



УДК 625.731

- © О.С. Славінська, докт. техн. наук, доцент,
- © В.В. Стьожака (НТУ)

# ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ МІЛКОГО ЗАЛЯГАННЯ

**Анотація.** Проаналізовано процеси накопичення вологи в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками у річному циклі та викладено основні принципи розрахунку параметрів дренажних систем мілкового залягання. Приділено увагу режимам руху рідини в дренажній системі, розрахунку часу її осушення та підвищення щільності піщаного шару з часом.

**Ключові слова:** автомобільна дорога; вологонакопичення; дорожня конструкція; дренажна система; піщаний шар; пропускна здатність.

**Аннотация.** Проанализировано процессы накопления влаги в дорожных конструкциях с дренажными прослойками в годовом цикле и изложены основные принципы расчета параметров дренажных систем мелкого заложения. Уделено внимание режимам движения жидкости в дренажной системе, расчету времени ее осушения и повышения плотности песчаного слоя со временем.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога; влагонакопление; дорожная конструкция; дренажная система; песчаный слой; пропускная способность.

**Annotation.** The humidity accumulation processes in road constructions with drainage layers within a year time are analyzed and the main principles of drainage systems' characteristics calculations of shallow bedding are presented. Different modes of liquid movement in drainage system are traced as well as timing of its draining and density increase of sandy layer.

**Key words:** road; accumulation of moisture; road construction; drainage system; sandy layer; capacity.

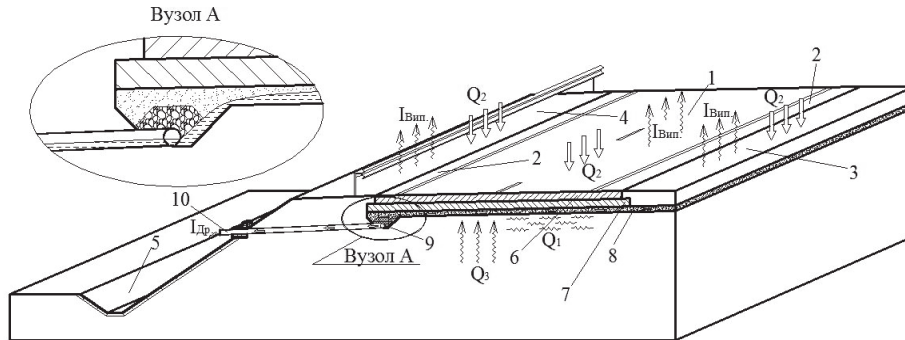
Одними з найбільш важливих показників, що впливають на міцність та деформаційну стійкість ґрунту верхньої частини земляного полотна та, відповідно, всієї дорожньої конструкції (шарів основи та покриття дорожнього одягу, узбіч) є вологість ґрунту та його щільність. Зрозуміло, що їх значення змінюються протягом року нерівномірно у зв'язку зі зміною погодних умов.

Проблеми регулювання водно-теплового режиму земляного полотна автомобільних доріг у своїх роботах приділяли увагу В.М. Сіденко, О.Я. Тулаєв, І.А. Золотарь, В.І. Рувинський та ін. У одній з робіт [1] водно-тепловий режим земляного полотна пропонується розділяти на п'ять стадій.

**Перша стадія** є початковою і пов'язана з осіннім періодом зволоження. У зв'язку з процесом інфільтрації вільної води підвищується вологість ґрунту земляного полотна. Рівень ґрунтових вод дещо підвищується, проте не впливає на вологість ґрунтів верхньої частини земляного полотна. Перша стадія триває до встановлення середньодобової температури повітря на рівні від  $-3^{\circ}\text{C}$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ .

**Друга стадія** – зимове вологонакопичення. При промерзанні ґрунту волога, що накопилася в осінній період, перерозподіляється завдяки силам кристалізації. При пониженні межі промерзання відбувається підтягування вологи із нижніх шарів ґрунту. Ґрунтові води сприяють зволоженню земляного полотна. Оскільки з пониженням температури ґрунт промерзає, відбувається утворення льодяних прошарків із вологи, що накопилася протягом першої стадії. Чим швидше відбувається зниження температури, тим менше вологи встигає переміститися з нижніх, більш теплих шарів, у верхню частину земляного полотна. Тому м'яка зима з поступовим і незначним зниженням температури носить більш несприятливий характер.

**Третя стадія** – вимерзання води із піщаного підстильного шару основи дорожнього одягу та ґрунту верхньої частини земляного полотна. Даний період характеризується найбільш низькою температурою. Вологість верхньої частини земляного полотна практично не змінюється, рівень



1 – проїзна частина; 2 – укріплена частина узбіччя або розділювальної смуги; 3 – розділювальна смуга; 4 – неукріплена частина узбіччя; 5 – кювет; 6 – шари покриття дорожнього одягу; 7 – шари основи дорожнього одягу; 8 – підстильний шар основи з піску (дренуючий шар); 9 – поздовжній дренаж мілкого залягання; 10 – поперечний скид води з поздовжнього дренажу мілкого залягання

Рис. 1. Джерела зволоження верхньої частини земляного полотна

грунтових вод продовжує знижуватись. Якщо є підстильний шар з піску, то його вологість дещо знижується через процес вимерзання (при умові досить низьких температур).

**Четверта стадія** – насичення. При таненні снігового покриву відбувається підняття рівня ґрунтових вод. З'являється надлишок вільної води, яка відтискається в підстильний шар дорожнього одягу під дією динамічного впливу транспорту та защемленого повітря, яке розширюється при різниці температур  $\geq 3$  °С. Нерівномірність розмерзання супроводжується перезволоженням ґрунтів під дорожнім одягом та відповідним зниженням їх міцності. Наявність валиків снігу на узбіччях є причиною проникнення вільної води, особливо у місцях сполучення з проїзною частиною. Дана стадія характеризується появою руйнувань дорожнього покриття та утворенням колій. Великий вплив на зміну вологості чинить швидкість розмерзання земляного полотна. Чим триваліша затяжна весна із нічними заморозками та теплими сонячними днями без опадів, тим швидше знижується вологість внаслідок підвищеного випаровування вдень та вимерзання вночі. До джерел зволоження додаються атмосферні опади, що потрапляють до верхньої частини земляного полотна у вигляді інфільтрації через тріщини та пори покриття, місця сполучення проїзної частини з узбіччям, неукріплені або недостатньо сплановані узбіччя.

**П'ята стадія** водно-теплового режиму – відновлення літнього режиму. При повному розтаванні земляного полотна в ґрунтах залишається лише капілярно-підвішена вода. Підвищується щільність і знижується вологість ґрунту за рахунок інтенсивного випаровування та пониження рівня підземних вод.

Наведена вище узагальнена закономірність зміни вологості відноситься до верхньої частини земляного полотна глибиною до  $2,5-3,0D$  відносно

поверхні проїжджої частини (де  $D$  – діаметр відбитку колеса розрахункового типу автомобіля).

Легко зробити висновок, що найбільш небезпечними для верхньої частини земляного полотна є перша, друга та четверта стадії водно-теплового режиму. Із джерел зволоження (рис. 1) діють волога від зимового вологонакопичення, що відтискається із нижніх шарів земляного полотна у весняний період ( $Q_1$ ); інфільтраційна волога від атмосферних опадів ( $Q_2$ ), що потрапляє через узбіччя, покриття проїзної частини, розділювальну смугу; капілярна волога ( $Q_3$ ).

Як правило, при розрахунках основним джерелом зволоження вважається волога від зимового вологонакопичення. Проте, враховуючи той факт, що дорожні одяги автомобільних доріг та конструкції узбіччя не забезпечують повної водонепроникності, кількість інфільтраційної вологи від атмосферних опадів може перевищувати кількість вологи від зимового вологонакопичення. З огляду на цей факт виникає питання визначення розрахункового (найбільш несприятливого) періоду індивідуально для кожного регіону з урахуванням режиму випадання опадів та температурних коливань.

Для роботи дорожньої конструкції у сприятливих умовах водно-теплового режиму необхідно, щоб сумарний приток вологи від різних джерел зволоження ( $Q_1, Q_2, Q_3$ ) не перевищував кількості вологи, яка випаровується ( $I_{\text{вип.}}$ ), йде на змочування поверхонь ( $I_{\text{зм.}}$ ) та відводиться дренажною системою ( $I_{\text{др.}}$ ):

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \leq I_{\text{вип.}} + I_{\text{зм.}} + I_{\text{др.}} \quad (1)$$

У залежності від погодних умов та конструкції поперечного профілю автомобільної дороги деякі із доданків нерівності (1) можуть бути відсутні.

Отже, для правильного підбору діаметра дрени та товщини і коефіцієнта фільтрації піщаного



дренуючого прошарку (підстильного шару основи з піску) необхідно визначити величину  $I_{др}$  та забезпечити виконання нерівності (1).

Джерелом зволоження  $Q_3$  можна знехтувати, оскільки капілярне підняття у піщаному прошарку незначне і надходження вологи від даного джерела відсутнє або мале у порівнянні з іншими джерелами.

Для визначення величини  $Q_1$  можна використати залежність, наведену у [2], де говориться, що вода із розтавшого земляного полотна потрапляє в дреноуючий прошарок, якщо вологість ґрунту, у результаті зимового вологонакопичення, перевищує величину його повної вологості при потрібній щільності. Об'єм води (л/доба на 1 м<sup>2</sup> проїзної частини), що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною, визначають за формулою:

$$Q_1 = h_1 (W_{вес} \cdot \delta_{вес} - \beta W_T \cdot \delta) K_{II} \cdot K_r \cdot 1000, \quad (2)$$

де  $h_1$  – товщина шару ґрунту, в якому розтає лід за одну добу в активній зоні земляного полотна;

$W_{вес}$  – розрахункова весняна вологість ґрунту земляного полотна, яка залежить від характеру вологонакопичення за осінньо-зимовий сезон в даних умовах, в частках одиниці по вазі;

$W_T$  – вологість, яка відповідає межі текучості ґрунту, в частках одиниці по вазі;

$\beta$  – коефіцієнт, що показує, яка кількість води утримується в порах ґрунту, ущільненого до потрібної щільності, в долях від вологості при межі текучості ґрунту;

$\delta_{вес}$  – об'ємна вага скелета ґрунту при розрахунковій вологості, г/см<sup>3</sup>;

$\delta$  – те саме при вологості, що дорівнює  $\beta W_T$ , г/см<sup>3</sup>;

$K_{II}$  – коефіцієнт пік;

$K_r$  – коефіцієнт гідрологічного запасу.

У [1] пропонується сумарну кількість вільної води ( $Q$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> проїзної частини) протягом періоду розтавання визначати наступним чином: якщо в результаті спостережень відомі вологість і відповідна щільність ґрунтів для типової ділянки, то можливо підрахувати загальний надлишок води, яка надходить весною в дреноуючий прошарок:

$$q = h_0 (W_0 - 0,75 W_T) \delta_{0,01} + q_1, \quad (3)$$

де  $W_0$  – природна вологість ґрунту, що спостерігається безпосередньо на дорозі, % по масі;

$W_T$  – нижня межа його текучості, % по масі;

$h_0$  – розрахункова товщина шару ґрунту, з якого вода відтискається в корито, м;

$\delta$  – щільність ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;

$q_1$  – кількість інфільтруючої води через покриття, узбіччя і розділювальні смуги, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

Величина  $h_0$  складає:

$$h_0 = (3,5 \dots 4,0 D) - d, \quad (4)$$

де  $D$  – діаметр круга, рівновеликого відбитку колеса розрахункового автомобіля, м;

$d$  – загальна товщина дорожнього одягу, м.

Величини  $Q_2$ ,  $I_{вун.}$ ,  $I_{3м.}$  можна розрахувати за методикою, наведеною у [3, 4]. Кількість надходження вологи в основу проїзної частини (у м<sup>3</sup>/добу на 1 м) від атмосферних опадів визначається за залежностями:

а) інфільтрація через асфальтобетонне покриття:

$$Q_2^n = \frac{1,5 \cdot H_{ен(о)} a}{500 \cdot T''}, \quad (5)$$

б) інфільтрація через ґрунтові узбіччя:

$$Q_2^y = \frac{1,5 (H_{ен} - H_u) l}{500 \cdot T''}, \quad (6)$$

де 1,5 – коефіцієнт нерівномірності випадання опадів у часі;

$a$  – ширина односкатної або половини двоскатної проїзної частини, м;

$l$  – ширина узбіччя, м;

$T''$  – тривалість розрахункового періоду, доба;

$H_{ен(о)}$  – кількість води, що проникає в покриття за розрахунковий період, мм;

$H_{ен}$  – кількість води, що проникає в узбіччя за розрахунковий період, мм.

Алгоритм розрахунку, наведений у [3, 4], дає змогу врахувати витрати на випаровування та змочування поверхонь вже на стадії розрахунку  $Q_2$ , тому при використанні даного методу  $Q_2$ ,  $I_{вун.}$ ,  $I_{3м.}$  об'єднуються у величину  $Q_2$  і залежність (1) приймає вигляд:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 \leq I_{др}. \quad (7)$$

Чим коротшим буде період, прийнятий для розрахунку, тим більша буде його точність. Тому доцільно розбивати річний цикл на характерні періоди.

Для визначення загальної величини надходження вологи в основу проїзної частини пропонується будувати графік зміни температури повітря в річному циклі. Періоди, коли температура повітря нижча за 0 °С, не враховуються.

Кількість вологи, що відтискається із нижніх шарів земляного полотна та накопичується у зимовий період враховується тільки у "розрахунковий період" (протягом весняного розмерзання дорожньої конструкції) [5].



Далі визначається кількість надходження інфільтраційної вологи в основу проїзної частини від атмосферних опадів. Слід враховувати втрати вологи на випаровування та змочування поверхонь.

Підсумовуючи отримані значення, можна отримати графік зміни загальної величини надходження вологи в основу проїзної частини протягом року. За розрахункове приймається **максимальне із отриманих значень**.

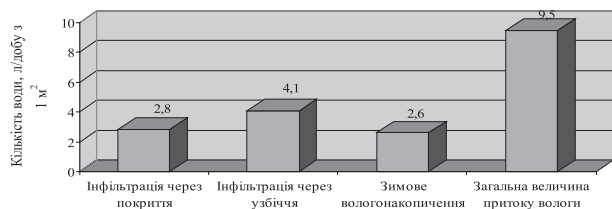
При розрахунку пропускної здатності кожного з елементів дренажної системи мілкого залягання слід забезпечити виконання так званої "**умови неперервності**" [6], яка полягає в тому, що для запобігання акумулювання води в конструктивних шарах дорожнього покриття та переповнення дренажної системи необхідно, щоб водовідвідна здатність системи підвищувалася в залежності від збільшення притоку, починаючи з моменту надходження вологи і далі по шляху її руху через підстильний піщаний шар основи, трубчаті дрени та випуски.

Ще одним важливим параметром є **час роботи дренажної системи**. Особливого значення він набуває в районах із холодним кліматом, де промерзання поширюється на значні глибини і дренажну систему слід проектувати так, щоб час витікання води з неї не перевищував допустимої межі.

У [6] пропонується тривалість 50 %-вого водовідведення при влаштуванні в дренажному шарі основи закромкових дрен визначати за формулою:

$$t = \frac{n_e \cdot D^2}{K_1 \cdot K_2 \cdot k_\phi \cdot H_0}, \quad (8)$$

де  $n_e$  – активна пористість основи;  
 $D$  – ширина схилу основи;  
 $K_1, K_2$  – безрозмірні емпіричні коефіцієнти,  $K_1=2880, K_2=196,455$ ;  
 $k_\phi$  – коефіцієнт фільтрації основи, м/с;  
 $H_0$  – п'єзометричний похил основи,  $H_0=H+s \cdot D$ ;  
 $H$  і  $s$  – відповідно товщина і поперечний похил основи.



**Рис. 2.** Результати розрахунку загальної величини надходження вологи в активну зону земляного полотна від різних джерел

Авторами виконано розрахунок [7] загальної величини надходження вологи в активну зону земляного полотна від різних джерел зволоження у весняний період для реально існуючого об'єкта, отримані результати наведені на **рис. 2**.

Подальша робота авторів буде полягати в розробці методів розрахунку пропускної здатності елементів дренажних систем мілкого залягання в залежності від загальної величини притоку вологи.

При розрахунку пропускної здатності окремих конструктивних складових дренажної системи мілкого залягання слід звернути увагу на те, що режими руху рідини в них відрізняються.

Піщаний шар є водопроникним і складається із окремих часток (піщинок), простір між якими заповнений порами. Як сказано у [8], рух ґрунтової води в пісках і водопроникних глинистих ґрунтах є **ламінарним**. Тому, якщо для розрахунку пропускної здатності підстильного шару основи з піску можна застосувати формулу Дарсі (через п'єзометричний похил, коефіцієнт фільтрації та площу перерізу), як для ламінарного потоку, то рух води у дренажній перфорованій трубці відбувається за законами **турбулентного потоку зі змінною масою** (формули (9), (10)).

Основоположником теорії руху тіл зі змінною масою вважають І.В. Мещерського, який є автором ряду робіт, присвячених даній темі [9].

У загальному випадку рівняння, що описує згаданий вище рух, має вигляд:

$$M \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} + \frac{dM_1}{dt}(\vec{U}_1 - \vec{V}) - \frac{dM_2}{dt}(\vec{U}_2 - \vec{V}), \quad (9)$$

де  $M = M_0 + M_1 + M_2$  – загальна маса матеріальної точки;

$M_0$  – постійна величина, яка дорівнює масі матеріальної точки у певний початковий момент часу;

$M_1$  і  $M_2$  – відповідно, маси, які приєдналися або відділилися від матеріальної точки за певний час;

$\vec{F}$  – вектор рівнодіючої всіх зовнішніх сил, які діють на матеріальну точку;

$\vec{V}$  – вектор швидкості матеріальної точки;

$\vec{U}_1$  і  $\vec{U}_2$  – відповідно, вектор швидкості центра інерції мас, що приєднуються або відєднуються.

Одним із найбільш вдалих записів рівняння плавномірного неусталеного руху рідини зі змінною масою є рівняння, запропоноване Г.А. Петровим [10]:

$$\frac{\alpha_0}{g} \left( v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( z + \frac{P}{\rho g} \right) + \frac{\alpha_0(v-\theta)}{gQ} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} v + \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + i_f = 0, \quad (10)$$

де  $\alpha_0$  – коректив кількості руху (коефіцієнт Бусінеска);



$Q, V, P$  – відповідно, витрата, середня швидкість, гідрометричний тиск на відстані  $x$  від початку труби;  $i_f$  – гідравлічний похил, викликаний дією сил тертя.

Перевагою рівняння (10) перед рівнянням (9) є те, що з його допомогою описується рух потоку рідини, а не окремих її матеріальних точок.

Дані залежності можна прийняти за основні при дослідженні процесів руху рідини у перфорованій трубці дренажу мілкового залягання та для розрахунку її параметрів.

Також на стадії проектування дренажної системи слід пам'ятати [1], що з часом щільність матеріалу дренажного шару підвищується через:

- 1) його ущільнення;
- 2) підвищення вмісту більш дрібних часток, що є наслідком подрібнення і перетирання крупніших зерен дренажного матеріалу;
- 3) його забруднення ґрунтовими частками, які рухаються разом з водою у зваженому вигляді.

Розрахувати зменшення фактичної товщини піщаного шару  $\Delta h$  можна за емпіричною формулою:

$$\Delta h = \frac{NTK_N v_B}{N_p}, \quad (11)$$

де  $N$  – перспективна середньорічна вантажна напруженість, млн. брутто-тон;

$T$  – перспективний строк служби дорожніх одягів;

$K_N$  – коефіцієнт, що характеризує відставання швидкості взаємопроникнення при збільшенні вантажна напруженості;

$N_p$  – вантажна напруженість, млн. брутто-тон;

$v_B$  – швидкість взаємопроникнення піщаного шару і ґрунту земляного полотна, що виражається в мм/год, з розрахунку вантажна напруженості на одну смугу руху в розмірі  $N_p = 1$  млн. брутто-тон.

## Висновки

Для правильного розрахунку дренажної системи мілкового залягання слід враховувати погодно-кліматичні особливості регіону, "умову неперервності" роботи дренажної системи, забезпечити відведення води за час, який не перевищує допустимий, а також той факт, що щільність матеріалу дренажного шару підвищується з часом. Необхідно враховувати режими протікання рідини в кожному із конструктивних елементів та приділити особливу увагу врахуванню особливостей руху водного потоку в дренажній системі, як неоднорідного турбулентного зі змінною масою.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.
2. Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). – М., 1974.
3. Предложения по совершенствованию дренажа автомобильных дорог в выемках / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). – М., 1969.
4. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна (на основе регулирования водно-теплового режима). – М.: Транспорт, 1982. – 166 с.
5. ВБН В.2.3–218–186–2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
6. Селергрет Г.Р. Дренаж дорожных одежд и аэродромных покрытий: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 280 с.
7. Славівська О.С., Стюжка В.В. Дослідження процесів вологонакопичення в дорожніх конструкціях з дренажними прошарками // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2009. – Ч. 1. – Вип. 3 (47). – С. 488 – 495.
8. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергия, 1975. – 600 с.
9. Мещерский И.В. Динамика точки переменной массы. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1952.
10. Петров Г.А. Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути // Известия НИИГ. – 1940. – Вип. 28. – С. 63 – 72.

## З Листопада УКРАВТОДОР ВІДКРИВ РУХ НА ОБХОДІ М. ЛУГАНСЬК

Будівництво автомобільної дороги М-04 Знам'янка – Луганськ – Изварине на ділянці від кв. Южний до с-ща Хрящувате в обхід м. Луганська було розпочато у 2006 р. і зупинено у 2008–2009 рр. У червні 2010 р. будівництво було поновлено. Довжина новобудови склала 24,7 км. Дорога збудована за параметрами II технічної категорії з шириною проїзної частини 10,5 м.

На об'єкті у стислі строки виконано великий обсяг робіт: відкрито три транспортних розв'язки у двох рівнях; при виконанні земляних робіт використано понад 2,2 млн. м<sup>3</sup> ґрунту; влаштовано 413 тис. м<sup>2</sup> дорожнього одягу; збудовано 93 штучних споруди, зокрема один міст та 4 шляхопроводи, 6 скотопрогонів (п'ять із гофрованого металу та один залізобетонний); улаштовано 12 км ліній електроосвітлення на 4-х пересіченнях автодоріг та шляхопроводів на вул. Знам'янка; встановлено 34 тис.

пог. метрів бар'єрної огорожі, 839 дорожніх знаків, нанесено понад 288,3 км ліній дорожньої розмітки. Асфальтобетонними заводами за участю ДНТЦ "Дор'якість" виготовлено близько 47 тис. тонн щебенево-мастикового асфальтобетону.

Загальна вартість будівництва – 502 млн. грн.

Введення в експлуатацію автомобільної дороги Знам'янка – Луганськ – Изварине на ділянці від кв. Южний до с-ща Хрящувате в обхід м. Луганська, км 0+000 – км 24+700, дає змогу забезпечити рух транзитного транспорту поза межами м. Луганська як у напрямку м. Донецька, так і в напрямку Изварине та вирішує одне із головних питань мешканців обласного центру – розвантаження вулиць міста від великогабаритного руху транзитного транспорту і, як наслідок, покращення екологічного стану міста.