical methods for problem in infinite / Givoli D. – Amsterdam, Domains, 1992. – 237 p.
6. Клепиков С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании / Клепиков С.Н. – К.: НИИСК, 1996. – 202 с.
7. Городецкий А.С. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений / Городецкий А.С., Заворицкий В.И., Лантух-Лященко А.И., Рассказов А.О. – М.: Транспорт, 1981. – 144 с.
8. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. / Зенкевич О.К. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
9. Еременко С.Ю. Методы конечных элементов в механике деформируемых тел / Еременко С.Ю. – Харьков: Изд-во "Основа", 1991. – 272 с.
10. Баженов В.А. Полуаналитический метод конечных элементов в механике деформируемых тел / Баженов В.А., Гусляр А.И., Сахаров А.С., Топор А.Г. – К.: НИИ строительной механики, 1993. – 376 с.
11. Основы метода конечных элементов / Большаков В.И., Яценко Е.А., Соссу Г. и др. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2000. – 255 с.
12. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. Основные компоненты грунта и их взаимодействие. – М.: Стройиздат, 1971. – 375 с.

УДК 624.132.3

Кузьмінець М.П., канд. техн. наук

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН ТА КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ БЛИЗЬКО РОЗТАШОВАНИХ ДІЮЧИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Анотація. У статті проаналізовано характерні особливості робочих процесів землерійних машин для роботи в умовах близько розташованих діючих трубопроводів. Обґрунтовано визначальні принципи формування спеціальних землерійних машин та комплексів для роботи в умовах близько розташованих діючих трубопроводів.

Ключові слова: землерійна машина, робочий орган, ґрунтове середовище, магістральний трубопровід, напружений стан.

Аннотация. В статье проанализированы характерные особенности рабочих процессов землеройных машин для работы в условиях близко расположенных действующих трубопроводов. Обосновано определяющие принципы формирования специальных землеройных машин и комплексов для работы в условиях близко расположенных действующих трубопроводов.

Ключевые слова: землеройная машина, рабочий орган, грунтовая среда, магистральный трубопровод, напряженное состояние.

Annotation. The paper analyzes the characteristics of business processes earthmoving machines to operate in close-existing pipelines. Justified by defining the principles of special excavation equipment and systems for use in close-existing pipelines.

Key words: digger, a working body, groundwater environment, the main pipeline, the state of stress.

Вступ

Основними принципами формування нових та вдосконалення існуючих землерийних машин вважаються шляхи пов'язані з підвищенням їх ефективності та продуктивності за рахунок: мінімізації енергоємності робочих процесів; інтенсифікації робочих процесів шляхом вдосконалення методів впливу на середовище та застосування нових ефектів, комбінації схем впливу, застосування нових матеріалів; підвищення якості та надійності машин; застосування комп'ютеризації та роботизації; вдосконалення систем приводів та енергетичних установок; автоматизації проектування машин.

Аналіз досліджень. Найбільш повно такі напрями висвітлено в роботі [1]. Безперечно такі принципи є важливими, однак чи дозволить, навіть, високоефективна та високопродуктивна техніка забезпечити основну умову роботи машин для капітального ремонту магістральних трубопроводів – безпечне ведення робіт в умовах близько розташованих діючих трубопроводів під тиском.

Проблема. Отже присутність діючого магістрального трубопроводу в зоні роботи машини накладає певні обмеження на величину прикладених робочим обладнанням навантажень на ґрунтове середовище [2...8] та потребує специфічних підходів для розгляду робочих процесів машин в обмежених просторових умовах траншеї при наявності трубопроводів.

Мета дослідження. Обґрунтувати визначальні принципи формування спеціальних землерийних машин та комплексів для роботи в умовах близько розташованих діючих трубопроводів.

Задачі дослідження: проаналізувати характерні особливості робочих процесів землерийних машин для роботи в умовах близько розташованих діючих трубопроводів та встановити спільну ідею на якій базується реалізація принципів формування машин та комплексів для спільної роботи.

Основна частина. Під час виконання робіт з капітального ремонту магістральних трубопроводів до основних технологічних операцій (рис. 1), які виконують землерийні машини, належать [9]:

1 – знімання родючого шару ґрунту над трубопроводом та транспортування його в бруствер по один бік від траншеї;

2 – розробка мінерального ґрунту зверху і з боків трубопроводу, формування необхідних кутів нахилу стінок траншеї (для забезпечення її стійкості) та транспортування розробленого ґрунту в бруствер по інший бік від траншеї;

3 – підкопування ґрунту під трубопроводом (для забезпечення проходу технологічних машин з очищення труби та нанесення нового ізоляційного покриття) з транспортуванням ґрунту в додаткові приямки;

4 – розробка бруствера мінерального ґрунту та засипання його під відремонтований трубопровід з наступним ущільненням ґрунту під трубою, з метою забезпечення стійкості ґрунтового фундаменту під трубопроводом;

5 – розробка бруствера родючого ґрунту та остаточне засипання ним повністю відремонтованого магістрального трубопроводу.

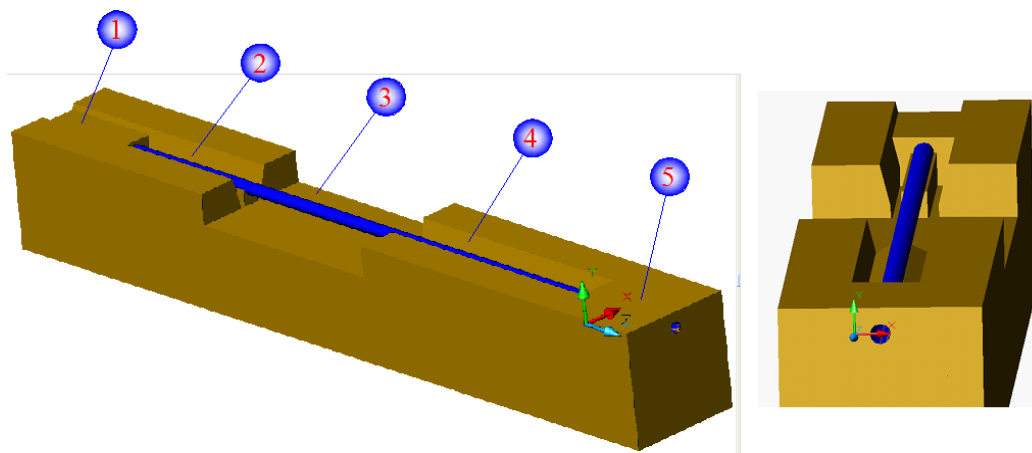


Рисунок 1 – Технологічні операції виконання земляних робіт під час капітального ремонту магістрального трубопроводу

Виконання кожної технологічної операції передбачає взаємодію робочого обладнання з ґрунтовим середовищем в умовах близько розташованого трубопроводу.

Для глибшого розуміння процесів які відбуваються під час виконання кожної технологічної операції розглянемо їх структуру – складові частини, які пов'язані з процесами руйнування та ущільнення ґрунту.

Під час знімання родючого шару ґрунту над магістральним трубопроводом (МТ) та транспортування його в бруствер по один бік від траншеї відбувається:

- навантаження ходовим обладнанням базової машини середовища та його вплив на МТ, що можна ідеалізувати у вигляді дії гусениць, як елементарних робочих органів (штампів) на середовище та ущільнення або руйнування останнього;

- дія робочого обладнання для пошарової розробки ґрунту на середовище у вигляді прикладення вертикальної та горизонтальної складових сил на площу контакту робочого обладнання та вплив цих навантажень на МТ;

- дія власної ваги труби з продуктом (нафтою) на середовище, та можливий вплив тиску на робочі процеси різання та ущільнення, що потребує підтвердження і визначення в даній роботі.

Виконання технологічної операції розкривання магістрального трубопроводу від мінерального ґрунту зверху і з боків та формування необхідних кутів нахилу стінок траншеї передбачає:

- навантаження ходовим обладнанням базової машини середовища та його вплив на МТ;

- дію робочого обладнання для розкривання магістрального трубопроводу з боків на середовище у вигляді прикладення вертикальної, горизонтальної та бокової складових сил на площу контакту робочого обладнання та вплив цих навантажень на МТ;

- дію робочого обладнання для розкривання МТ зверху на середовище у вигляді прикладення вертикальної та горизонтальної складових сил на площу контакту робочого обладнання та вплив цих навантажень на МТ;

- навантаження від власної ваги труби з продуктом (нафтою) на середовище, та можливий вплив тиску на робочі процеси різання та ущільнення, а також вплив на стійкість ґрунтової опори, що залишилась під трубопроводом;

- вплив робочого обладнання для формування необхідних кутів нахилу стінок траншеї на середовище на стійкість траншеї;

- вплив відсипаних у результаті розкривання трубопроводу брустверів мінерального та родючого ґрунту на бокові стінки траншеї та їх стійкість.

У процесі підкопування ґрунту під трубопроводом відбувається:

- дія робочого обладнання для підкопування магістрального трубопроводу на середовище у вигляді прикладення вертикальної та горизонтальної складових сил на площу контакту робочого обладнання та вплив цих навантажень на МТ;

- навантаження від власної ваги труби з продуктом (нафтою) на ґрунтову опору під магістральним трубопроводом перед підкопувальним обладнанням, та вплив дії МТ на робочі процеси підкопування та стійкість ґрунтової опори, що залишилась під трубопроводом;

- вплив маси робочого обладнання підкопування та схеми його обпирання на трубу на зміну напружено-деформованого стану трубопроводу.

Виконання технологічної операції засипання відремонтованого трубопроводу ґрунтом з наступним ущільненням його під трубою передбачає:

- навантаження ходовим обладнанням базової машини середовища та його вплив на стійкість траншеї;

- дію робочого обладнання для ущільнення ґрунту під трубопроводом у вигляді прикладення навантажень на середовище від лопаток, що рухаються одна проти одної під трубою та вплив цих навантажень на МТ та стійкість ґрунтового фундаменту під трубою;

- дію робочого обладнання для засипання ґрунту під трубопроводом на МТ та вплив взаєморозташування обладнання ущільнення та засипання на якість ущільнення ґрунту під МТ та стійкість ґрунтового фундаменту під ним.

Остання технологічна операція пов'язана з розробкою бруствера родючого ґрунту та остаточним засипання ним повністю відремонтованого магістрального трубопроводу є фактично повторенням операції знімання родючого шару ґрунту, з різницею в тім, що базовий тягач рухатиметься на відстані від МТ, з боку від частково засипаної траншеї. При цьому чинитиметься найменший вплив робочого обладнання на напружений стан МТ.

Аналіз структури кожної технологічної операції дозволяє зробити наступні загальні висновки:

1. Спільним для виконання всіх технологічних операцій є наявність в зоні виконання робочих операцій близько розташованого МТ та впливу через

середовище робочих процесів на зміну напруженого стану МТ та навпаки – впливу МТ на протікання робочих процесів машин.

2. Взаємодію робочого та ходового обладнання машин з середовищем можна в загальному представити у вигляді дії елементарних робочих органів (штампів) на ґрунт.

3. Процеси руйнування та ущільнення середовища, що виникають у результаті дії на середовище робочих процесів машин та МТ, необхідно розглядати з єдиної позиції – виникнення пластичної деформації в середовищі: якщо її значення за межею втрати стійкості (руйнування), до межі втрати стійкості (ущільнення).

4. У результаті взаємодії обладнання з середовищем виникаючі процеси руйнування або ущільнення останнього необхідно розглядати не окремо, а їх складну просторову комбінацію.

5. Розгляд енергетичної взаємодії процесів різання та ущільнення середовища дозволить виявити умови, коли обидва процеси заважають один одному, або ж навпаки допомагають (рис. 2), що дозволить встановити нові явища і керувати ними з метою визначення раціональних параметрів та режимів роботи обладнання машин.

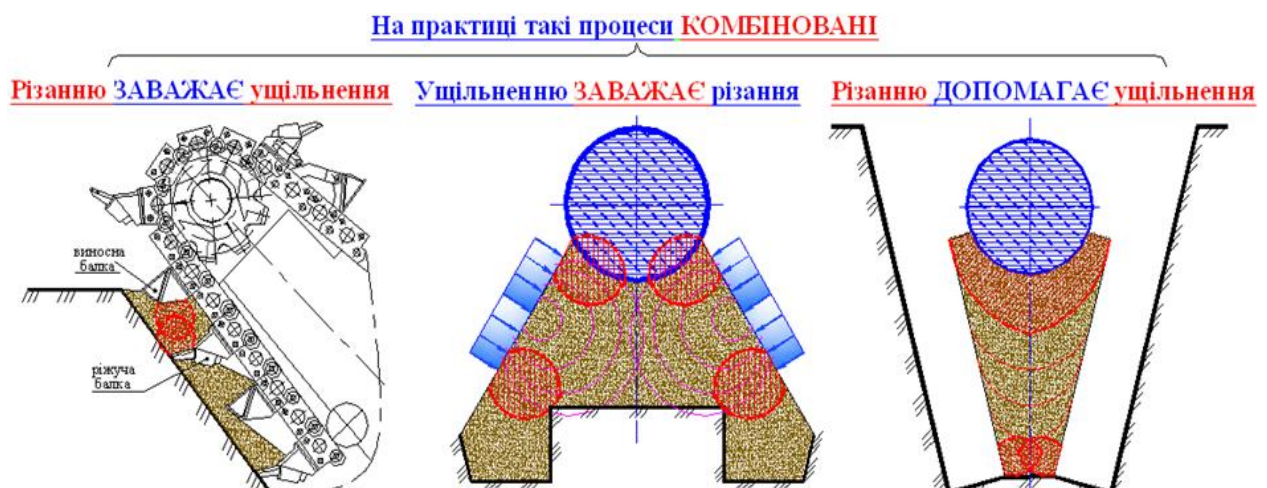


Рисунок 2 – Типові комбінації одночасної взаємодії процесів різання та ущільнення

Саме такі підходи дозволять отримати найбільш повну інформацію про особливості взаємодії робочого обладнання з середовищем в умовах роботи з

близько розташованими діючими трубопроводами та сформулювати основні принципи створення ефективних землерийних машин та комплексів для капітального ремонту МТ.

З огляду на це вважаємо, що *визначальними принципами створення машин та комплексів для роботи в зазначених умовах є:*

1. Забезпечення мінімального впливу робочих процесів машин на зміну напружено деформованого стану трубопроводу біля якого виконуються роботи та на основі цього – встановлення раціональних параметрів робочого обладнання та режимів його роботи;

2. Комбінування кількох робочих органів для виконання кількох технологічних операцій однією машиною виконується на основі того, що робочі процеси кожного робочого органа не повинні заважати один одному, а по можливості доповнювати та інтенсифікувати їх.

3. Формування комплексу землерийних машин необхідно здійснювати на основі мінімального або допустимого взаємовпливу на зміну НДС магістрального трубопроводу забезпеченням мінімальної довжини і ширини захватки та з урахуванням забезпечення попередньою машиною найбільш сприятливих умов для роботи наступних машин.

Реалізація таких принципів дозволить гарантувати безпечне виконання технологічних операцій як окремими машинами так і поєднаними в комплекс спеціальних землерийних машин для виконання робіт з капітального ремонту МТ.

Реалізація зазначених принципів базується на спільній ідеї – через визначення напружено-деформованого стану (НДС) середовища, вдасться оцінити вплив робочих процесів на зміну НДС МТ, а знання величини допустимого впливу – визначити параметри та режими роботи робочих органів (РО) машин та комплексів в цілому, які не призведуть до перевищення НДС трубопроводу та гарантуватимуть безпеку виконання робіт під час капітального ремонту діючих МТ.

На основі цього пропонується розглядати робочі процеси землерийних машин для капітального ремонту магістральних трубопроводів у вигляді взаємодії підсистем «робочий орган – ґрунт – трубопровід», «машина з кількома РО – ґрунт – трубопровід», «комплекс машин – ґрунт – трубопровід» (рис. 3).

Ми вважаємо, що розглядаючи середовище (грунт) під навантаженням робочого органа – інформація про закономірності розподілення в ґрунті полів напружень та деформацій дозволить оцінити вплив РО на напружений стан тіла трубопроводу.

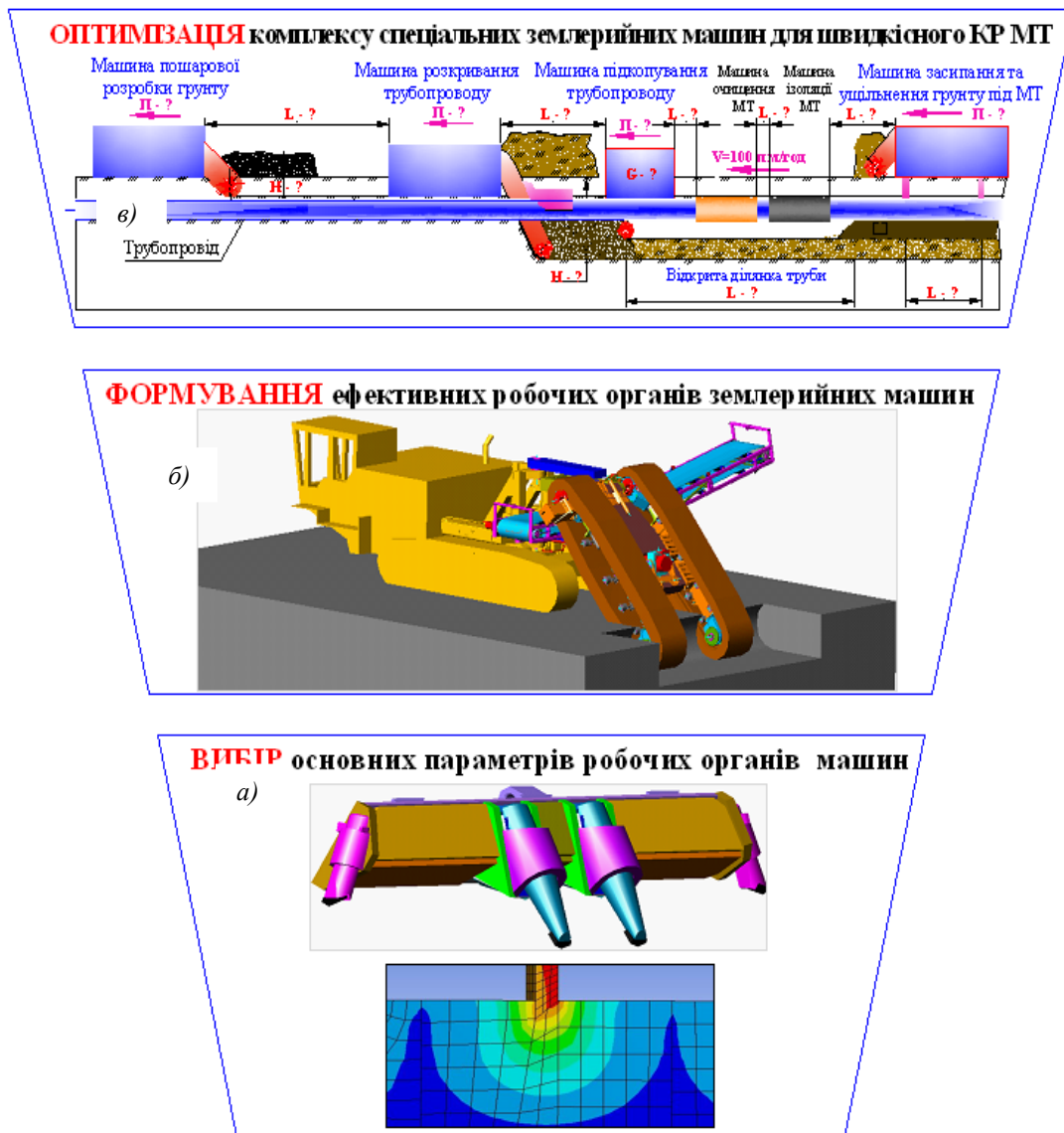


Рисунок 3 – Схема взаємодії підсистем: а) «робочий орган – ґрунт – трубопровід»; б) «машина – ґрунт – трубопровід»; в) «комплекс машин – ґрунт – трубопровід»

І навпаки, задавшись гранично-допустимими значеннями НДС трубопроводу, через напружений стан середовища стане можливим вийти на раціональні параметри РО, при яких чинитиметься мінімальний вплив робочих процесів на МТ, що дозволить безпечно виконувати роботи з капітального

ремонті МТ. Іншими словами – НДС середовища дозволить оцінити вплив РО на трубопровід та на основі цього визначити такі параметри РО, які б чинили мінімальний вплив на НДС трубопроводу.

Наступним кроком реалізації таких принципів пропонується розглядати складний просторовий вплив тягача та робочого органа (кількох РО) на середовище з урахуванням близько розташованого трубопроводу вигляді взаємодії підсистеми «машина – ґрунт – трубопровід».

І завершальною стадією роботи передбачається оцінка впливу всього комплексу землерийних машин на зміну НДС трубопроводу через взаємодію з середовищем у вигляді підсистеми «комплекс машин – ґрунт – трубопровід».

Література

1. Машины для земляных работ: Навчальний посібник / Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне - Дніпропетровськ - Харків. - 2010. 557 с.
2. Инструкция по устройству обратных засыпок грунта в стесненных местах: СН 536-81. – М.: Стройиздат, 1982. – 32 с.
3. Бобылев Л.М. Уплотнение грунтов обратных засыпок в стесненных условиях строительства. – М.: Стройиздат, 1981. – 250 с.
4. Клейн Г.К. Расчет труб, уложенных в земле. – М.: Гос. изд-во по строительству и архитектуре, 1957. – 194 с.
5. Клейн К.Г. Расчет подземных трубопроводов. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. – 239 с.
6. Кузнецов О.М. Расчет допустимой загрузки на трубопровод. – М., 1986. – 7 с. – Деп. в ЦНИИТЭстройдормаш 28.03.86, № 56-СД-86.
7. Манжелей Ю.В. и др. Механизация работ по устройству обратных засыпок в стесненных условиях. – М.: Стройиздат, 1976. – 97 с.
8. Сівко В.Й., Кузьмінець М.П. Прикладна механіка робочих процесів машин. Монографія, – К.: НТУ, 2009, – 349 с.
9. Технологія капітального ремонту магістральних нафтопроводів діаметром 530-1220 мм із заміною ізоляції без підняття трубопроводу з використанням комплексу машин підвищеної продуктивності. ВБН В.3.1-320.20077720.01-2001. – К.: НАК "Нафтогаз України", 2001. – 189 с.

УДК 625.7

Богаченко М.В., Тютюнник Я.С.

АВТОЗАПРАВНІ СТАНЦІЇ - ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІ ОБЄКТИ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ.

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, порогова маса небезпечних речовин.

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, пороговая масса опасных веществ.

Annotation. Petrol stations assigned to objects of increased production and environmental risks associated with the use of inflammable substances - fuel for cars and the possibility of accidents at them.

Key words: gas stations, accident threshold mass of hazardous substances.

Об'єктом підвищеної небезпеки називається об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру. До потенційно небезпечних об'єктів відносять об'єкти, на яких можуть використовуватися або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати, а також інші об'єкти, що за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення аварії.

Тому автозаправні станції та комплекси (АЗС та АЗК) відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки та потенційно небезпечних об'єктів. Робота АЗС пов'язана з ризиком виникнення надзвичайних ситуацій (пожежі, вибуху та ін.)

Визначення небезпечного впливу можливої пожежі (вибуху) здійснюється на основі нормативних вимог, розроблених відповідними державними органами з урахуванням найбільш небезпечних умов виникнення аварійних ситуацій.

Будь-який об'єкт господарської діяльності можуть визнати потенційно небезпечним (ПНО), якщо там використовуються небезпечні речовини. Для цього проводять ідентифікацію.

Ідентифікація ПНО передбачає аналіз структури об'єктів господарської діяльності та характеру їх функціонування для встановлення факту наявності або відсутності джерел небезпеки, які за певних обставин можуть ініціювати виникнення НС, а також визначення рівнів можливих НС.

Суб'єкт господарської діяльності ідентифікує об'єкти підвищеної небезпеки відповідно до кількості порогової маси небезпечних речовин. Нормативи порогової маси небезпечних речовин встановлюються Кабінетом Міністрів України.

Процедура ідентифікації ОПН вміщує наступні етапи:

- виділення ПНО за наявністю небезпечних речовин;
- розрахунок розподілу мас небезпечних речовин в апаратах та трубопроводах визначених ПНО;

– розрахунок сумарної маси індивідуальних небезпечних речовин або сумарної маси небезпечних речовин, що відносяться до однієї категорії і/або групи;

- порівняння сумарної маси небезпечних речовин з їх пороговою масою;
- складання Повідомлення про результати ідентифікації.

Потенційно небезпечний об'єкт вважається об'єктом підвищеної небезпеки відповідного класу у разі, коли значення сумарної маси небезпечної або декількох небезпечних речовин, що використовуються або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються на об'єкті, перевищує встановлений норматив порогової маси.

Потенційно небезпечним об'єктом вважається апарат або сукупність пов'язаних між собою потоками в технологічний цикл апаратів, об'єднаних за адміністративною та/або територіальною ознакою.

Під час проведення ідентифікації для кожного потенційно небезпечного об'єкта розраховується сумарна маса кожної небезпечної речовини із зазначених у нормативах порогових мас індивідуальних небезпечних речовин або кожної небезпечної речовини, яка за своїми властивостями може бути віднесена до будь-якої категорії або до декількох категорій небезпечних речовин згідно із зазначеними нормативами.

Процедура ідентифікації вважається закінченою, якщо виявиться, що сумарна маса хоча б однієї з усіх видів небезпечних речовин на потенційно небезпечному об'єкті дорівнює або перевищує норматив порогової маси (1):

$$\frac{g_i}{Q_i} \geq 1 \quad (1)$$

де g_i – сумарна маса небезпечної речовини, що знаходиться на об'єкті; Q_i – норматив порогової маси цієї небезпечної речовини (“Нормативи порогових мас небезпечних речовин для ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки”).

У разі, коли відстань від цього об'єкта до місць великого скупчення людей, транспортних магістралей, промислових, природоохоронних і життєво важливих цивільних об'єктів менша, ніж 500 метрів для небезпечних речовин

групи 1 і 2 або 1000 метрів для небезпечних речовин групи 3, пороговою масою вважається маса небезпечних речовин, визначена за формулою (2):

$$Q_{ik} = Q_i * \left(\frac{R_x}{R_n} \right)^2 \quad (2)$$

де Q_{ik} – норматив порогової маси небезпечних речовин для потенційно небезпечних об'єктів, розташованих від місць великого скупчення людей, транспортних магістралей, промислових, природоохоронних і життєво важливих цивільних об'єктів на відстані меншій ніж 500 метрів для небезпечних речовин групи 1 і 2 та 1000 метрів для речовин групи 3; Q_i – норматив порогової маси індивідуальних небезпечних речовин або категорій (груп) небезпечних речовин; R_x – відстань від потенційно небезпечного об'єкта до місць великого скупчення людей, транспортних магістралей, промислових, природоохоронних і життєво важливих цивільних об'єктів; R_n – гранична відстань, починаючи з якої проводиться перерахунок нормативу порогової маси (для речовин 1 і 2 групи R_n дорівнює 500 метрів, для речовин групи 3 – 1000 метрів).

У разі коли розрахована сумарна маса небезпечних речовин на потенційно небезпечному об'єкті перевищує порогову масу, визначену за цією формулою ($\Sigma g_i > Q_{ik}$), об'єкту присвоюється відповідний клас підвищеної небезпеки.

АЗС в межах міста практично завжди розташовуються на відстані меншій 500м до місць великого скупчення людей, транспортних магістралей, промислових, природоохоронних і життєво важливих цивільних об'єктів. Автомобільні бензини А-80, А-92, А-95 та дизельне паливо, які використовуються АЗС, відносяться до категорії "Горючі рідини", відповідно до нормативу порогова маса яких для 1 класу складає 50000 т, для 2 класу – 5000 т. Зазвичай місткість АЗС не перевищує 120 т небезпечних речовин.

Використавши формулу (2) було побудовано графік, який показує залежність Q_{ik} від відстані до місць великого скупчення людей, де $Q_i = 50000$ т і 5000 т для 1 та 2 класу відповідно; $R_x = 10 - 80$ м; $R_n = 500$ м.

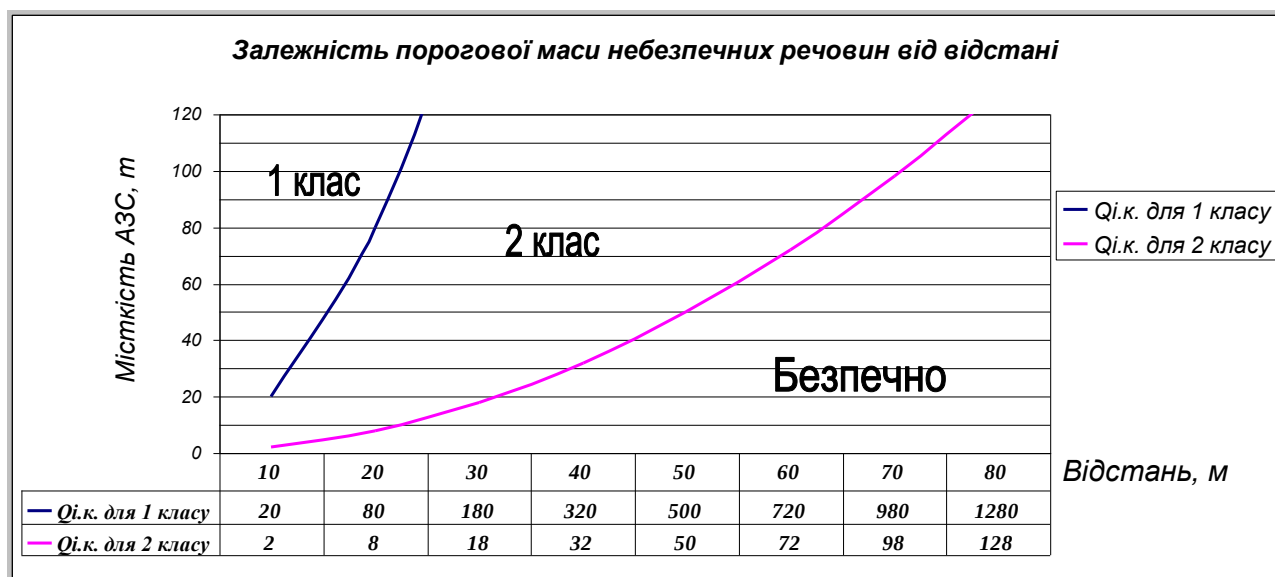


Рисунок 1 – Залежність порогової маси небезпечних речовин від відстані

Провівши такий аналіз для різних видів палива можна розробити рекомендації щодо розміщення АЗС відносно місць великого скупчення людей, транспортних магістралей, промислових, природоохоронних і життєво важливих цивільних об'єктів та можливого загального об'єму резервуарів з паливом для певного класу вибухонебезпеки.

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.

Омельчук С.К., канд. техн. наук, Масюк Е.М.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ АВТОТРАНСПОРТУ В МІСТАХ КОМСОМОЛЬСК ТА КИЇВ

Анотація. У статті проаналізовано екологічні проблеми забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Проведено дослідження якості атмосферного повітря з метою забезпечення санітарно-допустимих умов середовища, визначення розміру зеленої смуги для захисту атмосферного повітря та визначення кількості атмосферного повітря для розчинення шкідливих речовин.

Ключові слова: автомобільний транспорт, шкідливі забруднення, навколишнє середовище, дорожній рух, екологічні проблеми.

Аннотация. В статье проанализированы экологические проблемы загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта. Проведено исследование качества атмосферного воздуха с целью обеспечения санитарно допустимых условий среды, определения размера зеленой полосы для защиты атмосферного воздуха и определения количества атмосферного воздуха для растворения вредных веществ.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, вредные загрязнения, окружающую среду, дорожное движение, экологические проблемы.

Annotation. The article analyzes the environmental problems of air pollution emissions vehicles. A study of air quality to ensure the health and acceptable environmental conditions, determine the size of a green strip to protect the air and determine the amount of air to dissolve harmful substances.

Key words: road transport, harmful pollution, nvironment, traffic, environmental issues.

Основна частина

Останнім часом спостерігається швидкий ріст використання автомобільного транспорту і концентрація його в містах. Це являється причиною того, що забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автотранспорту в даний час розглядається як найбільш гостра проблема.

Автотранспорт – основний забруднювач атмосфери оксидами нітрогену NO_x (суміш оксидів нітрогену NO та NO_2) та чадним газом (оксидом карбону (2) CO), що містяться у вихлопних газах. Частка транспортного забруднення повітря становить 60% за CO та понад 50% за NO_x від загального забруднення повітря цими газами. Підвищений вміст CO та NO_x можна виявити у вихлопних газах невідрегульованого двигуна в режимі прогрівання.

Викиди шкідливих речовин автотранспортом характеризуються кількістю основних забруднювачів повітря, що потрапляють до атмосфери з вихлопних газів за певний проміжок часу. До шкідливих речовин належать: чадний газ (0,3-10% об'єму вихлопних газів); вуглеводні; паливо, яке не згоріло (до 3% об'єму), оксид нітрогену (до 8%) та сажа.

Організми здатні без шкоди для себе витримувати наявність забруднювачів у певній кількості.

Пороговий рівень забруднювача – певна концентрація, нижче за яку не спостерігається негативного впливу. Важлива не сама наявність забруднювача, а його доза, тобто добуток концентрації на експозицію. При збільшеній експозиції пороговий рівень може знизитися в 1000 разів і більше. Кожен забруднювач має свій пороговий рівень, реакція на нього окремих організмів індивідуальна. Пороговий рівень залежить від наявності інших забруднювачів або стресових чинників.

Коли забруднювачі змішуються з великим об'ємом повітря, їх концентрація може знизитися до порогового рівня. Потім внаслідок діяльності мікроорганізмів ґрунту та впливу інших природних процесів відбуваються поглинання та асиміляція забруднювачів. Деревні рослини поглинають з атмосфери 50%-60% токсичних газів, тоді як ґрунти – 5%-6%, атмосферна волога – 5%-20%, водойми та тварини – 5%. Крім того, зелені рослини виділяють у повітря леткі речовини – фітонциди, які мають антимікробні властивості. Під впливом деяких речовин, що входять до складу фітонцидів, у повітрі знижується концентрація шкідливих забруднювачів: CO – на 10%-30%, сірчистого газу – на 50%, оксидів нітрогену – на 15%-35%.

Найстійкішим і небезпечним забруднювачем атмосферного повітря, що міститься у складі вихлопних газів, є оксид карбону (2).

Ширина санітарно-захисної смуги визначається залежно від максимальної концентрації СО біля проїзної частини дороги порівняно з нормативом для даного виду забруднювача гранично допустимою концентрацією (ГДК).

Актуальність роботи полягає у вивченні стану забруднення повітря на території м. Києва та м. Комсомольська та порівнянні з іншими містами Полтавської області.

Екологічна оцінка забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автотранспорту привертає увагу багатьох спеціалістів. Останнім часом спостерігається швидкий ріст використання автомобільного транспорту і концентрація його в містах. Це є причиною того, що забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автотранспорту в даний час розглядається як найбільш гостра проблема.

Ріст числа автомобілів в місті Комсомольську і їх пробігу супроводжується збільшенням споживання моторного палива, що приводить, якщо не приймати необхідних мір, до збільшення кількості вихлопних газів і забруднення атмосферного повітря.

Вихлопні гази автотранспорту містять велику кількість різних хімічних сполук – продуктів повного і неповного згоряння пального. Серед таких сполук особливий інтерес, з точки зору гігієни, представляють: оксид вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні, сажа, альдегіди. До цього слід додати забруднення повітря вуглеводнями за рахунок бензинових двигунів, в зв'язку з випаровуванням із паливного бака, карбюратора, картерних газів. Проблема загострюється тим, що вихлопні гази автотранспорту поступають в приземний шар атмосфери, що зменшує їх розсіювання. Наявність вузьких вулиць і високих будівель являється перешкодою для розсіювання, а також сприяє накопиченню шкідливих речовин вихлопних газів автотранспорту в міському повітрі в зоні дихання пішоходів. Накопичуючись в приземному шарі атмосфери, деякі компоненти вихлопних газів беруть участь в фотохімічних реакціях і являються вихідними продуктами для утворення нових сполук, багато з яких являється ще більш небезпечними для здоров'я людини.

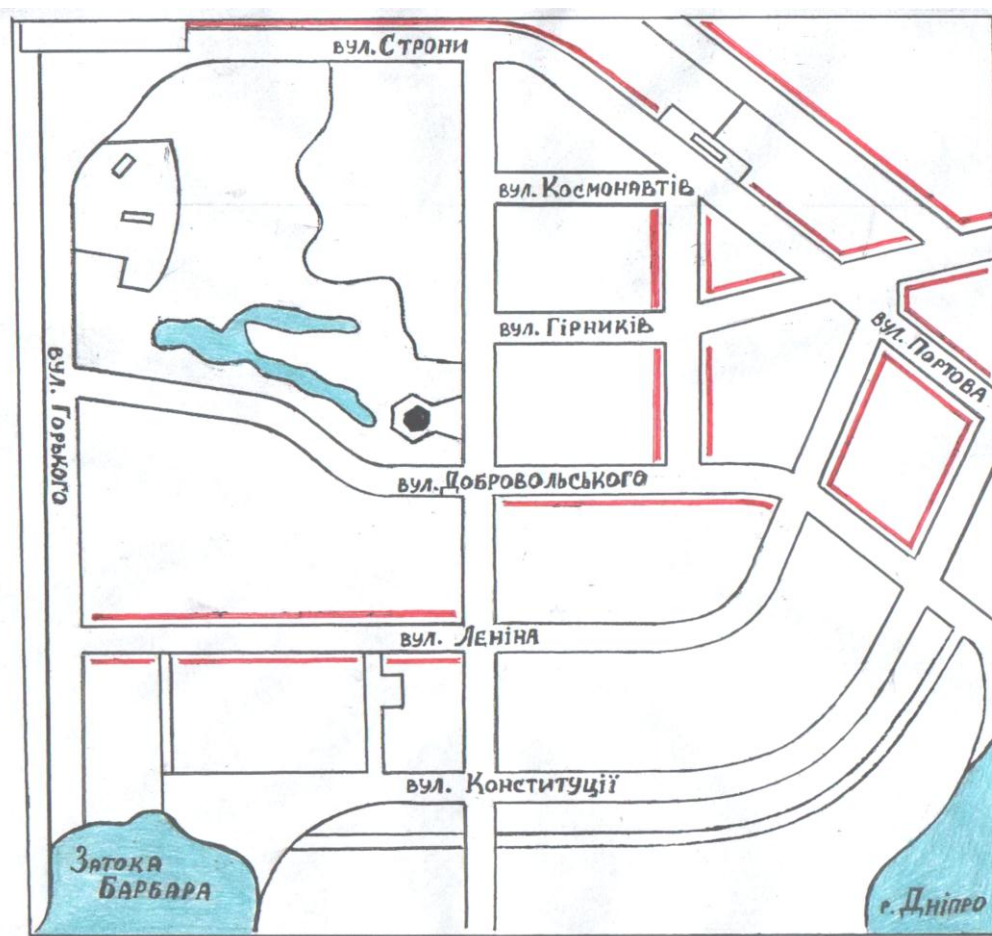
Ступінь забруднення атмосферного повітря залежить від якісного і кількісного складу вихлопних газів, інтенсивності і організації руху

автотранспорту, ширини проїзної частини вулиці, рельєфу місцевості і ряду метеорологічних умов.

Якісний і кількісний склад вихлопних газів автотранспорту в свою чергу залежить від ряду факторів: типу двигуна і особливостей конструкції, його технічного стану, потужності, режиму роботи, якості пального [3].

Є суттєва різниця у вмісті токсичних компонентів вихлопних газів карбюраторних і дизельних машин (рис. 1).

План міста Комсомольська



■ — місце де зелена смуга не відповідає санітарно-допустимим нормам

Рисунок 1

Значний вплив на вміст оксиду вуглецю в вихлопних газах має технічний стан системи живлення двигуна. Так, якщо в вихлопних газах бензинового двигуна з технічно відрегульованим карбюратором вміст оксиду вуглецю на

окремих режимах роботи не перевищує 0,5 %, то при не відрегульованому карбюратору він може досягти 10%-12% [3].

Кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах може бути якісно знижено шляхом регулювання двигуна. Так, дослідження працівників держекоінспекції та ДАІ м. Комсомольська показали, що після установки на автомобілях, які мали підвищений вміст СО в вихлопних газах (5%-6%), нових, правильно відрегульованих карбюраторів концентрація цього газу знизилася до 1,5%.

Важливо підкреслити, що зношеність двигуна не має значення і величина пробігу не являється визначальним фактором складу вихлопних газів [1, 2, 13].

Автомобілі підтримуються в нормальному стані при проведенні регулярного та технічного огляду № 2 (ТО-2), показником результативності якого являється вміст оксиду вуглецю у вихлопних газах. ТО-2 в автотранспортних підприємствах проводиться через певний час в залежності від марки автомобіля, а відрегульованість карбюратора на мінімальний вміст оксиду вуглецю, виконана при ТО-2, практично не повинна порушуватися в процесі експлуатації від одного до іншого обслуговування.

Починаючи з травня 2002 року у м. Комсомольську проводяться операції "Чисте повітря" за участю працівників держекоінспекції, ДАІ, міськвиконкому, АТП-15347 та громадських інспекторів. Перевіряються автомобілі на лінії та автотранспорт ВАТ "Рижівський гранкар'єр", "Редутський щебзавод", ВУВКГ та ВАТ "Полтавський ГЗК".

За перевищення забруднюючих речовин у викидах автотранспортних засобів на порушників, згідно зі ст. 81 Кодексу України про адміністративні правопорушення, накладається штраф у розмірі від 17 до 81 грн. За випуск на лінію автотранспортних засобів у яких вміст забруднюючих речовин у викидах перевищує встановлені норми, на посадових осіб накладається штраф у розмірі від 34 до 68 грн.

Характерною особливістю дизелів є поява в вихлопі диму (сажі) в міру збагачення суміші. Так як нормальне регулювання паливної апаратури дизеля встановлюється близьким до початку димлення, навіть невеликі порушення регулювання часто призводять до появи у вихлопних газах чорного диму. Деякі водії дизельних автомобілів, бажаючи підвищити потужність двигуна, самовільно збільшують подачу пального, не уявляючи, що збільшуючи

кількість пального на 10%, вони досягають збільшення потужності лише на 3%, а інтенсивність димлення тим часом зростає на 80 %.

Таким чином, підтримка автомобіля в нормальному технічному стані з відрегульованою системою живлення дозволяє знизити шкідливі компоненти в вихлопних газах. [14].

Деякі компоненти вихлопних газів автотранспорту, потрапляючи в приземний шар атмосфери, піддаються фотохімічним перетворенням, які залежать від інтенсивності сонячної радіації. В зв'язку з цим спостерігається сезонна і добова закономірність в забрудненні атмосферного повітря вихлопними газами автотранспорту. Так, наприклад, утворення із NO – NO₂ призводить до зниження концентрації першого оксиду, а взаємодія останнього з вуглеводнями знижує його концентрацію, в той же час має місце ріст концентрації оксидантів. Основний рух автотранспорту спостерігається з 5 до 10 год. ранку, максимальні ж кількості оксидантів спостерігається з 10 до 12 год., тобто в період найбільшої інтенсивності сонячної радіації; оксиданти відсутні в атмосферному повітрі з 6 год. вечора до 8 год. ранку. [9]

По мірі віддалення від центральних вулиць концентрація оксиду вуглецю знижується, досягаючи відносно постійних величин на відстані 30-40 м.

Для кожного із основних компонентів вихлопних газів автотранспорту є свої закономірності біологічної дії. З гігієнічної точки зору найбільш небезпечними забруднювачами як в м. Комсомольську, так і взагалі, є оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, оксиданти і сполуки свинцю.

Екологічне дослідження проводилося шляхом виконання таких дій:

1. Обрана ділянка автотраси, яку можна спостерігати з вікна, парку чи суміжної території.

2. Визначена середня довжина свого кроку та вимірюється кроками довжина ділянки (L, м).

3. Визначена кількість одиниць автотранспорту, що проходить уздовж ділянки за 20 хв. в денний та нічний час. Робляться перерахунки на 1 год.

4. Розрахований загальний шлях, який пройшли автомобілі кожного типу за 1 год. (L, км) на ділянці 50 м. за формулою:

$$L = N \cdot L,$$

де N – кількість автомобілів кожного типу, що проходять за 1 год.

L – довжина ділянки, км.

5. Розрахований загальний шлях, який пройшли автомобілі кожного типу за 1 год. (L , км) на дорогах міста за формулою:

$$L' = L \cdot M / 50,$$

де L' – загальний шлях, який пройшли автомобілі кожного типу за 1 год. на дорогах міста;

M – загальна протяжність доріг міста.

6. Зробили перерахунки на добу, за формулою:

$$D = L' \cdot 24,$$

де D – загальний шлях, який пройшли автомобілі кожного типу на дорогах міста за добу.

7. Обчислили кількість пального (Q , л) різних видів, яке спалюється при цьому у двигунах автомашин за формулою:

$$Q = D \cdot Y,$$

де Y – питома витрата пального, яка становить:

– для легкового автомобіля на кожний 1 км – 0,11-0,13 л;

– для вантажівки – 0,29-0,33 л;

– для автобуса – 0,41-0,44 л;

– для дизеля вантажного – 0,31-0,34 л.

8. Обчислили кількість виділених шкідливих речовин (V , л) для кожного виду пального.

$$V = Q \cdot K \text{ (значення коефіцієнта } K \text{ подано в таблиці 1.)}$$

Таблиця 1 – Показники забрудненості повітря шкідливими речовинами

Шкідлива речовина	Маса, г	Показник ГДК, мг/м ³	Об'єм повітря для розчинення, м ³
СО	$3054,8 \cdot 10^6$	3	$1018 \cdot 10^9$
Вуглеводні (C ₅ H ₁₂)	$539,6 \cdot 10^6$	25	$22 \cdot 10^9$
NO ₂	$637 \cdot 10^6$	0,04	$15925 \cdot 10^9$

9. Визначили маса шкідливих викидів за формулою:

$$m = V \cdot M / 22,4$$

10. Визначили кількість чистого повітря, необхідного для розчинення шкідливих речовин з метою забезпечення санітарно-допустимих умов

середовища. (При визначенні використовуються показники ГДК шкідливих речовин).

Визначення розміру зеленої смуги для захисту атмосферного повітря від викидів СО автотранспортом відбувалася таким чином.

Визначили максимальну концентрацію чадного газу за формулою:

$$[CO_{max}] = (7,33 + 0,026 \cdot N) K_1 \cdot K_2,$$

де $[CO_{max}]$ – концентрація СО біля проїжджої частини дороги, мг/м³;

N – інтенсивність руху автотранспорту в години пік, авто/год;

K_1 – коефіцієнт обліку складу транспорту та його середньої швидкості (додаток Е);

K_2 – коефіцієнт обліку впливу поздовжнього нахилу дороги, який при нахилі менш ніж 10% дорівнює 1.

У години пік $[CO_{max}]$ може в 9 разів перевищувати ГДК, тому проїжджа частина має бути розташована на відстані 0,3-0,5 км. від житлових будинків або забезпечуватися додатковими зеленими насадженнями обабіч дороги. Ширину зеленої смуги обчислили:

$$[CO_x] = 0,5 [CO_{max}] - 0,1x$$

$$x = [0,5 [CO_{max}] - [CO_x] : 0,1$$

де $[CO_x]$ – концентрація СО на відстані x від дороги у міліграмах на метр; у житловому масиві не має перевищувати ГДК, тобто 3 мг/м³.

Висновки

1. Одним із основних забруднювачів атмосферного повітря є автотранспорт.

2. У вихлопних газах автотранспорту є такі шкідливі речовини: діоксиди нітрогену, чадний газ, вуглеводні та формальдегід.

3. За добу на дорогах міста Комсомольська вантажівки проходять шлях 6528 км, вантажні дизеля – 89760 км, легкові автомобілі – 3859680 км, автобуси – 171360 км.

4. За добу на дорогах міста Києва вантажівки проходять шлях 29539296 км, вантажні дизеля – 26678160 км, легкові автомобілі – 317702088 км, автобуси – 38664 км.

5. При цьому (за добу) автотранспорт м. Комсомольська спалює 32672,64 л. дизельного та 577156,8 л. бензинового пального.

6. При цьому (за добу) автотранспорт м. Києва спалює 18818542,08 л. дизельного та 41318283,6 л. бензинового пального.

7. Щорічно на території міста Комсомольська в атмосферу разом із вихлопними газами автотранспорту викидається 3054,8 т чадного газу, 539,6 т вуглеводнів, 637,0 т діоксиду азоту (за аналогічний період минулого року цифри відповідно були нижчими: 2948,2; 482,8; 541,0)

8. Щорічно на території міста Києва в атмосферу разом із вихлопними газами автотранспорту викидається 183240 т чадного газу, 32376 т вуглеводнів, 32220 т діоксиду азоту

9. Для розчинення чадного газу в м. Комсомольську необхідно $1018 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ чистого повітря, вуглеводнів – $22 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, а оксиду азоту (2) – $15925 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.

10. Для розчинення чадного газу в м. Києва необхідно $6108 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ чистого повітря, вуглеводнів – $1295 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, а оксиду азоту (2) – $80550 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.

11. Максимальна концентрація чадного газу біля проїжджої частини дороги м. Комсомольська становить $9,5 \text{ мг/м}^3$ (хоча не повинна перевищувати 3 мг/м^3).

12. Максимальна концентрація чадного газу біля проїжджої частини дороги м. Києва становить $27,3 \text{ мг/м}^3$ (хоча не повинна перевищувати 3 мг/м^3).

13. Ширина зеленої смуги для захисту атмосферного повітря від викидів чадного газу в м. Комсомольську автотранспортом має становити 17,5 м.

14. Ширина зеленої смуги для захисту атмосферного повітря від викидів чадного газу в м. Києва автотранспортом має становити 106,5 м.

15. Реальна ширина (середнє значення) зеленої смуги Комсомольська становить лише 4-5 м.

16. Дані Головного управління статистики в Полтавській області містять цифри, що на 67,8 % по СО і 259 % по діоксиду нітрогену перевищують показники, знайдені за нашою методикою.

17. Забруднення повітря формальдегідом кожний рік збільшується в середньому в 2 рази в порівнянні з минулим роком (кількість проб вище ГДК в 2006 р. -6,5%, в 2007 р. – 17,2%, в 2008 р. – 33,3%).

18. В м. Комсомольську спостерігається найбільше автотранспортне забруднення повітря в Полтавській області.

19. Нами були розроблені рекомендації щодо покращення екологічного стану атмосферного повітря:

- ✓ проводити роз'яснювальну роботу серед водіїв і мешканців міста;
- ✓ посилити контроль інспекторів ДАІ по перевірці викидів шкідливих речовин автотранспортними засобами;
- ✓ проводити озеленення міста.

Література

1. Алексеева Н.В., Хрусталева В.А. Изучение выхлопных газов автомобилей. – М.: Гиг. и сан, 1975. – 315 с.
2. Буренин И.С. К изучению роли выхлопных газов автотранспорта в загрязнении воздушного бассейна городов. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 145 с.
3. Буштуева К.А. Руководство по гигиене атмосферного воздуха. – М.: Медицина, 1986. – 416 с.
4. Васильева А.А., Кляшицкая А.Л. Содержание карбоксигемоглобина в крови у регулировщиков уличного движения. – М.: Медицина, 1980. – 79 с.
5. Вольфсон З.Г. Предельно допустимые концентрации окиси углерода в атмосфере воздуха. – М.: Медицина, 1982. – 114 с.
6. Даценко И.И. Загрязнение атмосферного воздуха населенных мест окисью углерода за счет выхлопных газов автотранспорта. – Львов: Знание, 1987. – 74 с.
7. Даценко И.И. Нарушение углеводного обмена при интоксикации окиси углерода в эксперименте. – М.: Медицина, 1987 – 61 с.
8. Забежинский М.А. О загрязнении воздуха в городах канцерогенными веществами, выделяемыми автомобильными двигателями. – М.: Химия, 1991. – 124 с.
9. Звонов В.А., Малахов В.Н. Исследование образования окислов азота в цилиндре бензинового двигателя. – М.: Техника, 1990. – 79 с.
10. Лыкова А.С. О роли выхлопных газов автотранспорта в загрязнении больших городов. – Л.: Химия, 1989. – 210 с.
11. Рязанова Б.А. Санитарная охрана атмосферного воздуха. – М.: Медгиз, 1988. – 168 с.
12. Томсон Н.М. Загрязнение атмосферного воздуха продуктами неполного сгорания топлива и их гигиеническое значение. – М.: Химия, 1985. – 94 с.
13. Фельдман Ю.Г. Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. – М.: Медицина, 1988. – 158 с.
14. Яковлев А.Н., Монахов В.И. Бенз(а)пирен в отработавших газах дизельных двигателей. – Л.: Техника, 1987. – 132 с.
15. Статистичний щорічник Полтавської області. – Полтава: Верстка, 2003. – 163 с.
16. Статистичний щорічник Полтавської області. – Полтава: Верстка, 2008. – 387 с.

Шаповалов А.Л., канд. техн. наук

ЕКОЛОГІЧНА СИТУАЦІЯ В ПІВНІЧНОМУ РЕГІОНІ ТА КИЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ УКРАЇНИ

Анотація. У статті зроблена кількісна оцінка екологічної ситуації якості життя населення в Північному регіоні та Київській області по екологічній карті, що розроблена Інститутом географії НАН України. Це дозволило встановити рейтинг адміністративних областей та регіонів України по показнику екологічної ситуації.

Ключові слова: антропогенні фактори, екологічна ситуація, модальна оцінка, кількісна оцінка, екологічні карти.

Аннотация. В статье выполнена количественная оценка экологической ситуации качества жизни населения в Северном регионе и Киевской области по экологической карте, разработанной Институтом географии НАН Украины. Это позволило определить рейтинг административных областей и регионов Украины по показателю экологической ситуации.

Ключевые слова: антропогенные факторы, экологическая ситуация, модальная оценка, количественная оценка, экологические карты.

Annotation. The quantitative estimation of ekologicheskoy situation, which forms quality of life of population in a north region and Kievan area on an ecological map, geography of NAN of Ukraine developed Institute, is executed in the article. It allowed to define rating of administrativnykh areas and regions of Ukraine on the index of ecological situation.

Key words: anthropogenic factors, ecological situation, modal estimation, quantitative estimation, ecological maps.

Розробник карти “Україна. Екологічна ситуація” – Інститут географії Національної академії наук України (НАНУ) під екологічною ситуацією розуміє стан суспільно-природних відносин, що проявляються в якості

геосистеми, яка створює середовище життя на певному етапі їх розвитку. Іншими словами, екологічна ситуація – це результат дії природних і антропогенних факторів у регіоні, що формує якість життя на певний час [1].

Екологічна ситуація регіону формується під впливом закономірностей розвитку природи та суспільства в процесі природокористування. Вона включає властивості й характеристики компонентів природи та наслідки суспільно-природної взаємодії. Разом вони й визначають умови функціонування живих організмів. Природний аспект розкривається через кількісні та якісні показники стану навколишнього природного середовища та його окремих компонентів. Соціальний аспект екологічної ситуації визначається в накопиченні й інтенсивній міграції речовин техногенного походження, зростання їхньої ролі, нерідко визначальної, у формуванні нової якості умов життя, утворенні величезних обсягів різних відходів виробництва, активізація несприятливих природно-техногенних процесів. Існуючі відмінності в природних та соціально-економічних умовах України - диференціація структури виробництва. Особливо добувної промисловості, інтенсивне та нераціональне використання природних ресурсів, недосконалість технологій зумовили і певні зміни у прояві специфічних регіональних еколого-географічних проблем. Особливо складні проблеми виникли у регіонах давнього та інтенсивного освоєння. В Україні, що мала в цілому сприятливі умови життя, розвинулись негативні процеси та явища, що проявляються в якісному стані компонентів природи. Посилюються радіаційне, хімічне, теплове, електромагнітне та інші види забруднень, що значною мірою впливають на рівень життя організмів, в тому числі людини, в першу чергу на її здоров'я та тривалість життя [1].

На стан екологічної ситуації в регіонах України впливає також прояв еколого-географічних проблем. Серед них для України характерними є:

- зменшення запасів корисних копалин (вичерпання ресурсів, зниженню їх якості й розмаїття, небезпека порушення середовища внаслідок добування корисних копалин тощо);
- зміна структури земельних ресурсів унаслідок вилучення земель під господарські потреби й забудови, а також через розвиток негативних процесів у ландшафтах (ерозії, абразії, карсту, суфозії та просідання ґрунтів, підтоплення, засушування і заболочення тощо);
- зменшення запасів і забруднення поверхневих та підземних вод унаслідок посиленого водозабору;

- забруднення повітря та зміна його складу внаслідок промислового та інших викидів у атмосферу;
- скорочення рослинного та тваринного світу та зміни в генофонді;
- зменшення біологічної продуктивності ландшафтів.

Перелічені проблеми є проявом наслідків суспільно-природної взаємодії, тому їх слід розглядати як важливі фактори формування екологічної ситуації.

Екологічні карти – це карти співвідношень організмів і навколишнього природного середовища, у якому ці організми знаходяться. Оскільки існує різноманітність живих організмів, то й екологічні карти різні за змістом. Найактуальнішими є карти цього середовища, в якому проживає населення, - це карти екологічної ситуації. На них відображають не тільки зміни навколишнього природного середовища, але й їх наслідки, особливо вплив на стан здоров'я людини [1]. Екологічне картографування як загальний підхід у дослідженні територіальних відмін в умовах життєдіяльності населення досить репрезентоване у системі інших методів оцінки екологічної ситуації [1].

Кафедрою вишукувань і проектування доріг та аеродромів дорожньо-будівельного факультету ХНАДУ запропонована кількісна оцінка якості життя населення в балах в залежності від екологічної ситуації території по екологічній карті Інституту географії НАН України [2-4].

Так, для умов проживання населення на “сприятливих” територіях за методикою ХНАДУ даємо оцінку 5 балів, “помірно сприятливих” – 4 бали, “задовільних” – відповідно 3 бали, “погіршених” – 2,5 бали, “напружених” – 2 бали та “катастрофічних” (зони відчуження ЧАЕС) – 1 бал (див. табл. 1).

По екологічній карті “Україна. Екологічна ситуація” Інституту географії НАН України за допомогою палеток ми встановили виміряні площі ділянок (плям) на карті з різними модальними оцінками НАН і відповідними балами ХНАДУ та занесли їх значення в колонку 3 таблиці 1. Сума виміряних площ склала 592000 км², що менше ніж площа території України на -12000 км². Похибка вимірів площі склала мінус 2 %, що є задовільним. Тому розподіляємо похибку прямо пропорційно величинам виміряних площ з різними модальними оцінками НАН і відповідними балами ХНАДУ з протилежним знаком +12000 км² з точністю до 100 км². виправлені площі з різними модальними оцінками і відповідними балами заносимо в колонку 4 таблиці 1. Для виправлених площ підраховуємо їх долю від площі території України та заносимо в колонку 5 таблиці 1. Далі підраховуємо добуток балів ХНАДУ на

долю площ з різними модальними оцінками, заносимо в колонку 6 таблиці 1 та складаємо їх разом. Отримані дані для зручності заносимо в таблицю 1 [2-4].

Таблиця 1- Оцінка екологічної ситуації в Україні

Модальна оцінка НАН України	Бали ХНАДУ (X_i)	Площа території (f_i), км ²		Доля площі (P_i), %	$\frac{X_i \cdot P_i}{100}$
		виміряна	виправлена		
1	2	3	4	5	6
Сприятлива	5,0	33000	33500	5,55	0,278
Помірно сприятлива	4,0	188100	192100	31,80	1,272
Задовільна	3,0	213100	218100	36,11	1,083
Погіршена	2,5	120000	122000	20,20	0,505
Напружена	2,0	37000	37500	6,21	0,124
Катастрофічна	1,0	800	800	0,13	0,001
Всього:	-	592000	604000	100,00	3,263

Висновок

Екологічна ситуація умов проживання населення в Україні за модальною оцінкою НАН характеризується між “помірно сприятливою” та “задовільною”, а за кількісною оцінкою ХНАДУ дорівнює 3,26 балам. Таким же чином була підрахована екологічна ситуація по областях України. Ці значення коливаються від 2,40 балів (Дніпропетровська) до 3,86 балів (Закарпатська).

Україна умовно поділена на 5 регіонів близьких за площею, природних умов, історії розвитку та ментальності населення. До Північного регіону України віднесені Житомирська, Київська, Чернігівська та Сумська області.

Нижче в таблиці 2 наведена оцінка екологічної ситуації в Північному регіоні України за методикою ХНАДУ.

По карті “Україна. Екологічна ситуація” Інституту географії НАН України ми встановили площі областей Північного регіону України з різними модальними оцінками НАН і балами ХНАДУ та занесли їх в таблицю 2.

Таблиця 2 - Оцінка екологічної ситуації в Північному регіоні України за методикою ХНАДУ

№	Області	Площа території (f_i), км ²	Доля площі (P_i), %	Бали ХНАДУ (X_i)	$\frac{X_i \cdot P_i}{100}$
1	2	3	4	5	6
1	Житомирська	29,9	26,1	3,38	0,882
2	Київська	28,9	25,2	2,88	0,726
3	Чернігівська	31,9	27,9	3,86	1,077
4	Сумська	23,8	20,8	3,60	0,749
-	Всього	114,5	100,0	3,43	3,434

Таким чином ми можемо оцінити екологічну ситуацію в регіонах України. Найкращий стан екологічної ситуації в Північному регіоні – в Чернігівській області (3,86 бали) та в Сумській області (3,60 бали), що відповідає модальній оцінці НАН України між ”помірно сприятливою” та “задовільною”. Найскладніша екологічна ситуація – в Київській області (2,88 бали), що відповідає модальній оцінці НАН України між “задовільною” та “погіршеною”.

Висновок. Екологічна ситуація в Північному регіоні України за модальною оцінкою НАН характеризується між “помірно сприятливою” та “задовільною”, а за кількісною оцінкою ХНАДУ дорівнює 3,434 балам.

Методика ХНАДУ дозволяє кількісно оцінити техногенну безпеку областей та регіонів. Отримані результати можна використати в управлінських, природоохоронних заходах екологічними, адміністративними, а також громадськими організаціями для покращення екологічної ситуації в областях і регіонах України.

Література

1. Україна. Екологічна ситуація. Карта.- Київ: Укргеодезкартографія, 1996.- 10 с.
2. Шаповалов А.Л. Промекологія.- Харків: Вид. ХНАДУ, 2006.- 80 с.
3. Шаповалов А.Л. Оцінка якості життя населення регіонів України. - Харків: Вестник ХНАДУ, 2010, Випуск 48. - С. 135-139.

УДК 656.13.05

Дудніков О.М., канд. техн. наук

ОСНОВНІ РІВНЯННЯ БАГАТОРЯДНОГО ЩІЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ ЗА ХАРАКТЕРНИМИ ДОРОЖНЬО- ТРАНСПОРТНИМИ СИТУАЦІЯМИ

Анотація. У статті синтезовані основні рівняння багаторядного щільного транспортного потоку за характерними дорожньо-транспортними ситуаціями з урахуванням виконання умови адекватного сприйняття відносного між собою руху рядів з можливістю виконання екстреного гальмування для порівняння швидкостей відповідних транспортних засобів з сусідніх рядів руху. Розроблені основні рівняння забезпечують можливість їх подальшого розвитку до рівнянь забезпечення безпеки руху багаторядних щільних транспортних потоків.

Ключові слова: безпеки руху, дорожньо-транспортна ситуація.

Аннотация. В статье синтезированные основные уравнения многорядного плотного транспортного потока для характерных дорожно-транспортных ситуаций с учетом выполнения условия адекватного восприятия относительного между собой движения рядов с возможностью выполнения экстренного торможения для выравнивания скоростей соответствующих транспортных средств из соседних рядов движения. Разработанные основные уравнения обеспечивают возможность их дальнейшего развития в уравнения обеспечения безопасности движения многорядных плотных транспортных потоков.

Ключевые слова: безопасности движения, дорожно-транспортная ситуация.

Annotation. In article the synthesized main equations there is a lot of ryadny dense transport stream for characteristic road and transport situations taking into account performance of a condition of adequate perception relative among themselves movement of ranks with possibility of performance of emergency braking for alignment of speeds of the corresponding vehicles from the next ranks of movement. The developed main equations provide possibility of their further development in the equations of safety of movement many ryadny dense transport streams.

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 [1,2]. 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 багаторядного щільного транспортного потоку, який спостерігається певний час на відповідній довжині ділянки дороги:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{L1} \pm \frac{n_{p1-2}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{L1} - q_{L01} \cdot \bar{V}_{L01} \right] = N_{1,1} \cdot \bar{V}_{1,1} - N_{2,1} \cdot \bar{V}_{2,1} + \bar{a}_{L1}, \\ \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{L2} \pm \frac{n_{p1-2}}{L} \pm \frac{n_{p2-3}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{L2} - q_{L02} \cdot \bar{V}_{L02} \right] = N_{1,2} \cdot \bar{V}_{1,2} - N_{2,2} \cdot \bar{V}_{2,2} + \bar{a}_{L2}, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{L}{\Delta t} \left[\left(q_{Lm} \pm \frac{n_{pm}}{L} \right) \cdot \bar{V}_{Lm} - q_{L0m} \cdot \bar{V}_{L0m} \right] = N_{1,m} \cdot \bar{V}_{1,m} - N_{2,m} \cdot \bar{V}_{2,m} + \bar{a}_{Lm}, \\ \sum_{r=1}^m N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\ \sum_{r=1}^m N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \\ q_{L0r} \geq \frac{1}{6,5 \cdot e^{0,009 \cdot \bar{V}_{CB}}}, \\ \bar{V}_{Lr} = \frac{\bar{V}_{L0r}}{\left(\frac{q_{Lr}}{a} \right)^3 + 1} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{q_{Lr}}{q_{\max}} \cdot m \right)^2}. \end{array} \right. \quad (1)$$

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

поток 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 $t = \Delta t$; n_{p_m} - кількість транспортних засобів, що маневрують зміною відповідних сусідніх смуг руху, потрапляють або виходять зі складу однорядного транспортного потоку на досліджуваній ділянці дороги за час спостереження Δt ; $N_{1\Sigma}$, $N_{2\Sigma}$ - усереднені значення сумарних інтенсивностей руху багаторядного транспортного потоку у перетинах 1 та 2 на межі досліджуваної ділянки дороги, які отримані за час спостереження Δt за всіма смугами руху m ; $\bar{V}_{1\Sigma}$, $\bar{V}_{2\Sigma}$ - 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 ; $q_{\max}$ - максимальна щільність транспортного потоку на окремій смузі руху, авт./км; a - константа, що приймає наступні значення [4]: для чотирьох смугових доріг $a = 90$ од., а для шістьох смугових $a = 135$ од.

В синтезованому понятті безпеки руху багаторядного транспортного потоку передбачається виникнення конфлікту в межах дорожньо-транспортної ситуації, що склалася на певній довжині дороги або в межах території сприйняття багаторядного руху відповідним водієм, де виникає помилка учасника руху та створюється правова конфліктна ситуація, тому необхідно з застосуванням мікроскопічного підходу проаналізувати вказане явище на предмет можливості синтезу теоретичних основ для забезпечення вимог поняття безпеки руху.

Сприйняття дорожньо-транспортної ситуації передбачає послідовну оцінку взаємодії кожного окремого учасника дорожнього руху з іншими, що знаходяться в межах вказаної дорожньо-транспортної ситуації на ділянці дороги.

В умовах руху багаторядних транспортних потоків на ділянці дороги визначеної довжини відносно окремого учасника дорожнього руху складаються певні типові випадки сумісної взаємодії на мікроскопічному рівні аналізу, що вказані на рис. 1.

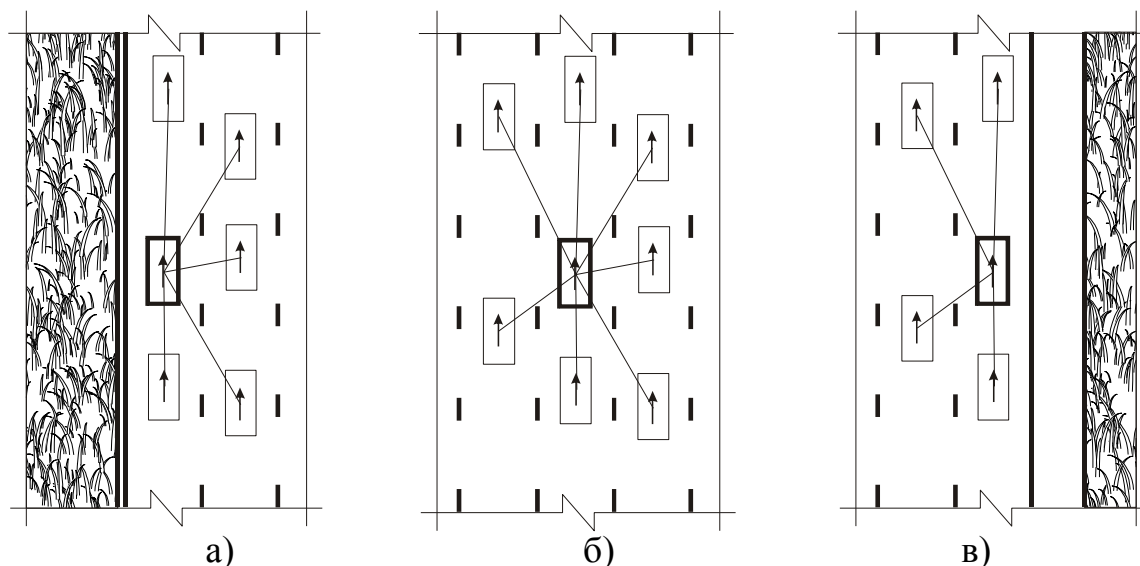


Рисунок 1 – Випадки сумісної взаємодії окремого транспортного засобу з іншими в умовах дорожньо-транспортної ситуації на ділянці дороги в умовах руху багаторядних щільних транспортних потоків.

З урахуванням особливостей сприйняття водієм наявної навколишньої дорожньо-транспортної ситуації на відповідній смузі руху головну увагу серед транспортних засобів своєї смуги руху водій приділяє двом транспортним засобам, одному, що рухається попереду та другому, що рухається позаду, шляхом контролю відповідних дистанцій.

Інші транспортні засоби, які рухаються по сусіднім смугам, водій сприймає на відстанях, що відповідають вказаним дистанціям та звертає на них особливу увагу при підготовці маневру зміни смуги свого руху.

З застосуванням (1) можливо записати системи рівнянь, що описують стани для однорядних транспортних потоків за схемами рис. 1, з урахуванням того, що для смуги, де рухає досліджуваний транспортний засіб необхідна наявність трьох автомобілів, звідки знаходимо необхідну довжину досліджуваної ділянки дороги та відповідні межі дорожньо-транспортної ситуації, яка моделюється, за відповідними сусідніми рядами руху. Надалі, запишемо умови формування дорожньо-транспортних ситуацій за синтезованими раніш трьома випадками розташування транспортного засобу відповідного ряду руху на ділянці дороги визначеної довжини. Довжина ділянки дороги не повинна бути меншою за відстань, де рухають передній та задній транспортні засоби відносно транспортного засобу, за яким формується аналіз дорожньо-транспортної ситуації.

Для випадку дорожньо-транспортної ситуації рис. 1 а) можливо записати:

$$\left\{ \begin{aligned}
 & n_{Lm} \pm n_{pm} = 3, \\
 & n_{L(m-1)} \pm n_{p_{m-(m-1)}} \pm n_{p_{(m-1)-(m-2)}} = \frac{\Delta t}{\bar{V}_{L(m-1)}} \cdot \left(N_{1,(m-1)} \cdot \bar{V}_{1,(m-1)} - N_{2,(m-1)} \cdot \bar{V}_{2,(m-1)} + \bar{a}_{L(m-1)} \right) + \frac{\bar{V}_{L_0(m-1)}}{\bar{V}_{L(m-1)}} \cdot \frac{n_{L_0(m-1)}}{L}, \\
 & L = \frac{n_{L_0m}}{\frac{\bar{V}_{Lm}}{\bar{V}_{L_0m}} \left[3 - \frac{\Delta t}{\bar{V}_{Lm}} \cdot \left(N_{1,m} \cdot \bar{V}_{1,m} - N_{2,m} \cdot \bar{V}_{2,m} + \bar{a}_{Lm} \right) \right]}, \\
 & \sum_{r=m-1}^m N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{2} \sum_{r=m-1}^m \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\
 & \sum_{r=m-1}^m N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{2} \sum_{r=m-1}^m \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}. \\
 & n_{L_0m} = 1, 2, 3. \\
 & \frac{1}{t_{o(r+1)} \cdot q_{L(r+1)}} \geq A - B, \\
 & A = \frac{q_{L_0(r+1)} \cdot \bar{V}_{L_0(r+1)} + \frac{\Delta t}{L} \left(N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)} \right)}{q_{L(r+1)} \pm \frac{n_{p_{r-(r+1)}}}{L} \pm \frac{n_{p_{r-(r+2)}}}{L}}, \\
 & B = \frac{q_{L_0r} \cdot \bar{V}_{L_0r} + \frac{\Delta t}{L} \left(N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{Lr} \right)}{q_{Lr} \pm \frac{n_{p_{r-(r+1)}}}{L}}, \\
 & q_{L_0r} \geq \frac{1}{6,5 \cdot e^{0,009 \cdot \bar{V}_{CB}}}, \\
 & \bar{V}_{Lr} = \frac{\bar{V}_{L_0r}}{\left(\frac{q_{Lr}}{a} \right)^3 + 1} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{q_{Lr}}{q_{\max}} - m \right)^2}.
 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Для випадку дорожньо-транспортної ситуації рис. 1 б) можливо записати:

$$\left\{ \begin{aligned}
 & n_{Lr} \pm n_{pr} = 3, \\
 & n_{L(r-1)} \pm n_{pr-(r-1)} \pm n_{p(r-1)-(r-2)} = \frac{\Delta t}{\bar{V}_{L(r-1)}} \cdot \left(N_{1,(r-1)} \cdot \bar{V}_{1,(r-1)} - N_{2,(r-1)} \cdot \bar{V}_{2,(r-1)} + \bar{a}_{L(r-1)} \right) + \frac{\bar{V}_{L0(r-1)}}{\bar{V}_{L(r-1)}} \cdot \frac{n_{L0(r-1)}}{L}, \\
 & n_{L(r+1)} \pm n_{pr-(r+1)} \pm n_{p(r+1)-(r+2)} = \frac{\Delta t}{\bar{V}_{L(r+1)}} \cdot \left(N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)} \right) + \frac{\bar{V}_{L0(r+1)}}{\bar{V}_{L(r+1)}} \cdot \frac{n_{L0(r+1)}}{L}, \\
 & L = \frac{n_{L0r}}{\frac{\bar{V}_{Lr}}{\bar{V}_{L0r}} \left[3 - \frac{\Delta t}{\bar{V}_{Lr}} \cdot \left(N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{Lr} \right) \right]}, \\
 & \sum_{r-1}^{r+1} N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{3} \sum_{r-1}^{r+1} \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\
 & \sum_{r-1}^{r+1} N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{3} \sum_{r-1}^{r+1} \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \\
 & n_{L0r} = 1, 2, 3, \\
 & \frac{1}{t_{0(r+1)} \cdot q_{L(r+1)}} \geq A - B, \\
 & A = \frac{q_{L0(r+1)} \cdot \bar{V}_{L0(r+1)} + \frac{\Delta t}{L} \left(N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)} \right)}{q_{L(r+1)} \pm \frac{n_{pr-(r+1)}}{L} \pm \frac{n_{pr-(r+2)}}{L}}, \\
 & B = \frac{q_{L0r} \cdot \bar{V}_{L0r} + \frac{\Delta t}{L} \left(N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{Lr} \right)}{q_{Lr} \pm \frac{n_{pr-(r+1)}}{L}}, \\
 & q_{L0r} \geq \frac{1}{6,5 \cdot e^{0,009 \cdot \bar{V}_{CB}}}, \\
 & \bar{V}_{Lr} = \frac{\bar{V}_{L0r}}{\left(\frac{q_{Lr}}{a} \right)^3 + 1} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{q_{Lr}}{q_{\max}} - m \right)^2}.
 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Для випадку дорожньо-транспортної ситуації рис. 1 в) можливо записати:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 n_{L1} \pm n_{p1} = 3, \\
 n_{L2} \pm n_{p1-2} \pm n_{p2-3} = \frac{\Delta t}{\bar{V}_{L2}} \cdot (N_{1,2} \cdot \bar{V}_{1,2} - N_{2,2} \cdot \bar{V}_{2,2} + \bar{a}_{L2}) + \frac{\bar{V}_{L02}}{\bar{V}_{L2}} \cdot \frac{n_{L02}}{L}, \\
 L = \frac{n_{L01}}{\frac{\bar{V}_{L1}}{\bar{V}_{L01}} \left[3 - \frac{\Delta t}{\bar{V}_{L1}} \cdot (N_{1,1} \cdot \bar{V}_{1,1} - N_{2,1} \cdot \bar{V}_{2,1} + \bar{a}_{L1}) \right]}, \\
 \sum_{r=1}^2 N_{1,r} = N_{1\Sigma}, \quad \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \bar{V}_{1,r} = \bar{V}_{1\Sigma}, \\
 \sum_{r=1}^2 N_{2,r} = N_{2\Sigma}, \quad \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \bar{V}_{2,r} = \bar{V}_{2\Sigma}, \\
 n_{L0m} = 1, 2, 3, \\
 \frac{1}{t_{o(r+1)} \cdot q_{L(r+1)}} \geq A - B, \\
 A = \frac{q_{L0(r+1)} \cdot \bar{V}_{L0(r+1)} + \frac{\Delta t}{L} (N_{1,(r+1)} \cdot \bar{V}_{1,(r+1)} - N_{2,(r+1)} \cdot \bar{V}_{2,(r+1)} + \bar{a}_{L(r+1)})}{q_{L(r+1)} \pm \frac{n_{p_{r-(r+1)}}}{L} \pm \frac{n_{p_{r-(r+2)}}}{L}}, \\
 B = \frac{q_{L0r} \cdot \bar{V}_{L0r} + \frac{\Delta t}{L} (N_{1,r} \cdot \bar{V}_{1,r} - N_{2,r} \cdot \bar{V}_{2,r} + \bar{a}_{Lr})}{q_{Lr} \pm \frac{n_{p_{r-(r+1)}}}{L}}, \\
 q_{L0r} \geq \frac{1}{6,5 \cdot e^{0,009 \cdot \bar{V}_{CB}}}, \\
 \bar{V}_{Lr} = \frac{\bar{V}_{L0r}}{\left(\frac{q_{Lr}}{a} \right)^3 + 1} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{q_{Lr}}{q_{\max}} \cdot m \right)^2}.
 \end{array} \right. \quad (4)$$

У (2)...(4) t_0 - загальний середній час необхідний для забезпечення виконання маневру попередження виникнення аварійно-небезпечної ситуації, шляхом застосування екстреного гальмування зі зниженням швидкості до швидкості руху однорядного транспортного потоку, по якому проводиться аналіз [5].

З застосуванням отриманих залежностей (2)...(4) можливо розкрити кількісні характеристики схем взаємодій транспортних засобів у дорожньо-транспортних ситуаціях, що визначаються для окремого транспортного засобу відповідного ряду руху з урахуванням наявності одного транспортного засобу попереду та позаду на смузі руху. Синтезовані залежності уособлюють математичні теоретичні основи для розкриття безпеки руху багаторядних щільних транспортних потоків на мікроскопічному рівні дослідження за характерними дорожньо-транспортними ситуаціями.

Висновок

У роботі синтезовані основні рівняння багаторядного щільного транспортного потоку за характерними дорожньо-транспортними ситуаціями з урахуванням виконання умови адекватного сприйняття відносного між собою руху рядів з можливістю виконання екстреного гальмування для порівняння швидкостей відповідних транспортних засобів з сусідніх рядів руху. Розроблені основні рівняння забезпечують можливість їх подальшого розвитку до рівнянь забезпечення безпеки руху багаторядних щільних транспортних потоків.

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. Основне рівняння багаторядного щільного транспортного потоку на ділянці дороги визначеної довжини / О.М. Дудніков // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник / НТУ. – К.: НТУ, 2012. – Випуск . – С. 236 – 243.
- 4) Красников А.Н. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах / А.Н. Красников. – М.: Транспорт, 1988. – 111 с.
- 5) Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Э.Р. Домке. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 288 с.

Єресов В.І., канд. техн. наук, Дідківська Л.С., канд. техн. наук

ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГНУЧКОГО СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Анотація. У статті наведено основні етапи визначення області ефективного застосування гнучких методів світлофорного регулювання в умовах нестаціонарності параметрів транспортного потоку з врахуванням економічної складової проекту. Проведено порівняння діючих рекомендацій по впровадженню таких методів з результатами здійсненого дослідження.

Ключові слова: гнучкі методи світлофорного регулювання, інтенсивність, транспортна затримка, співвідношення зиск-витрати, допустима вартість інтелектуальної транспортної системи.

Анотация. В статье показаны основные этапы определения области эффективного применения гибких методов светофорного регулирования в условиях нестационарности параметров транспортного потока с учетом экономической составляющей проекта. Сделано сравнение действующих рекомендаций по внедрению таких методов с результатами проведенного исследования.

Ключевые слова: гибкие методы светофорного регулирования, интенсивность, транспортная задержка, соотношение выгоды-затраты, допустимая стоимость интеллектуальной транспортной системы.

Annotation. The article shows main steps to define the scope of effective application of the flexible methods of signal control in the environment of traffic parameters nonstationarity with a glance at economic component of the project. Active recommendations on implementing such methods are compared with the results of the research.

Key words: flexible methods of signal control, traffic intensity, traffic delay, benefits costs ratio, allowable cost of intellectual transport system.

Транспортна ситуація в містах-мільйонниках наразі є вкрай напруженою. Дана проблема постала перед їх жителями приблизно два десятиліття тому і на мінімізацію її негативних наслідків спрямовані передові технології та новітні розробки у галузі науки і техніки. У той же час сучасний етап розвитку електроніки, інформатики і обчислювальної техніки надав можливості комплексного вирішення транспортної проблеми на всіх рівнях її впливу, що проявилось у виникненні нової ідеологічної концепції, яка отримала назву «інтелектуальні транспортні системи». Термін «інтелектуальні транспортні системи» (ІТС) у даний час характеризує комплекс інтегрованих засобів керування дорожнім рухом і перевезеннями, застосовуваних для рішення усіх видів транспортних проблем на основі високих технологій, методів моделювання транспортних процесів, організації інформаційних потоків у реальному режимі часу. ІТС створюються на основі існуючих автоматизованих систем керування дорожнім рухом, систем керування рухом маршрутного транспорту, автоматизованих систем виявлення дорожньо-транспортних подій, систем маршрутної навігації, інформаційних систем керування дорожньою мережею й іншими підсистемами керування дорожнім рухом і перевезеннями.

Розширена концепція управління в ІТС передбачає обов'язкове виконання таких функцій, як моніторинг характеристик транспортних потоків і показників якості функціонування вулично-дорожньої мережі, динамічний вибір маршруту руху й інформаційне забезпечення в реальному режимі часу при проходженні маршруту. Усі ці функції по суті справи спрямовані на підвищення ефективності реалізації головної переваги автомобільного транспорту - організацію перевезень за принципом «від дверей до дверей»

Одним з найбільш популярних і ефективних методів управління транспортними і пішохідними потоками у містах є світлофорне регулювання (СФР). Варто зазначити, що 99 % світлофорних об'єктів в Україні сьогодні працюють у програмному (жорсткому) режимі в умовах незамкненого контуру управління, тобто без врахування реальних змін у поточному часі (тобто – нестационарності) параметрів транспортного потоку. При цьому існуючі критерії якості управління, такі як непродуктивні транспортні затримки, кількість транспортних засобів у черзі також не враховують показників нестационарності потоків.

В рамках концепції ІТС задачі подібних підсистем мають реалізовуватися методами гнучкого (адаптивного) регулювання, що мають замкнений контур

управління за рахунок наявності детекторів транспорту і здійснюють в режимі «on line» розрахунок оптимізуючих параметрів управління.

З іншого боку впровадження гнучких методів світлофорного регулювання (ГМР), як функціональних елементів інтелектуальної транспортної системи, пов'язане зі значними фінансовими витратами (детектори транспорту, монтаж, налагодження і т.п.), отже потребують окремого техніко-економічного обґрунтування та дослідження умови їх ефективного функціонування.

В роботі [1] було наведено результати дослідження, що показало подовження тривалості кореляційного зв'язку між випадковими подіями процесу надходження транспортних засобів при зростанні завантаження дороги рухом, що вказує на підвищення рівня стаціонарності процесу. На практиці це буде виражено у зростанні імовірності повтору кількості транспортних засобів, що надійдуть до стоп-лінії за одиницю часу. Натомість при застосування ГМР тривалість фаз для кожного напрямку руху при невисоких значеннях коефіцієнту завантаження дороги рухом z буде змінюватися щоразу, а при стабілізації характеру надходження транспортних засобів імовірність повтору тривалостей фаз для напрямку зростатиме і буде близьким за значенням до розрахованого для жорстких методів регулювання (ЖМР). Натомість, при використанні ЖМР при малих значеннях завантаження дороги рухом z фази будуть мало насиченими. Значення завантаження дороги рухом визначається як:

$$Z = \frac{N}{P}. \quad (1)$$

N – фактична інтенсивність, авт/год; P – пропускна здатність напрямку або елемента дороги, авт/год.

Оцінка техніко-економічної ефективності здійснена на прикладі чотиристороннього перехрестя в умовах однорядного руху в кожному напрямку для різних значень коефіцієнта завантаження рухом (1).

Рекомендації щодо впровадження того чи іншого виду СФР зазвичай подаються через співвідношення величин інтенсивностей на головній та другорядній дорозі. Пропонується розглядати транспортні засоби як рівноправні без надання пріоритетності одному з напрямків і визначати якість регулювання транспортних потоків через сумарну або середню затримку транспортних засобів на перехресті.

У ролі технологічного алгоритму ГМР розглядався алгоритм *порівняння концентрації транспорту на напрямку з зеленим сигналом з затримкою на напрямку з червоним сигналом*, що побудований за принципом мінімізації сумарних затримок [2].

Розрахунки затримок при моделюванні роботи перехрестя за умов функціонування гнучких та жорстких методів виконувались паралельно для кожного значення сумарної годинної інтенсивності перехрестя $\sum N_{\pi}$ в декілька етапів. Це дозволило оцінити розмір скорочення середньої затримки $\Delta \bar{d}$ та сумарної затримки транспортних засобів на перехресті $\Delta \sum d_{\pi}$ приведені до одиниці часу при застосуванні ГМР за розробленим автором алгоритмом [1]. Нижче наведено результати розрахунків, що ілюструють скорочення середньої $\Delta \bar{d}$ та сумарної тривалості затримок $\Delta \sum d_{\pi}$.

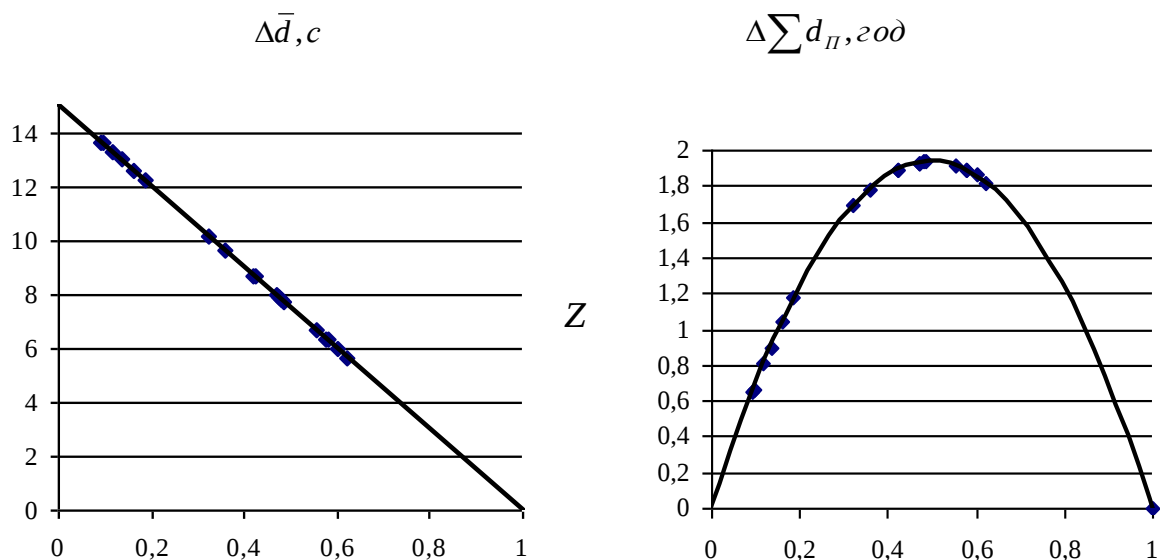


Рисунок 1 – Графік залежності скорочення середньої $\Delta \bar{d}$ та сумарної затримки $\Delta \sum d_{\pi}$ транспортних засобів в залежності від рівня завантаження перехрестя рухом Z при функціонуванні ГМР в порівнянні з затримками при ЖМР

Визначення величини скорочення середніх транспортних затримок $\Delta \bar{d}$ на перехресті при впровадженні ГМР (за рівних значень сумарної інтенсивності на перехресті за умов функціонування ЖМР) вказує на лінійний характер залежності і доводить, що значення її максимуму спостерігається при низьких рівнях завантаження, а мінімуму при $Z = 1$, натомість максимум скорочення

сумарних транспортних затримок $\Delta \sum d_{\pi}$ спостерігається при завантаженні рухом, близькому до 0,5.

Аналіз ефективності ГМР здійснено на базі порівняння річних приведених витрат при функціонуванні ЖМР з витратами при ГМР. Розрахунки актуальні для вирішення практичної задачі у випадку переобладнання існуючого перехрестя, що раніше працювало в режимі жорсткого регулювання, новітніми технологіями організації дорожнього руху.

У якості міри ефективності функціонування того чи іншого виду світлофорного регулювання пропонується показник співвідношення зиску (через економію від скорочення затримок транспортних засобів) і витрат, який обчислюється як відношення суми приведених вигід до суми приведених витрат за інвестиційним проектом і має нормативне значення:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n B_t / (1+k)^t}{\sum_{t=1}^n C_t / (1+k)^t} \quad (2)$$

Правила роботи з критерієм співвідношення вигоди-витрати передбачають, що:

- не повинен прийматися ні один інвестиційний проект, якщо не забезпечене значення співвідношення зиску-витрати, більше від 1;
- якщо інвестиційний проект формується в умовах фіксованого бюджету або серед інвестиційних проектів, що є взаємовиключними, то перевага має надаватися проектам, що характеризуються найбільшим значенням співвідношення зиску-витрат.

Витрати розуміються як капітальні вкладення, що на практиці позначають вартість основних фондів (нових або розширення, реконструкцію та модернізацію діючих).

Значення співвідношення (2) розраховано для різних рівнів завантаження. Це дало змогу в подальшому сформулювати умови впровадження ГМР на основі значень величини середньої годинної інтенсивності за добу для перехрестя.

На основі розрахованих значень фінансових показників, сформовано область ефективного функціонування ГМР, що наведена на рисунку 2.

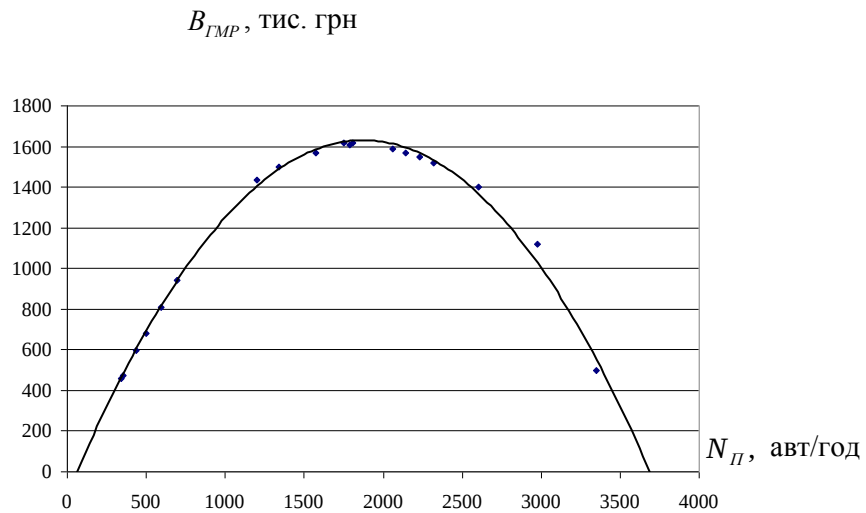
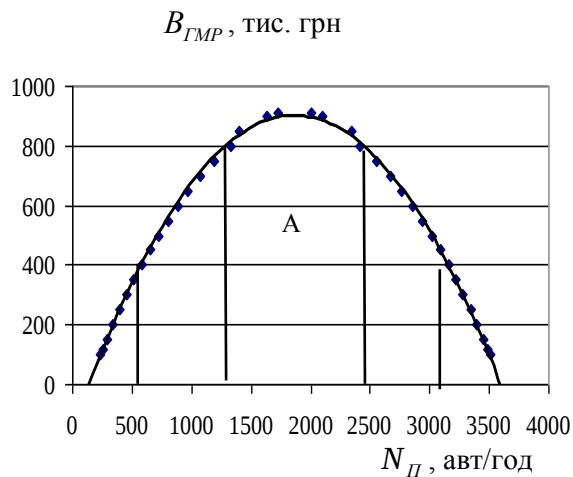


Рисунок 2 - Область ефективного функціонування ГМР (розташована між лінією графіка і віссю N_{Π}) в залежності від значення середньодобової годинної сумарної інтенсивності руху на перехресті N_{Π} і вартості проекту $B_{ГМР}$

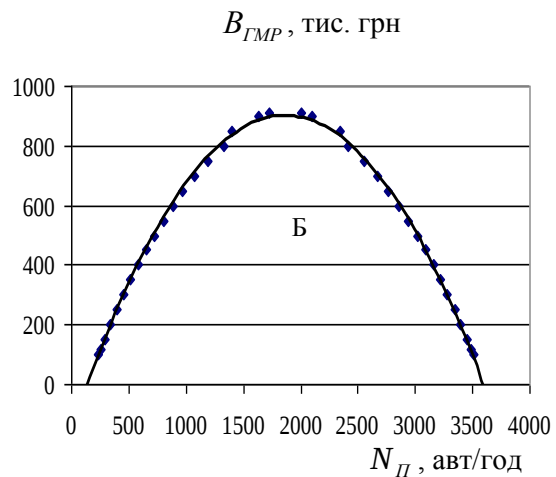
Крім того були розраховані значення показників при діапазоні завантажень перехрестя $N_{\Pi} = 344 \dots 3348$ авт/год і значень балансової вартості технічних засобів у межах $K_{\phi} = 100 \dots 1700$ тис. грн. У такий спосіб була визначена гранична допустима вартість системи, що дає змогу здійснювати управління дорожнім рухом методами гнучкого місцевого регулювання залежно від інтенсивності руху.

З графіка видно, що впроваджувати ГМР доцільно насамперед на перехрестях з середньодобовою годинною інтенсивністю руху в межах 1500 авт/год ... 2500 авт/год. Це виправдано в умовах високої вартості проекту (розраховується на базі значень балансової вартості технічних засобів K_{ϕ} і експлуатаційних витрат за рік B_{ϕ}) під час розроблення алгоритмів, технічних засобів. За умови наявності готових рішень із проектування і впровадження світлофорних об'єктів методами гнучкого СФР вартість облаштування в перерахунку на одне перехрестя знижується і сегмент ефективної області функціонування ГМР розширюється. Графічно це можна зобразити у вигляді рисунку 3 на прикладі двох значень вартості проекту.

При обчисленнях отримані результати щодо доцільності впровадження методів ГМР на ізольованих перехрестях, які істотно відрізняються від чинних нормативів [3]. Рисунок 4 ілюструє відміни між обома рекомендаціями щодо впровадження гнучких методів регулювання з врахуванням нестационарної поведінки транспортних потоків.



а)



б)

Рисунок 3 – Область ефективного впровадження проектів ГМР на перехресті:
а) область А – вартість проекту становить 800 тис. грн; б) область Б – вартість проекту 400 тис. грн.

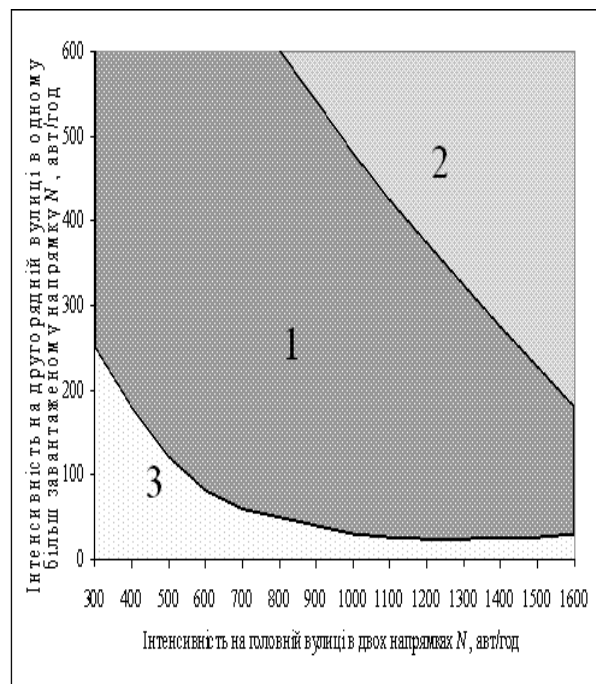
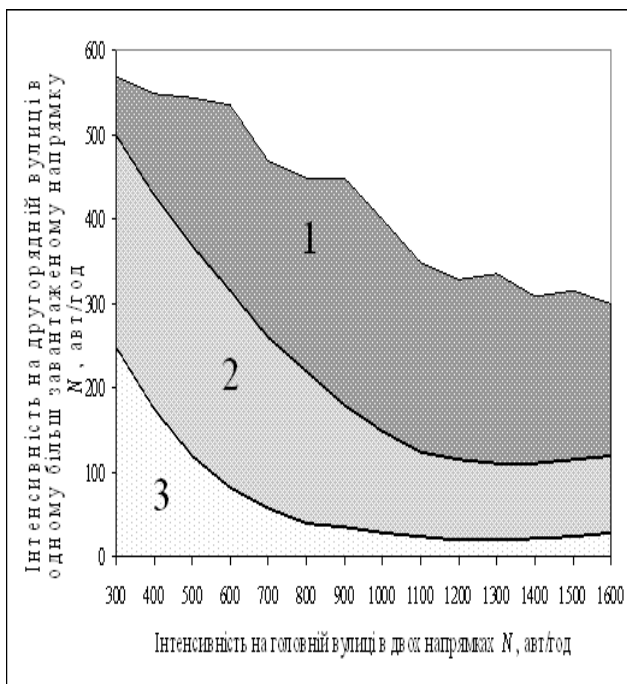


Рисунок 4 – Області ефективного використання локальних методів регулювання по мінімальному завантаженню перехрестя протягом 8 годин з найбільш інтенсивним рухом транспорту

- 1 – рекомендована область для гнучких методів регулювання;
- 2 – рекомендована область для жорстких методів регулювання;
- 3 – нерегульована область.

Висновки

1. Наразі регулювання транспортних потоків на перехрестях вулично-дорожньої мережі здійснюється переважно жорсткими методами. Водночас на базі новітніх технологій є можливість здійснювати світлофорне регулювання з урахуванням рівня стаціонарності параметрів транспортного потоку. Питання поширення таких технологій гальмуються відсутністю модернізованих нормативів і критеріїв щодо їх ефективного функціонування.

2. Проведений техніко-економічний аналіз доводить переваги і доцільність впровадження гнучких методів регулювання в запропонованій області ефективного застосування світлофornoї сигналізації. Її конфігурація та розширення на противагу показникам, наведеним у чинних нормативних документах [3], зумовлені зниженням вартості сучасної апаратури та новими принципами визначення доцільності впровадження гнучких методів світлофornoго регулювання.

Література

1. Дідківська Л.С. Гнучкі методи світлофornoго регулювання в умовах нестационарності параметрів транспортного потоку: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Л. С. Дідківська. – К., 2011. – 145 с.
2. Самойлов Д.С. Организация и безопасность городского движения : учебник для вузов. – [2-е изд., перераб. и доп. ил.] / Д.С. Самойлов, В.А. Юдин, П.В. Рушевский. – М. : Высш. шк. 1981. – 256 с.
3. Руководство по проектированию и внедрению автоматизированных систем управления дорожным движением на базе АССУД / под общ. ред. Г.Я. Волошина. – М. : ВНИИБД МВД СССР, 1981. – 232 с.

Лапутин Р.О., канд. техн. наук

МЕТОД ОЦІНКИ ТА ПІДВИЩЕННЯ ПОТОЧНОЇ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ НА ОДНОМУ РІВНІ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Анотація. У роботі розроблено метод та відповідну методику оцінки та підвищення поточної безпеки руху на перехрестях на одному рівні в режимі реального часу. Метод дозволяє оперативно виявляти необхідні умови виникнення ДТП та своєчасно їх ліквідувати, що безпосередньо впливає на безпеки руху на перехресті з позитивним результатом щодо її підвищення.

Ключові слова: перехрестя, потік транспортний, безпека дорожнього руху, пригода дорожньо-транспортна.

Аннотация. В работе разработан метод и соответствующая методика оценки и повышения текущей безопасности движения на перекрестках в одном уровне в режиме реального времени. Метод позволяет оперативно фиксировать необходимые условия возникновения ДТП и своевременно их ликвидировать, что оказывает непосредственное влияние на безопасность движения на перекрестке с положительным результатом относительно ее повышения.

Ключевые слова: перекресток, поток транспортный, безопасность дорожного движения, происшествие дорожно-транспортное.

Annotation. In work the method and the corresponding technique of an evaluation and increase of the current road safety at intersections in real time is developed. The method allows to reveal operatively necessary conditions of emergence of road accident and in due time to liquidate them that makes direct impact on road safety at an intersection with positive result concerning its increase.

Key words: intersection, traffic flow, road safety, road accident.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Якісне функціонування автотранспортної системи, яке полягає в ефективному задоволенні потреб населення та суспільного виробництва в безпечних перевезеннях пасажирів та вантажів автомобільними транспортними засобами, безпосередньо впливає на економічний розвиток країни. В свою чергу, безпека дорожнього руху, як складова соціально-економічної проблеми, значно оказує вплив на ефективність перевезень, яка за статистикою аварійності в Україні є незадовільною. З усіх дорожньо-транспортних пригод (ДТП), що трапляються в Україні, 12,2% відбувається на нерегульованих перехрестях на одному рівні, а якщо розглядати тільки міста країни, на вулично-дорожню мережу (ВДМ) яких припадає близько 70% ДТП, то на перехрестях відбувається в середньому 75% ДТП. Тому нерегульовані перехрестя на одному рівні є найаварійнішими місцями вулично-дорожньої мережі. На сьогоднішній день методи організації дорожнього руху, такі як реконструкція нерегульованого перехрестя до саморегульованого та введення світлофорного регулювання, підвищують безпеку руху опосередковано і дозволяють знизити кількість ДТП відповідно на 17% та 30% [1]. Отже, видно, що зазначені методи організації дорожнього руху не можуть вирішити повністю питання з підвищення безпеки руху на перехрестях на одному рівні через те, що вони не розраховані на мінливість дорожньо-транспортної ситуації (ДТС) у часі, яка пов'язана з нестаціонарністю транспортних потоків (ТП). Отже, для більш ефективного зниження аварійності на перехрестях на одному рівні є актуальним підвищення безпеки руху транспортних засобів в режимі

Аналіз останніх досліджень

Проблемою безпеки руху транспортних засобів (ТЗ) на перехрестях на одному рівні займалися багато вітчизняних та іноземних науковців: Вебстер Ф., Гаврилов О.А., Дзюба О.П., Єресов В.І., Живоглядів В.Г., Иносе Х., Капітанов В.Г., Клінковштейн Г.І., Кременець В.І., Лобанов Є.М., Печерський М.П., Поліщук В.П., Полозенко П.М., Раппопорт Г.А., Рябець Я.В., Сільянов В.В., Самойлов Д.С., Фішельсон М.С., Хейт Ф., Хорович Б.Г., Четверухін Б.М., Якушин Л.А. та ін. Аналіз наукових праць зазначених вчених надав можливість виокремити ряд методів оцінки безпеки руху на перехрестях на одному рівні: метод оцінки аварійності на нерегульованих перехрестях на одному рівні коефіцієнтами аварійності; метод оцінки безпеки руху на перехресті на одному рівні за допомогою умовних балів; метод відносної

аварійності конфліктних точок; метод конфліктних ситуацій. Аналіз вказаних методів на предмет можливості застосування їх методик для безпосереднього впливу на безпеку руху показав, що кожний з методів оперує усередненими, а не поточними даними про характеристики транспортних потоків. Отже, жодний з методів оцінки безпеки руху не можна застосовувати для безпосереднього впливу на безпеку руху транспортних засобів на перехресті на одному рівні, яке дозволило б безпосередньо виконувати оперативну оцінку та підвищення безпеки руху, що визначає наукову задачу щодо створення нового методу оцінки та підвищення безпеки руху на нерегульованих перехрестях на одному рівні в режимі реального часу, який надасть можливість оперативного впливу на безпеку руху з метою ліквідації конфліктів між парами транспортних засобів на перехресті на одному рівні у поточний момент часу.

Основна частина

Сучасна методологія дослідження безпеки дорожнього руху розглядає безпеку руху, як характеристику дорожнього руху, яка виражається аварійністю (сукупність ДТП у просторі та часі за минулий період[2]) і не враховує дуже важливу особливість, а саме те, що ДТП виникає у конкретний час, в який формуються поточні умови руху, що призвели до його виникнення. Отже, підвищувати безпеку руху на нерегульованих перехрестях на одному рівні пропонується в режимі реального часу на підставі оцінки поточної безпеки руху за кількістю конфліктних пар транспортних засобів у поточний момент часу.

Під поточною безпекою руху будемо розуміти характеристику дорожнього руху, що виражається у поточних за часом попарних взаємодіях конфліктних ТЗ, негативними наслідками яких є аварійність.

У певний момент часу на підходах перехрестя конфліктних напрямків рухаються ТЗ, що утворюють між собою конфліктні пари. Наявність пари транспортних засобів на підходах до перехрестя на одному рівні з відповідних конфліктних транспортних потоків створює певну ДТС, в якій формується безпека руху в поточний момент часу за умови сумісного потрапляння вказаних транспортних засобів на площу перехрестя, що може спричинити виникнення конфліктної ситуації або дорожньо-транспортної пригоди. Наявність на підходах перехрестя пари конфліктних ТЗ є необхідною умовою для виникнення ДТП на площі перехрестя. Отже, уникнення попарної взаємодії транспортних засобів на площі перехрестя у поточний момент часу дозволить

запобігати ДТП, що розкриває сенс підвищення безпеки руху на перехрестях на одному рівні в режимі реального часу.

Вище вказане дозволяє сформулювати метод оцінки та підвищення поточної безпеки руху на перехрестях на одному рівні в режимі реального часу, який полягає в відстеженні в указаному режимі часу попарної взаємодії транспортних засобів на площі нерегульованого перехрестя та своєчасній її ліквідації.

Для реалізації вказаного методу розроблено відповідну методику оцінки та підвищення поточної безпеки руху (ПБР) на нерегульованих перехрестях на одному рівні в режимі реального часу. Методика складається з кількох етапів, що включають визначення кількісних характеристик ПБР на перехресті на одному рівні в режимі реального часу, порівняння їх з граничними значеннями та прийняття рішення щодо формування керуючих впливів з метою підвищення ПБР.

Етап перший. Визначаються границі зони та площі перехрестя, що дозволяють знайти місця встановлення детекторів транспорту та інформаційних табло змінної інформації.

Етап другий. Формуються вихідні дані у вигляді відповідних констант: частка конфліктної площі перехрестя в загальній площі перехрестя δ [3], кількість підходів головного напрямку Z_i , кількість підходів другорядного напрямку m_j , довжина підходів відповідно по головному та другорядному напрямках L_i , L_j , відстань від границі площі перехрестя до її центру по головному напрямку $l_{E,i}$, максимальна ширина проїзної частини підходів відповідно по головному та другорядному напрямках $B_{\text{пр}}^{\text{max}}$.

Етап третій. Визначаються відповідно граничні значення різниці вхідного часу та поточного коефіцієнту конфліктності:

$$\Delta t_{\text{в}}^{\text{гр}} = \frac{2 \cdot l_{E,i} + B_{\text{пр}}^{\text{max}} + 2 \cdot l_a}{2 \cdot \sqrt{V_{0,i}^2 - 2 \cdot j_{y,i} \cdot l_{y,i}}}; \quad (1)$$

$$\alpha^{\text{гр}} = \frac{\lambda_{k,\text{min}}}{\lambda_{k,\text{max}}}, \quad (2)$$

де $l_{y,i}$, - частина підходу, на якій транспортний засіб рухається з уповільненням по головному напрямку;

$V_{0,i}$, - початкова швидкість транспортного засобу основного транспортного потоку;

$\lambda_{k,max}$ - максимально можлива кількість транспортних засобів, що конфліктують на площі перехрестя;

$\lambda_{k,min}$ - мінімально необхідна кількість транспортних засобів для виникнення ДТП на площі перехрестя [4];

l_a - габаритна довжина транспортного засобу;

$j_{y,i}$ - уповільнення транспортних засобів на підходах перехрестя головного напрямку.

Етап четвертий. Розраховується в режимі реального часу поточний коефіцієнт конфліктності $\alpha(\Delta t)$:

$$\alpha(\Delta t) = \frac{(\lambda^+(\Delta t)^n - \lambda^-(\Delta t)^n) \cdot \delta}{\lambda_{k,max}}, \quad (3)$$

де $\lambda^+(\Delta t)^n$ - кількість транспортних засобів, що в'їхали на підходи перехрестя за час Δt ;

$\lambda^-(\Delta t)^n$ - кількість транспортних засобів, що виїхали з підходів перехрестя за час Δt .

Етап п'ятий. Проводиться порівняння поточного коефіцієнту конфліктності з його граничним значенням. Якщо, поточний коефіцієнт конфліктності знаходиться в межах від 0 до $\alpha^{ГР}$ в такому випадку транспортні потоки, що взаємодіють на перехресті є здебільшого вільними, тобто спостерігається рух окремих транспортних засобів. В такому разі відслідковуються на підходах конфліктних напрямків попарні взаємодії транспортних засобів шляхом розрахунку різниць вхідного часу Δt_v в прибутті до границі площі перехрестя:

$$\Delta t_B = \frac{L_i - l_{y,i} - V_{0,i} \cdot (t_2 - t_1)}{V_{0,i}} - \frac{L_j - l_{y,j}}{V_{0,j}} + \\ + \frac{1}{j_{y,i}} \cdot \left(V_{0,i} - \sqrt{V_{0,i}^2 - 2 \cdot j_{y,i} \cdot l_{y,i}} \right) - \frac{1}{j_{y,j}} \cdot \left(V_{0,j} - \sqrt{V_{0,j}^2 - 2 \cdot j_{y,j} \cdot l_{y,j}} \right), \quad (4)$$

де t_1, t_2 - моменти часу фіксування детекторами транспорту появи на підходах транспортних засобів відповідно основного та другорядного транспортних потоків (фактичний вхідний час транспортних засобів на підходи до перехрестя);

$V_{0,j}$ - початкова швидкість транспортного засобу другорядного транспортного потоку;

$l_{y,j}$ - частина підходу, на якій транспортний засіб рухається з уповільненням по головному напрямку.

Проводиться порівняння Δt_B з Δt_B^{rp} . Якщо, $\Delta t_B \leq \Delta t_B^{rp}$ розраховується безпечна швидкість руху транспортних засобів другорядного напрямку $V_{6,j}$:

$$V_{6,j} = \frac{(L_j - (l' + l'')) \cdot V_{0,i}}{(L_i - l_{y,i}) - V_{0,i} \cdot \left((t_2 - t_1) - 1/j_{y,i} \cdot \left(V_{0,i} - \sqrt{V_{0,i}^2 - 2 \cdot j_{y,i} \cdot l_{y,i}} \right) + \Delta t_B \right)}, \quad (5)$$

де l' - відстань, яку проїжджає транспортний засіб за час спрацювання системи управління;

l'' - відстань з якої водій розпізнає інформацію на дорожньому знаку [5].

Швидкість руху транспортних засобів на підходах другорядного напрямку обмежується до $V_{6,j}$. Якщо, поточний коефіцієнт конфліктності знаходиться в межах від α^{rp} до 1 в такому випадку транспортні потоки на підходах ущільнюються, починаються формуватися черги транспортних засобів на підходах другорядного напрямку, частіше спостерігаються конфліктні ситуації на площі перехрестя. В такому разі попереджуємо водіїв про небезпечну ДТС, що склалася на площі перехрестя. Паралельно з цим, у разі накопичення транспортних засобів у чергах на підходах другорядного напрямку, обмежуємо швидкість руху транспортних засобів на підходах головного напрямку з метою

формування необхідного розриву в основному транспортному потоці для безпечного роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку.

Графічно методика представлена на рис. 1.

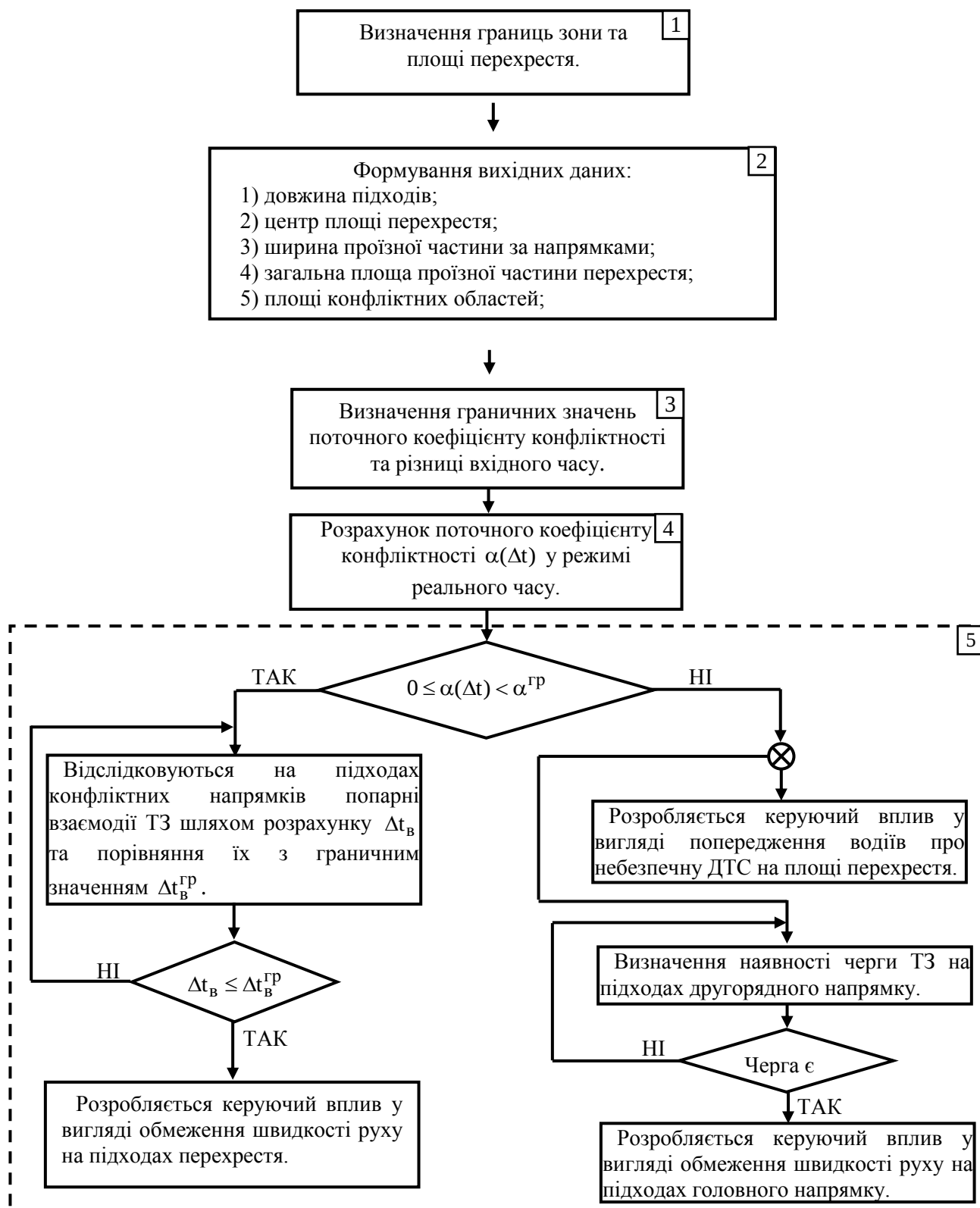


Рисунок 1 – Графічне зображення методики оцінки та підвищення поточної безпеки руху на нерегульованих перехрестях на одному рівні в режимі реального часу

Таким чином, у роботі розроблено метод та відповідну методику оцінки та підвищення поточної безпеки руху на перехрестях на одному рівні в режимі реального часу. Метод дозволяє оперативно виявляти необхідні умови виникнення ДТП та своєчасно їх ліквідувати, що безпосередньо впливає на безпеки руху на перехресті з позитивним результатом щодо її підвищення. Перспективою подальших досліджень є розробка відповідних систем управління ПБР на перехрестях та алгоритмів їх роботи.

Література

1. Эльвик Р. Справочник по безопасности дорожного движения / Р. Эльвик, А.Б. Мюсен, Т. Ваа: пер. с норв.; под редакцией проф. В.В.Сильянова. – М.: МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с.
2. Безпека дорожнього руху. Терміни та визначення: ДСТУ 2935-94.– [Чинний від 01-01-1996]. – К.: Держстандарт України 1995. – 16 с.
3. Лапутин Р.О. Геометричний критерій оцінки безпеки руху на перехрестях доріг в одному рівні / Р.О. Лапутин, О.М. Дудніков // Безпека дорожнього руху України. – К.: ТОВ "Журнал "Радуга", 2006. - № 1-2 (22). – С. 52 – 55.
4. Лапутин Р.О. Оцінка безпеки руху на нерегульованих перехрестях на одному рівні в режимі реального часу / Р.О. Лапутин // LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету, 12 – 14 травня 2010 р.: тези доповідей. – К.: НТУ, 2010. – С. 193.
5. Поліщук В.П. Інформаційне забезпечення учасників дорожнього руху / В.П. Поліщук, Н.Т. Кунда. – К.: ІЗИН, 1998. – 132 с.

Канін О.П, канд. техн. наук, Татусь В.В.

РИЗИКИ В ПРОЕКТАХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Анотація. Розглянуті теоретичні передумови управління ризиками реалізації проектів автомобільних доріг з метою мінімізації їх негативного впливу на досягнення цілей проектів в дорожній галузі.

Ключові слова: управління проектами автомобільних доріг, управління ризиками, аналітично-експертна система ризик-менеджменту.

Аннотация. Рассмотрены теоретические предпосылки управления рисками реализации проектов автомобильных дорог с целью минимизации их негативного влияния на достижение целей проектов в дорожной отрасли.

Ключевые слова: управление проектами автомобильных дорог, управления рисками, аналитически экспертная система риск-менеджмента.

Annotation. The theoretical background of risk management projects of roads in order to minimize their negative impact on the achievement of projects in the road sector.

Key words: project management of highways, risk management, analytical and expert system of risk management.

Постановка проблеми

Управління ризиками потрібно розглядати не як одночасну дію, а як серію цілеспрямованих дій, які утворюють єдиний механізм управління ризиками, інтегрований в процес управління проектами автомобільних доріг [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За зарубіжними даними 9 з 10 досліджених 167 проектів автомобільних доріг мали в середньому перевитрати на 20,4% [2,3,4]. Механізм управління ризиками в управлінні проектами та програмами розглядається з 1980-х років, коли сформувалось поняття процесу управління ризиками, який складається з ідентифікації ризиків, оцінки ризиків, розробки реагувань на ризики і контролю

ризиків. Широке впровадження отримали діаграми впливів, контрольні списки ризиків та анкетні опитування, методи реагування на ситуації ризику, а також важливі принципи розподілення ризиків в будівельних контрактах. Далі відбулась трансформація у бік розуміння значущості процесу управління ризиками, а не тільки кількісного аналізу ризиків, і були створені нові методики управління ризиками, які ґрунтувались на досвіді зниження ступеню дії несприятливих подій до прийнятного рівня. Були розроблені стандарти ISO 31000:2009, PMBOK (США) [5], Міжнародної Асоціації Управління Проектами - IPMA, Project and Program Management for Enterprise Innovation – P2M (Японія) та інші.

В управлінні проектами автомобільних доріг можна відмітити Керівництво управління ризиками для проектів Департаменту транспорту штату Вашингтон [6], в якому регламентуються: функція планування в ризик-менеджменті, ідентифікація ризиків, якісний та кількісний аналіз ризиків, реагування на ризик, моніторинг та контроль ризиків. Японськими авторами наведено каталог ризиків, характерних для різних фаз життєвого циклу дорожнього проекту, побудовані матриці залежностей впливу факторів ризику на тривалість та вартість здійснення проекту, побудована схема виконання проекту, визначені розподіли ймовірностей затримки та вартості проекту [7]. В роботі [8] досліджувались ризики експлуатації елементів доріг і мостів.

Постановка завдання

Аналіз існуючих досліджень в області теорії ризику, ризик-менеджменту в управлінні проектами, зокрема проектами автомобільних доріг і мостів, показав існування потреби в розробці нових шляхів управління ризиками реалізації проектів, які б враховували специфіку проектів автомобільних доріг, з метою подальшої розробки моделі мінімізації ризиків і системи управління ризиками.

Виклад основного матеріалу

В Україні назріла необхідність перекладання фундаментальних праць з проектного ризик-менеджменту в практичну площину, адаптації існуючих теоретичних розробок в області ризику до практичної діяльності.

Розробка теоретичних передумов моделювання ризиків в проектах автомобільних доріг та мостів потребує з'ясувати такі питання і проблеми:

1) визначення проекту автомобільної дороги не в звичайному трактуванні, а з позицій управління проектами і програмами. Потрібно включення такої фази проекту, як експлуатація автомобільної дороги;

2) при вкладанні коштів в розвиток мережі доріг необхідно рахуватися з істотною невизначеністю при прогнозі перспективних інтенсивності і складу руху, вміти оцінювати її негативні наслідки і приймати заходи для їх зниження;

3) необхідно прийняти визначення поняття ризику, яке найбільш повно відображує особливості ризиків, притаманні різним етапам (або фазам) життєвого циклу автомобільної дороги;

4) потрібно проаналізувати і обґрунтувати способи кількісної оцінки міри ризику стосовно проектів автомобільних доріг;

5) слід сформулювати особливості оцінки економічної або іншої ефективності автомобільної дороги і можливість врахування в ній головних факторів ризику проекту автомобільної дороги;

6) необхідно обґрунтувати вибір математичного апарату та методів моделювання і прогнозування ризиків;

7) обґрунтувати необхідність протидії ризикам на основі їх постійного моніторингу, фіксації в самій динаміці розвитку проекту за допомогою спеціально створеної комп'ютерної інформаційної аналітичної експертної системи управління ризиками проекту автомобільної дороги.

Для розробки теоретичних передумов потрібно з'ясувати саме поняття проекту автомобільної дороги та характерні фази такого проекту з точки зору теоретичних та практичних положень управління проектами (Project Management).

В літературі наводиться багато визначень поняття «проект», але всі формулювання засновані на п'яти компонентах:

- 1) проект являє собою діяльність;
- 2) ця діяльність обмежена часом;
- 3) ця діяльність має ціль;
- 4) ціль діяльності є унікальною;
- 5) ресурси для діяльності обмежені, зокрема ціль повинна бути досягнута на певну дату.

Всі ці формулювання можуть бути застосовані для визначення поняття проекту автомобільної дороги в термінах управління проектами і програмами. Однак важливим в цьому визначенні є питання про момент закінчення проекту

автомобільної дороги. Можна вважати, що термін закінчення проекту автомобільної дороги (або моста) визначається не моментом вводу її в експлуатацію, а після того, коли дорога перестає виконувати ціль, для досягнення якої вона створена – забезпечення безперервного, безпечного та зручного руху транспортних засобів з нормативними швидкостями. При неможливості надалі виконувати свою ціль дорога потребує реконструкції. Дорога не продається на ринку як продукт за певну ціну, тому покриття витрат понесених на проектування і будівництво чи реконструкцію дороги, в тому числі у випадку платних доріг, відбувається поступово на протязі всього періоду експлуатації дороги аж до її реконструкції. Дорога потребує обслуговування (ремонтів та утримання) на протязі всього періоду експлуатації.

Отже, під проектом автомобільної дороги доцільно розуміти діяльність, призначену для будівництва або реконструкції автомобільної дороги і подальшого її обслуговування - ремонту та утримання. Завершення цієї діяльності настає, коли досягнуті критичні умови експлуатації дороги і виникає необхідність її реконструкції або зникла необхідність в її подальшій експлуатації.

Результатом проектної діяльності є не тільки ціль, яка неявно розуміється в матеріальному вигляді, наприклад, збудувати дорогу. Всілякий бізнес це гроші. Тому результат проекту, особливо інвестиційного, потрібно оцінити в грошовому вираженні, наприклад у чистому дисконтованому доході, який включає в себе, в тому числі, і витрати на ремонти та утримання доріг. З фінансової точки зору відсутність грошової цілі перетворює проект в пусту витрату грошей.

Причинами ризику є вплив на процес реалізації проекту зовнішніх та внутрішніх випадкових факторів та невизначеності, яка трактується не лише у розумінні відсутності вичерпного знання, а й як постійна змінюваність умов, трансформація, швидка та гнучка переорієнтація складної системи, тощо. Отже, будь-які проектні рішення автомобільних доріг приховують у собі небезпеку або занижити, або завищити очікуваний результат. Причому ризик цей має специфічну природу: він слабо пов'язаний з ринковою кон'юнктурою, умовами купівлі-продажу товару або послуги, а виникає через похибки у визначенні параметрів прогнозованого об'єкта дорожньої інфраструктури.

В найбільш широкому розумінні ризик можна визначити як об'єктивно-суб'єктивну категорію, пов'язану з подоланням невизначеності, випадковості,

конфліктності в ситуації неминучого вибору, що відображає ступінь досягнення проектом очікуваного результату [1].

Кількісне визначення ризику на початку 1980-х років дано Stanley Kaplan та B. John Garric в роботі [9], згідно з якої поняття ризику, по-перше, включає в себе як невизначеність так і збитки. По-друге, небезпека просто існує як джерело. Ризик – це "можливість втрати". Ризик включає в себе ймовірність перетворення цього джерела в фактичні втрати. Ця ідея символічно виглядає як

$$P = \frac{H(O_n)}{\Gamma(O_z)}, \quad (1)$$

де H - небезпека;

O_n - обізнаність про небезпеку;

Γ - гарантії;

O_z - обізнаність про гарантії.

Рівняння (1) показує, що можна зробити ризик малим за рахунок збільшення гарантії. Гарантії залежать від обізнаності, яка зменшує ризик.

Приймаючи до уваги недостатній, несистематичний, неформалізований, недостатньо комп'ютеризований рівень практичного здійснення управління проектними ризиками, можна констатувати, що для управління ризиками проекту автомобільної дороги потрібна розробка комп'ютерної інформаційно-аналітичної експертної системи яка:

- являє собою шаблон (оболонку) системи управління ризиками проекту;
- базується на сучасних інформаційних інтернет-технологіях, здатних розвиватись та адаптуватись у відповідності до удосконалення інформаційних технологій;
- має єдину централізовану базу даних, в якій збираються всі релевантні до проекту дані та структуру, подібну до життєвого циклу проекту та продукту проекту;
- містить в собі реєстри ризиків та можливих дій з реагування;
- забезпечує здійснення моніторингу ризиків проекту та системи управління ризиками та облік фактичного перебігу проекту;

- надає учасникам проекту потрібні дані для прийняття рішення з заходів захисту їх від можливих втрат та забезпечує легкий та рівний доступ всіх, хто має відношення до проекту, до допустимої для них інформації;
- спирається на різні види моделей прогнозування виникнення небезпек, втрат, зв'язаних з цими небезпеками, дає можливість їх модифікації та доповнення, оцінює ймовірності виникнення і впливу ризиків;
- формує базу історичних даних з виконання проекту у всіх його фазах з метою забезпечення зацікавлених сторін інформацією про співвідношення планів і фактичної реалізації проекту, забезпечення вихідними даними досліджень з проблематики управління ризиками.

На сьогоднішньому етапі розробки такої системи розроблена агрегативна імітаційна модель прогнозування та оцінки ризиків проектів автомобільних доріг, в якій використана уніфікована абстрактна схема агрегату, який дозволяє одноманітно описувати всі елементи системи (дискретні, неперервні, детерміністичні, стохастичні) [10]. Модель містить алгоритми врахування структурних змін в послідовності, об'ємах та змісті робіт проекту на всіх його фазах, тобто відтворює процес здійснення проекту в найбільш наближеній до реальності формі. Модель дозволяє оцінити вплив зовнішніх та внутрішніх випадкових факторів на досягнення цілей проекту через відтворення випадкової тривалості та вартості робіт, а також безпосереднього розігрування методом Монте-Карло подій виникнення загроз та їх наслідків. Розроблюється комп'ютерна реалізація імітаційної моделі.

Висновок

Сучасний напрямок наукового розвитку теорії управління ризиками проектів автомобільних доріг полягає в удосконаленні підходів, які зв'язані з вивченням досвіду управління ризиками. Одним з способів підвищення результативності цього підходу – це використання комп'ютерних баз даних для зберігання класифікаційних списків ризиків, інформації про дії у відповідь на виникнення ситуацій ризику, інформації про планування в управлінні ризиками та інші дані для прийняття конкретних рішень в процесі управління ризиками проекту. Формування таких баз даних повинне відбуватись в режимі реального часу в ході всього проекту на основі відомостей про ризики і дії у відповідь.

Література

1. Вітлінський В.В., Великоіванченко Г.І. Ризикологія в економіці та підприємстві: Монографія. – К.: КНЕУ, 2004. – 480 с.
2. Flyvbjerg, Bent, Mette S. Holm, and S. Buhl. (2002). “Underestimating Costs in Public Works Projects,” *Journal of American Planning Association*, Vol. 68, No. 3, 279-295.
3. Flyvbjerg, B., Holm, M. K. S., and Buhl, S. L. (2003). “How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?” *Transport Reviews*, Taylor & Francis Ltd, UK, Vol. 23, No. 1, 71-88.
4. Touran Ali. Owners risk reduction techniques using a CM. Department of Civil & Environmental Engineering Northeastern University, 2006. – 55 p.
5. Руководство к своду знаний по управлению проектами. (*Руководство PMBOK®*)—Четвертое издание, Project Management Institute, Inc., 2008. – 496 с.
6. Project Risk Management Guidance for WSDOT Projects. Washington State Department of Transportation, July 2010. – 96 p.
7. Quantitative risk analysis of road projects based on empirical data in Japan // Yukiya Sato, Keiichi Kitazume, Kazuaki Miyamoto, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, 2005. - pp. 3971 – 3984.
8. Risk Evaluation and Financial analysis for Road Maintenance on Urban Expressway Based on H-BMS. // Yasuhito Sakai, Mitsuru Jido, Hitoshi Furuta, Kiyoshi Kobayashi. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/lab/images/stories/research/2010/IABMAS2010.pdf>.
9. Stanley Kaplan' and B. John Garric. On The Quantitative Definition of Risk. *Risk Analysis*, Vol. I , No. I , 1981, p. 11-27.
10. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М., Изд-во «Советское радио», 1973. - 440 с.