

**ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ  
„ВОДИТЕЛЬ - АВТОМОБІЛЬ - ЗОВНІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ - ДОРОГА”**

План лекції

Введення

- 1.1. Структурна схема системи
- 1.2 Техніко-економічні показники системи
- 1.3 Підсистема „водій-зовнішнє середовище”
- 1.4 Підсистема „водій-дорога”
- 1.5 Підсистема „дорога-зовнішнє середовище”
- 1.6 Вплив рівності покриття на рух автомобіля

**ВВЕДЕННЯ**

У єдиній транспортній системі України істотну роль грає автомобільний транспорт. Їм перевозиться велика частина вантажів і пасажирів. Автомобільний транспорт має ряд переваг:

1. Відносно велика швидкість і маневреність;
2. Мала собівартість перевезень на короткі відстані;
3. Можливість безперевантажних перевезень.

Що таке автомобільна дорога? Автомобільна дорога - це комплекс споруд, призначених забезпечити безпечну, високопродуктивну і ефективну роботу автомобільного транспорту по перевезенню вантажів і пасажирів відповідно до завдань народного господарства. Ефективність роботи автомобільного транспорту багато в чому залежить від технічного рівня і стану автомобільних доріг. При погіршенні технічного стану дорогий і перш за все рівності і міцності проїжджої частини знижується продуктивність і безпека автомобілів, підвищується собівартість перевезень.

Під експлуатацією доріг розуміють найбільш ефективне використання

дорогий для забезпечення безпечного, зручного, цілорічного руху автомобілів із заданими швидкостями і навантаженнями з максимальним ефектом в народному господарстві.

Для якісної експлуатації доріг організована дорожньо-експлуатаційна служба. Основним завданням, яким є:

1. Утримання і ремонт всього комплексу споруд дороги;
2. Забезпечення високих техніко-економічних показників роботи автомобільного транспорту.

З кожним роком експлуатації доріг приділяється вся більша увага. Основними проблемами експлуатації доріг в даний час є:

1. Підвищення безпеки руху;
2. Вивчення працездатності і встановлення термінів служби;
3. Оцінка умов роботи дороги під дією автомобільного руху і природних чинників;
4. Зимовий утримання дорогий;
5. Розробка технології утримання і ремонту доріг, на основі комплексної механізації;
6. Розробка ефективних методів організації експлуатації дорогий.

## 1.1. СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ

Автомобільний транспорт включає транспортні засоби і автомобільні дороги (шлях і допоміжні пристрої), що забезпечують перевезення вантажів і пасажирів відповідно до запитів народного господарства країни.

Експлуатація автомобільного транспорту є експлуатацією автомобілів і доріг і є складною взаємозв'язаною системою, в якій ефективність роботи автомобілів визначається станом дорогий, а довговічність доріг залежить від умов експлуатації автомобілів. Для розробки найбільш ефективних методів експлуатації доріг необхідне комплексне дослідження процесу взаємодії всіх елементів, складових систему експлуатації автомобільного транспорту.

Стосовно транспортного процесу на основі принципів системотехніки

структурну схему системи з деякими умовностями можна представити у вигляді чотирьох блоків: „водій-автомобіль-зовнішнє середовище-дорога” (рис. 1). Така схема дозволяє аналізувати як систему в цілому, так і окремо підсистеми.

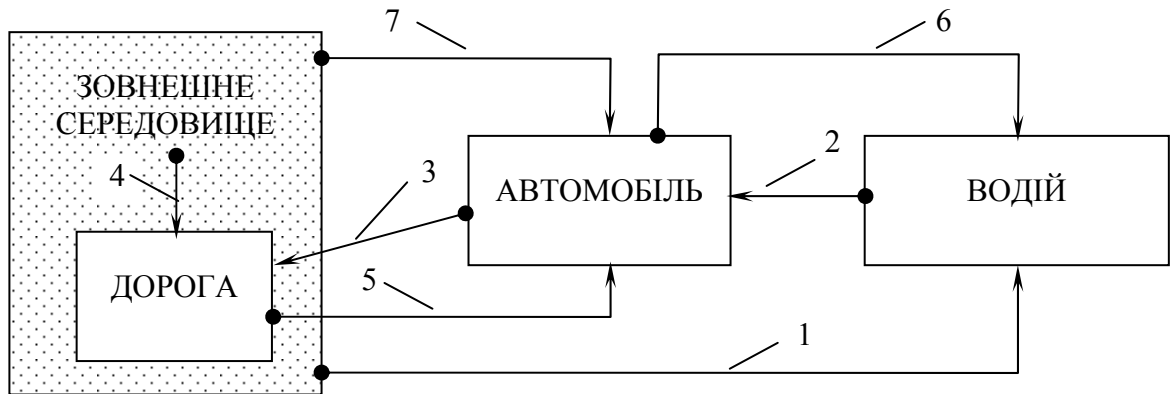


Рис. 1 - Структурна схема системи експлуатації автомобільного транспорту

У структурній схемі можна виділити наступні основні підсистеми:

1 - зовнішнє середовище водій; 2 - водій-автомобіль; 3 - автомобіль-дорога; 4 - зовнішнє середовище-дорога; 5 - дорога-автомобіль; 6 - автомобіль-водій; 7 - зовнішнє середовище-автомобіль.

При необхідності кожен підсистему можна представити окремими елементами. Для автомобіля - це колеса, підвіска, трансмісія, механізм управління, кузов, двигун. Для зовнішнього середовища - це озеленення, дорожні знаки, зустрічні і попутні транспортні засоби, температура повітря і так далі.

Підсистема „зовнішнє середовище-водій” є інформаційною моделлю транспортного процесу. Вона базується на психофізичних особливостях взаємодії водія з умовами руху. Зовнішнє середовище є інформаційним полем, яке формує у водія емоційну напругу. Водій, аналізуючи зовнішнє середовище, обирає таку орієнтацію, яка забезпечує безпеку руху і мінімальну емоційну напругу. У цьому суть взаємодії компонентів даної підсистеми. Дослідження цієї підсистеми має велике значення при експлуатації дороги - аналізі безпеки руху, вивченні режимів руху, облаштуванні дороги знаками, розміткою і ін.

Підсистема „водій-автомобіль” - ергономічна модель, що базується на фізіологічних можливостях водія і виконавчих механізмах автомобіля. Отримавши від зовнішнього середовища інформацію і проаналізувавши її, водій, взаємодіючи з виконавчими механізмами, управляє рухом автомобіля, задає йому раціональну траєкторію і режим руху. При поєднанні руху автомобілів на дорозі створюється транспортний потік. Дослідження цієї підсистеми має велике значення при вирішенні окремих завдань по експлуатації автомобілів - ефективності управління автомобілем і можливості його раціонального руху, регулюванню руху, вивченню закономірностей руху потоків.

Підсистема „автомобіль-дорога” є механічною моделлю транспортного процесу. У цій підсистемі відбувається взаємодія автомобіля з дорожнім одягом через підвіску і колеса. В результаті в дорожньому одязі і полотні виникає напружений стан, що впливає на міцність і довговічність одягу. Дослідження даної підсистеми дозволяє вивчити причини утворення різних деформацій дорожнього одягу, визначити міцність проїзної частини дороги і відповідність її фактичному руху, розробити різні заходи (утримання і ремонт) щодо підтримки доріг в хорошому технічному і естетичному стані.

Підсистема „зовнішнє середовище-дорога” - складна тепломасообмінна модель. Вона базується на аналізі водно-теплової дії географічних комплексів (клімату рельєфу місцевості, ґрунтів, гідрології, гідрогеології) на дорогу. В результаті дій чинників зовнішнього середовища в проїзній частині доріг виникають напруга і деформації, що приводять до погіршення рівності покриття, порушенню стійкості проїзної частини дороги. Дію атмосферних опадів погіршує експлуатаційний стан покриттів. Дослідження підсистеми дозволяє розробити заходи щодо підвищення стійкості доріг і безпеки руху.

Підсистема „дорога-автомобіль” є динамічною моделлю (зворотний зв'язок підсистеми „автомобіль-дорога”). Вона базується на аналізі коливального процесу при русі автомобіля по проїзній частині. Унаслідок наявності різних нерівностей покриттів автомобіль випробовує випадкові дії. Це викликає складний коливальний процес коліс, кузова і автомобіля в цілому. Дослідження

підсистеми є важливим в теорії експлуатації автомобілів. Воно дозволяє вирішувати різні задачі - розраховувати витрату палива, визначати можливу швидкість руху, продуктивність автомобілів і ін.

Підсистема „автомобіль-водій” є зворотним зв'язком підсистеми «водій-автомобіль». Аналіз цієї підсистеми дозволяє вивчити вплив умов руху на працездатність водіїв. Зокрема, можуть бути встановлені граничні норми вібрації і шуму для водіїв, ефективність розстановки органів управління, розміри салону автомобілів і ін.

Підсистема „зовнішнє середовище-автомобіль” представляє інтерес при дослідженні надійності автомобілів, їх роботи в різних кліматичних умовах.

Всі підсистеми між собою в тій чи іншій мірі взаємозв'язані. При розробці принципів експлуатації дорогий першорядного значення набуває аналіз підсистеми: „зовнішнє середовище-водій” „автомобіль-дорога” „зовнішнє середовище-дорога”. Фізико-механічний аналіз цих підсистем є теоретичною основою експлуатації автомобільних доріг.

## 1.2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ СИСТЕМИ

Для оцінки ефективності використання, а також організації безперебійного і безпечного руху автомобілів із заданою пропускнуою спроможністю застосовують систему техніко-економічних показників (ТЕП):

1. Продуктивність автомобілів;
2. Собівартість перевезень;
3. Безпека руху (збитки).

Річну продуктивність автомобіля  $\Pi$  (ткм/год) визначаємо по формулі

$$\Pi = \frac{T \cdot q \cdot K_{ГР} \cdot K_{ПР} \cdot V \cdot \ell \cdot K_B}{\ell + V \cdot K_{ПР} \cdot t} \quad (1)$$

де  $T$  - кількість робочого годинника в році;  $q$  - вантажопідйомність (т);  $K_{ГР}$ ,  $K_{ПР}$  - коефіцієнти використання відповідно вантажопідйомності і пробігу;  $V$  -

середня швидкість (км/год);  $\ell$  - довжина пробігу (км.);  $K_B$  - коефіцієнт використання часу;  $t$  - час під вантаженням і розвантаженням за одну їзду, год.

З рівняння (1) видно, що продуктивність істотно залежить від вантажопідйомності автомобіля і швидкості руху.

Міцність дорожнього одягу і рівність покриття роблять значний вплив на продуктивність автомобіля. Дорожній одяг меншої міцності обмежує вантажопідйомність, а стан покриття по рівності істотно впливає на швидкість руху. Тому одним із завдань дорожньої служби є забезпечення необхідної міцності і рівності дорог. Собівартість перевезень  $C$  (коп/ткм) характеризує економічну ефективність роботи автомобільного транспорту і визначається по формулі

$$C = \frac{Z_{\text{пр}}}{\Pi} \quad (2)$$

$$Z_{\text{пр}} = (Z_1 - Z'_1) + Z_2 + Z_3 + Z_4 + (Z_a + Z_d) - Z_5,$$

де  $\Pi$  - продуктивність автомобіля в рік, ткм/рік;  $Z_{\text{пр}}$  - приведені річні витрати на придбання автомобілів, їх експлуатацію, будівництво і експлуатацію доріг, грн.;  $Z_1, Z'_1$  - приведені витрати на придбання рухомого складу і їх залишкова вартість, грн.;  $Z_3$  - приведені витрати на будівництво доріг і всього комплексу дорожніх і транспортних споруд, грн.;  $Z_2, Z_4$  - приведені витрати на середні і капітальні ремонти відповідно автомобілів і доріг, грн.;  $Z_a$  - приведені поточні витрати на експлуатацію автомобілів, грн.;  $Z_d$  - приведені дорожні витрати на поточний ремонт і утримання доріг, грн.;  $Z_5$  - приведені збитки від дорожньо-транспортних подій, грн.

Систематична підтримка доріг в належному стані сприяє зниженню вартості перевезень.

Аналізуючи системи, велику увагу потрібно приділити безпеці руху. Збитки в народному господарстві від дорожньо-транспортних подій можна оцінити матеріальними втратами, віднесеними до величини пробігу  $\ell$ :

$$Z = \frac{(\Pi_1 + \Pi_2) \cdot C_{\text{CP}} + C_1 + C_2}{\ell} \quad (3)$$

де  $\Pi_1$  - втрати (непрацездатність) унаслідок каліцтва, людино-день;  $\Pi_2$  - те ж, при нещасних випадках із смертельним результатом, обчислювані за період від моменту загибелі до пенсійного віку;  $C_{\text{CP}}$  - середня денна ставка, грн.;  $C_1$  - витрати на ремонт автомобілів, грн.;  $C_2$  - збитки від втрати вантажів, грн.

В окремих випадках для аналізу може притягуватися ряд інших додаткових показників, що характеризують особливості взаємодії різних підсистем.

Представлена структурна схема експлуатації автомобільного транспорту є основою для розробки теорії експлуатації доріг, а приведені ТЕП дають можливість кількісно оцінити цю систему.

### 1.3. ПІДСИСТЕМА „ВОДІЙ-ЗОВНІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ”

Аналіз структурної схеми (див. рис. 1) показує, що основна роль у функціонуванні системи належить водієві. Він управляє автомобілем і вибирає раціональну схему і режим руху. Від психофізіологічних особливостей водія і взаємодії його із зовнішнім середовищем багато в чому залежать ТЕП системи. Тому принциповий розвиток експлуатації доріг повинен базуватися, перш за все, на аналізі підсистеми „водій-автомобіль-зовнішнє середовище”.

Під зовнішнім середовищем в даному випадку розуміється комплекс предметів і явищ, що впливають на трудову діяльність водіїв. Це: 1. Навколишній ландшафт; 2. Атмосферні умови (туман, дощ, сонячна радіація, вітер); 3. Видимість і освітленість проїжджої частини; 4. Дорожні знаки і покажчики; 5. Зустрічні і попутні транспортні засоби, пішоходи, озеленення, будівлі; 6. Стан, ширина, колір проїзної частини і узбіч; 7. Мікроклімат в салоні автомобіля і ін.

Зовнішнє середовище безперервно впливає на водія. Теорію взаємодії

водія із зовнішнім середовищем можна обґрунтувати на інформаційній моделі емоцій П.В. Симонова.

Теорія взаємодії ґрунтується на наступному принципі - водій, взаємодіючи із зовнішнім середовищем, забезпечує максимальну безпечну швидкість руху, яка пов'язана з продуктивністю П. Діапазон зрушення нервової напруги Е, унаслідок сприйняття інформації від і-го об'єкту зовнішнього середовища обумовлює емоційну напругу Є, тобто

$$\mathcal{E}_i = \Delta E = E_1 - E_2, \quad (4)$$

Для підсистеми повинно бути:

$$\text{при } \mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \quad V \rightarrow V_{\max}; \quad \Pi \rightarrow \Pi_{\max}; \quad \mathcal{Z} \rightarrow \mathcal{Z}_{\max}$$

де  $\mathcal{E}_0$  - оптимальна величина емоційної напруги, мкА;  $V$  - швидкість автомобіля (км/год);  $\Pi$  - продуктивність автомобіля (ткм/рік);  $\mathcal{Z}$  - збитки в народному господарстві.

Експериментально встановлено, що  $\mathcal{E}_0 = 5,5$  мкА. При  $5,0 < \mathcal{E}_0 < 5,5$  мкА точність управління автомобілем знижується.

Емоційна напруга водія від окремого подразника рівна

$$\mathcal{E}_i = K \cdot (H_i - C_i), \quad (5)$$

де  $K$  - коефіцієнт перетворення інформації в емоційну напругу, рівний орієнтування 1,3 мкА;  $H_i$  - інформація, яку отримує водій від зовнішнього середовища, бит;  $C_i$  - інформація, накопичена водієм в практичній діяльності, залежна від його стажу роботи, бит.

При русі емоційна напруга у водія накопичується, тобто підсумовується емоційна напруга від даної і попередніх ситуацій.



При русі водій безперервно отримує інформацію про зовнішнє середовище, переробляє, аналізує її і приймає те або інше рішення. Суб'єктивне віддзеркалення зовнішнього середовища засноване на психофізіологічних особливостях водія. Простою формою суб'єктивного віддзеркалення є відчуття. Під абсолютним порогом відчуттів розуміють мінімальну величину подразника, що діє на органи чуття водія, що викликає помітне відчуття.

Синтезом відчуттів є сприйняття - безпосереднє плотське віддзеркалення зовнішнього середовища в цілому. Під абсолютним порогом сприйняття розуміють найменший об'єм інформації, що міститься в ознаках предметів і явищ дорожнього середовища, який викликає плотське віддзеркалення зовнішнього середовища. Перевищення цього об'єму сприяє сприйняттю предметів або явищ як єдиного цілого.

На основі відчуттів і сприйнять виникає уявлення про зовнішнє середовище, тобто відтворення в свідомості колишніх сприйнять.

Якщо водієві недостатньо інформації, що поступає із зовнішнього середовища, то знижується абсолютний поріг сприйняття і поступає більший об'єм інформації. При зайвій кількості інформації абсолютний поріг сприйняття підвищується і обмежує притока відомостей.

Існує оптимальний об'єм відомостей, при якому водій упевнено управляє автомобілем і своєчасно реагує на зміну зовнішньої обстановки. Перевантаження водія інформацією, що поступає, викликає відмову, тобто стан, коли водій не сприймає зміну об'єму інформації, що поступає. Це приводить до неправильної оцінки ситуації, що створюється. Об'єм інформації, при якому настає відмова, називається порогом насичення. За цим порогом приймальна система водія не реагує на збудження.

При сприйнятті інформації, що поступає, беруть участь всі органи чуття водія. Головним в діяльності водія є зорове сприйняття простору і руху. У цьому сприйнятті носіями інформації служать градієнти кутових швидкостей руху габаритних крапок, що формують предмети зовнішнього середовища.

Інформацію, накопичену водієм в практичній діяльності, визначаємо по формулі

$$C_i = H_i \cdot p_i, \quad (6)$$

де  $p$  - частка інформації  $C_i$  від  $H_i$ , тобто вірогідність безаварійного проїзду в даній ситуації. ( $C_i$  - інформація, накопичена водієм в практичній діяльності,  $H_i$  - інформація, яку отримує водій від зовнішнього середовища)

Уявлення про швидкість зближення рухомого об'єкту і автомобіля можна оцінити:

$$V = 83 \cdot (\lg \cdot (V - V_1) - 1), \quad (7)$$

де  $V, V_1$  - швидкості руху відповідно автомобіля я об'єкту, км/год.

Якщо інформація  $C_i$  недостатня для компенсації інформації  $H_i$ , то для забезпечення безаварійного руху у водія виникає емоційна напруга, за якою водій оцінює небезпеку перешкод і ситуації в цілому і орієнтує автомобіль на проїзній частині.

#### 1.4. ПІДСИСТЕМА „АВТОМОБІЛЬ-ДОРОГА”

Розглянемо підсистему „автомобіль-дорога”. Вона в значній мірі визначає основні ТЕП.

Взаємодією автомобіля і дороги є складний комплекс, аналіз якого дозволяє оцінити стійкість автомобіля, вплив зовнішнього середовища на умови руху і механічні дії на дорожній одяг.

На одяг від коліс рухомого складу передаються статичні навантаження при зупинці автомобілів і короткочасні при русі.

При статичному завантаженні колесо передає на покриття навантаження  $Q$ . Нормальна реакція дороги  $R = Q$  прикладена в центрі сліду колеса (рис. 2, а).

На провідному колесі (рис. 2, б) додатково діє момент  $M_K$ , що крутить, і викликає в площині сліду окружну силу  $P_K$ , направлену убік, зворотну руху.

Сила  $P_K$  викликає горизонтальну реакцію  $T = P_K$  завдяки чому відбувається рух автомобіля.

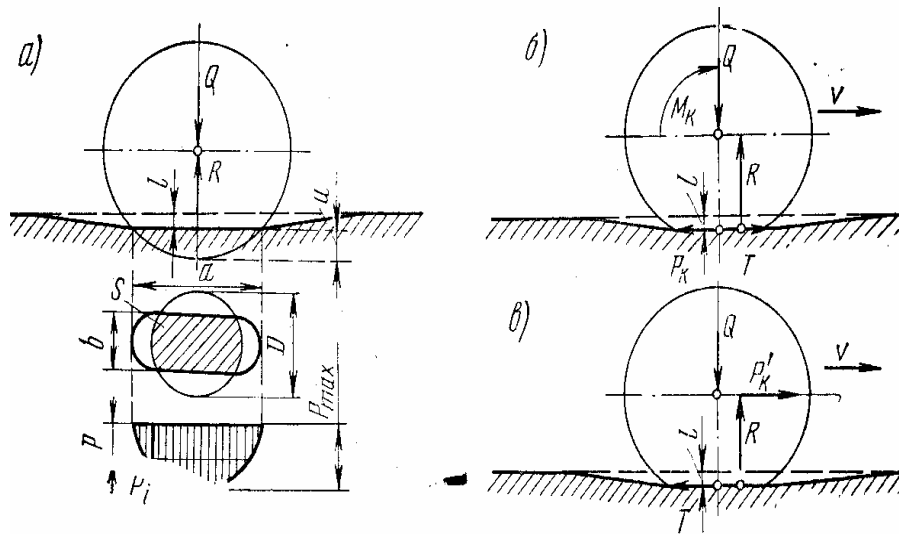


Рис. 2 Схема сил, які передаються на дорожній одяг:

а) від нерухомого колеса; б) від провідного колеса; в) від веденого колеса.

$Q$  - навантаження від автомобіля, кН;  $R$  - нормальна реакція дороги;  $l$  - прогин покриття, см;  $D$  - діаметр круга, см;  $S$  - площа відбитку, см;  $a$  - велика вісь еліпса, см;  $b$  - менша вісь еліпса, см;  $u$  - величина стиснення шини, см;  $M_K$  - момент, що крутить;  $P_K$  - окружна сила;  $T$  - горизонтальна реакція;  $V$  - швидкість авто-ля, км/год;  $P'_K$  - тягова сила.

На ведене колесо (рис. 2, в) діє тягова сила  $P'_K$ . Горизонтальна реакція  $T = P'_K$  направлена убік, зворотну руху. Вертикальна реакція  $R$  рухомих коліс зміщена по сліду у бік руху. Таким чином, при стоянці автомобіля в одязі і полотні дороги виникає вертикальна реакція, а при русі - вертикальна і горизонтальна.

Взаємодію автомобіля і дороги можна характеризувати наступними основними показниками: 1. Розміром навантаження або середнім тиском за площею відбитку колеса  $p$ ; 2. Частотою прикладання навантаження; 3. Прогином (деформацією) покриття  $l$ ; 4. Опором коченню  $f$ ; 5. Зчепленням колеса з покриттям  $\phi$ .

При визначенні середнього тиску в розрахунок приймають площу відбитку по виступах протектора. Площу відбитку приймають умовно у вигляді круга діаметром  $D$ , рівновеликим площі еліпса, обчислюють за формулою

$$D = \sqrt{\frac{40 \cdot Q}{\pi \cdot p}} \quad (8)$$

Залежно від величини  $p$  в дорожньому одязі і полотні виникають напруга і деформації.

ДБН В.2.3.4:2007 „Автомобільні дороги” передбачає рух по дорогах вищих категорій (I-III) автомобілів групи А. Дорожній одяг останніх категорій, розраховують на навантаження від автомобілів групи Б.

Таблиця 1.1 Розрахункових параметрів навантаження зведених у ВБН В.2.3-218-186-2004 Дорожній одяг нежорсткого типу

Категорія дороги	Група розрахункового навантаження	Нормативне статичне навантаження на вісь, кН	Нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля, Q, кН	Розрахункові параметри навантаження		
				P, МПа	$D_H$ , см нерухомий	$D_D$ , см рухомий
I, II	A <sub>1</sub>	115	57,5	0,80	30,0	34,5
III – IV	A <sub>2</sub>	100	50	0,60	33,0	37,0
V	Б	60	30	0,50	28,0	32,0

Унаслідок еластичності, шини деформуються. Величина стиснення шини  $u$  рівна: (див. рис. 2, а)

$$u = K_y \cdot Q, \quad (9)$$

де  $K_y$  - коефіцієнт, що характеризує пружність шини; залежить від її

конструкції і тиску повітря;  $Q$  - навантаження на колесо.

В процесі руху автомобіля площа  $S$  зменшується унаслідок ряду причин. Наприклад, при наїзді коліс на нерівності проїжджої частини площа відбитку  $S$  зменшується. Унаслідок тертя об покриття колесо нагрівається, температура повітря і тиск  $P_B$  зростають, жорсткість шини збільшується. АБО При русі автомобіля виникають неповні деформації  $u$ , тому площа  $S$  зменшується. Таким чином, із зростанням швидкості руху площа  $S$  зменшується, а середній тиск  $P$  збільшується.

Дорожній одяг випробовує, як правило, дію короткочасних навантажень. Тривалість їх дії  $t_H$  залежно від швидкості руху автомобілів коливається від 0,01 до 0,3 с.

Із зростанням вагових параметрів автомобілів  $p$  і  $D$  імпульси збільшуються. За наявності на покриттях нерівностей короткочасні навантаження мають ударний характер і зростають. Небезпечнішими є статичні навантаження.

Частий додаток навантажень до матеріалу одягу із структурою, що не відновлюється, сприяє накладці імпульсів і виникненню втомних явищ в шарах одягу. Це може викликати залишкові деформації. Тому при оцінці впливу навантажень, окрім швидкості, важливе значення має і частота завантаження, що характеризується інтенсивністю руху  $N$ . Таким чином, при оцінці навантажень, передаваних автомобілями на одяг, необхідно враховувати  $p$ ,  $D$ ,  $V$ ,  $N$ .

При дії на дорогу статичних або короткочасних навантажень в дорожньому одязі виникає напруга і як наслідок деформації  $\ell$  (див. рис. 2).

Продуктивність автомобіля - як найважливіший ТЕП системи залежить не тільки від максимально можливої вантажопідйомності автомобіля, але і від максимально можливої в даних дорожніх умовах швидкості руху, від навантаження на колесо, його розмірів, тиску повітря в камері шин, тертя колеса об покриття, міцності одягу, рівності покриття, швидкості руху.

Опір коченню залежить від швидкості руху, еластичності шини і стану

поверхні дорожнього покриття.

Коефіцієнт опору коченню зростає із збільшенням швидкості, оскільки кінетична енергія колеса при наїздах на нерівності прямо пропорційна квадрату швидкості кочення. Практично значення  $f$  залишається постійним до швидкості 50 км/год для певного типу покриття:

Покриття	Значення $f$
Асфальтобетонне (дрібнозерниста суміш)	0,005 – 0,01
Асфальтобетонне (с/з, к/з суміш), цементобетонє, поверхнево оброблене	0,01 – 0,02
Щебеневе, оброблене в'язким матеріалом	0,02 – 0,03
Щебеневе і гравієве оброблене в'язким матеріалами	0,03 – 0,06
Рівна суха ґрунтова дорога	0,03 – 0,06
Мозаїчна мостова	0,01-0,02
Бруківка	0,04-0,06

Важливим показником взаємодії колеса з покриттям є коефіцієнт зчеплення  $\varphi$ . Тому для забезпечення ефективної роботи автомобіля необхідно створювати покриття, що мають підвищені значення  $\varphi$ .

Розрізняють два види коефіцієнтів зчеплення:  $\varphi_1$  - коефіцієнт подовжнього зчеплення при русі колеса в площині кочення і  $\varphi_2$  - коефіцієнт бічного (поперечного) зчеплення при бічному занесенні автомобіля. Два ці коефіцієнта  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  складають коефіцієнт зчеплення  $\varphi$ . Чисельні значення  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  близькі між собою, для сухих покриттів  $\varphi_2 < \varphi_1$  приблизно на 10%.

Коефіцієнт зчеплення залежить від типу покриття, його стану (шорсткості, рівності, вологості, забруднення), конструкції шини, ступеня зношеності протектора, навантаження на колесо, швидкості руху автомобіля і ін.

Помітний вплив на  $\varphi$  надає швидкість руху. При  $V = 50-60$  км/год  $\varphi$  знижується в 2-3 разу в порівнянні із значеннями при  $V = 5-10$  км/год. Наявність окремих нерівностей на покритті сприяє зниженню  $\varphi$ .

Таблиця 1.2 - Значення  $\phi$ 

Стан покриття	Умови руху	$\phi$ (при швидкості 60 км/год)
Сухе, чисте	Особливо сприятливі	0,7
Сухе, чисте	Нормальні	0,5
Вологе, брудне	Несприятливі	0,3
Ожеледь	Особливо несприятливі	0,1-0,2

Наявність окремих нерівностей на покриттях вносить істотні корективи до характеру взаємодії колеса з дорожнім одягом.

### 1.5. ПІДСИСТЕМА „ДОРОГА-ЗОВНІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ”

Окрім навантажень від автомобілів, дорога випробовує безперервні дії природних чинників - кліматичних, гідрологічних, гідрогеологічних, умовно об'єднаних в термін «зовнішнє середовище». Аналіз підсистеми «дорога-зовнішнє середовище» має першорядне значення при оцінці міцності і довговічності одягу.

У холодний період року атмосферні осідання впливають на дорогу у вигляді снігу. Залежно від товщини снігового покриву  $h_c$ , напряму і сили вітру на проїжджій частині відкладається сніг, що знижує швидкість руху. В окремих випадках із-за снігозаносів рух автомобілів повністю припиняється. В період зимової відлиги залежно від поєднань температури, вологості повітря і кількості опадів на покритті утворюється кірка льоду (ожеледь). Коефіцієнт зчеплення  $\phi$  різко падає.

Дію чинників зовнішнього середовища визначає формування воднотеплового режиму, снігопереніс і снігозаносимість дорогий. В результаті комплексної дії чинників зовнішнього середовища на проїжджій частині можуть виникати деформації, сніговідкладення, ожеледь. Все це істотно погіршує основні транспортно-експлуатаційні показники системи. Для підвищення ТЕП дорожня служба проводить різні заходи, сприяючі

підвищенню міцності і рівності одягу, збільшенню зчеплення шини з покриттям, захисту дорогий від снігозаносів і ін.

## 1.6 ВПЛИВ РІВНОСТІ ПОКРИТТІВ НА РУХ АВТОМОБІЛІВ

На покриттях доріг спостерігаються нерівності різної форми і розмірів (вибоїни, западини, виступи, зрушення, хвилі, сходинки), що визначають мікропрофіль покриття. Нерівності характеризуються дуже великою нерівномірністю: подовжньою і поперечною. На асфальто- і цементобетонних покриттях доріг вищих категорій нерівності в основному мають висоту (або глибину) до 20 мм; щебених, оброблених органічними в'язкими матеріалами, 30-40 мм; гравієвих і щебених - 50 мм.

При русі автомобілів по нерівній поверхні виникають вертикальні, подовжні і поперечні коливання автомобілів, істотно погіршуються умови їх руху. Рівність покриттів значно впливає на швидкість руху, міжремонтні пробіги автомобілів, витрату палива і шин, продуктивність автомобілів, собівартість перевезень і безпеку руху.

Коливання, що виникають при русі автомобіля по нерівній поверхні, розділяють на несталі і сталі (рис. 4).

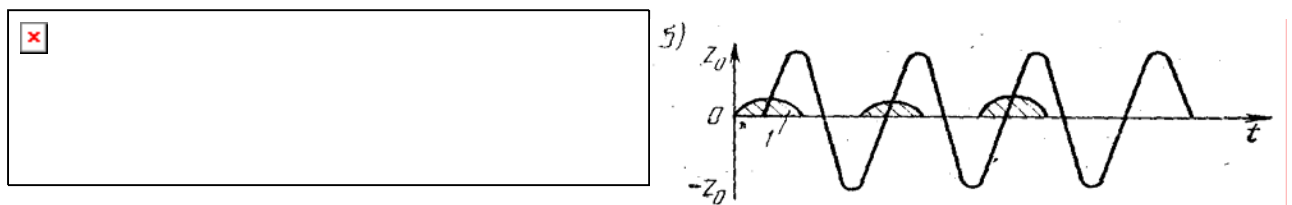


Рис. 4 Види коливання автомобіля при взаємодії з дорогою

а) несталі; б) сталі; 1 - нерівності дорогі; t - час;  $Z_0$  - амплітуда коливань

Несталі коливання виникають при наїзді на одиничні нерівності або нерівності різного контуру, що часто повторюються. Це найбільш поширений випадок. Сталі коливання спостерігаються при періодично діючих на автомобіль обурюючих силах, коли рух відбувається по дорозі з більш менш однаковими видами нерівностей (хвилі, стики бетонних плит і др).



Залежно від характеру мікропрофілю покриття, може бути два випадки взаємодії: у першому випадку автомобіль взаємодіє з одиничними нерівностями, в другому - з що безперервно чергуються.

Мікропрофіль проїжджої частини характеризується довжиною і глибиною западин або виступів. При русі автомобіля колесо при наїзді на нерівності випробовує удар. Сила удару пропорційна глибині западини  $h$  (або висоті виступу). Максимальний удар спостерігається, коли колесо потрапляє на середину западини завдовжки  $\ell_{ВП}$ . При цьому швидкість руху автомобіля буде критичною  $V_{кр}$ . Рух автомобіля із швидкістю більшого або менше критичною сприятиме меншому зносу автомобіля і деформації одягу.

Чим частіше зустрічаються одиничні нерівності одягу, тим більше частота несталих коливань  $\nu$ . Із зростанням швидкості і зменшенням довжини хвилі нерівностей коливання ( $\nu$ ) зростає

$$\nu = \frac{2 \cdot \pi \cdot V}{\ell} \quad (10)$$

Мікропрофіль покриттів може бути оцінений статистичними характеристиками:

$m$  - числом виступів (западин на 1 км.);

$\sum h_i$  - сумарною величиною виступів (западин) на 1 км.;

$h_{CP}$  - середньою величиною виступів (западин) на 1 км.;

$\sigma$  - середньоквадратичним відхиленням величин виступів (западин);

$\mu$  - коефіцієнтом варіації рівності

$$h_{CP} = \frac{\sum h_i}{m}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (h_{CP} - h_i)^2}{m-1}}; \quad \mu = \frac{\sigma}{h_{CP}} \quad (11)$$

Прогини ресор автомобіля (переміщення кузова і коліс) змінюються пропорційно  $\sum h_i$ .

Характеристику мікропрофілю покриттів можна встановити безпосередньо за допомогою різних профілографів, побічно по коливанню автомобіля або його вузлів. У останньому випадку найбільший інтерес представляє аналіз вертикальних коливань.

Рівність покриттів оцінюють: прискореннями вузлів автомобіля при коливаннях, середньоквадратичною величиною коливань ресор  $\sigma_r$  або сумарною величиною їх стиснення  $S_C$  на 1 км. дороги. З погіршенням рівності покриттів величина  $S_C$  зростає.

Коефіцієнт опору коченню при русі автомобіля по нерівній поверхні по проф. Біруля А.К. рівний:

$$f = 0,1 + 1,2 \cdot 10^{-8} \cdot S_C \cdot V^2 \quad (12)$$

де  $S_C$  - величина стиснення, см/км.;  $V$  - швидкість автомобіля, км/год

На основі аналізу комплексу всіх критеріїв проф. А.К. Біруля запропонував графік для визначення допустимої швидкості руху залежно від показника рівності  $S_C$  (рис. 5).

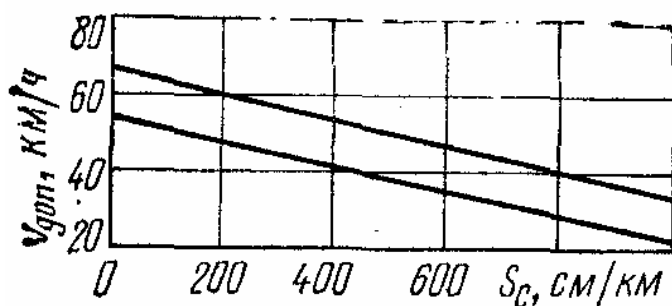


Рис. 5 Залежність допустимої швидкості руху від рівності проїзної частини

Оцінити вплив коливань на організм людини можна по частотно-амплітудній характеристиці (рис. 6).

Виділяють різні зони по ступеню шкідливості: 1 - безпечна зона, коливання не відчутні; 2 - частково небезпечна, коливання добре відчутні; 3 - небезпечна, коливання сильно відчутні; 4 - дуже небезпечна, коливання стають

нестерпними.

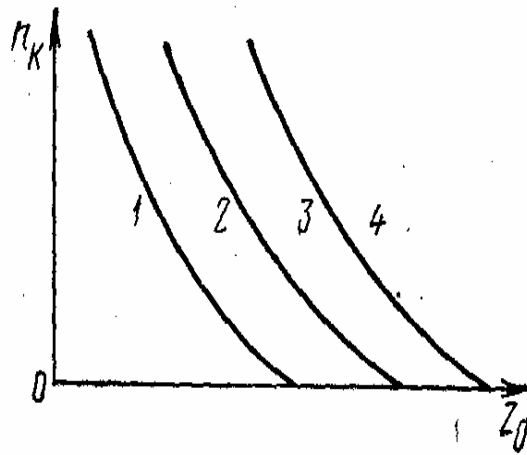


Рис. 6. Частотно-амплітудна характеристика коливань

Таким чином, стан проїзної частини (рівність і шорсткість покриттів) надає значний вплив на умови руху автомобілів (коливання, швидкість руху, продуктивність автомобілів). Тому одним із завдань дорожньої служби є систематична підтримка рівності і шорсткості покриттів на заданому рівні і періодичний контроль цих якостей.

## ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ ЧИННИКИ, СТАН ДОРОГИЙ І УМОВИ РУХУ АВТОМОБІЛІВ

### План лекції

- 3.1. Водно-тепловий режим земляного полотна і дорожнього одягу
- 3.2 Вплив водно-теплого режиму на службу доріг
- 3.3 Методи регулювання водно-теплого режиму доріг

### 3.1. ВОДНО-ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА І ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Будівельні норми і правила на проектування доріг виходять при обґрунтуванні вимог до елементів дорогий із сприятливих погодно-кліматичних умов, передбачаючи, що покриття знаходиться в чистому, слабо зволоженому стані, а видимість не обмежується атмосферними умовами.

Транспортні засоби впливають на дорогу зазвичай одночасно з чинниками, залежними від природно-кліматичних умов (водою, температурою, вітром, сонячною радіацією).

Від основних характеристик водно-теплого режиму земляного полотна і дорожнього одягу залежить міцність і морозостійкість дорожньої конструкції, встановлюючи ту або іншу ступінь рівності проїзної частини.

У процесі експлуатація доріг земляне полотно і дорожній одяг періодично звожуються або просихають, охолоджуються або нагріваються, промерзають або відтають. Сукупність цих процесів визначає водно-тепловий режим доріг. Небезпечна дія водно-теплових чинників на дорогу виявляється в разуцільненні і зниженні міцності ґрунтів, утворення просідань одягу навесні і пучин взимку, виникненні тріщин в покриттях і ін. В результаті знижуються міцність одягу, рівність покриттів, зчеплення коліс з проїзною частиною.

Найбільш небезпечні для доріг вологонакопичення, промерзання і відтавання ґрунту земляного полотна, інтенсивне нагрівання і швидке охолодження шарів одягу.

Водно-тепловий режим залежить від потужності джерел зволоження. (рис.1)

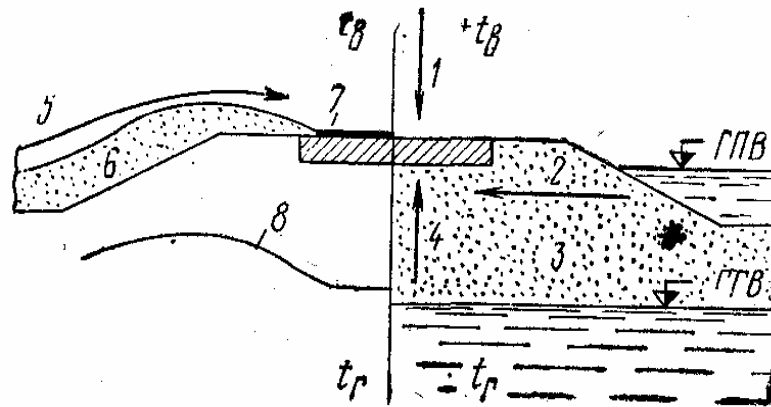


Рис. 1 Чинники зовнішнього середовища

1 - атмосферні осідання; 2 - зволоження водою з бічних каналів; 3 - водняні пари; 4 - зволоження ґрунтовими водами; 5 - вітер; 6 - сніговий покрив; 7 - кірка льоду; 8 - межа промерзання; ГПВ - горизонт поверхневих вод; ГГВ - горизонт ґрунтових вод;  $t_{в}$  - температура повітря.

На процес вологонакопичення істотно впливають гідрологічні 2 і гідрогеологічні 4 джерела зволоження (див. рис. 1). При їх наявності вірогідність деформації одягу різко зростає. Атмосферні осідання зволожують укосу, узбіччя і ґрунтова основа полотна через тріщини в покриттях при поганому утриманні доріг. При тривалому застої води в бічних канавах можлива її горизонтальна міграція до осі дороги.

Залежно від умов зволоження ділянки місцевості, по яких проходить дорога, діляться на три типи:

1-й тип (сухі ділянки) - дорога зволожується атмосферними садіннями і водяними парами. Поверхневий стік від дороги хороший, ґрунтові води залягають глибоко; ( $h_{Г.В.} > Z_a$ , тут  $h_{Г.В.}$  - відстань ГГВ від низу одягу;  $Z_a$  - глибина активної зони полотна, в якій виникають істотні напруги і деформації від

зовнішнього навантаження, зазвичай  $Z_a = 1 - 1,5$  м);

2-й тип (сирі ділянки) - дорога зволюється водою з бічних канав; вода тривалий час (декілька тижнів) застоюється у полотна; ґрунтові води залягають глибоко;

3-й тип (мокрі ділянки) - ґрунтові води залягають близько,  $h_{г.в.} \leq Z_a$ ; найбільш небезпечні ділянки відносно міцності і стійкості.

Воздухо- і паропроніцаємость шарів одягу і полотна, наявність в порах пароповітряної суміші, а також дію потенціалів тиску  $p_{п}$  і  $p_{в}$  обумовлює безперервний цілорічний масообмін. У теплий період року повітря дифундує з нижніх холодних шарів у верхні, теплі; у холодний - з верхніх в нижні. І на оборот.

На основі теорії тепломасообміну, яку розроблено в ХНАДУ, можна розрахувати зміну вологості по глибині в будь-який період року. Найбільший інтерес представляє період морозного вологонакопичення в полотні.

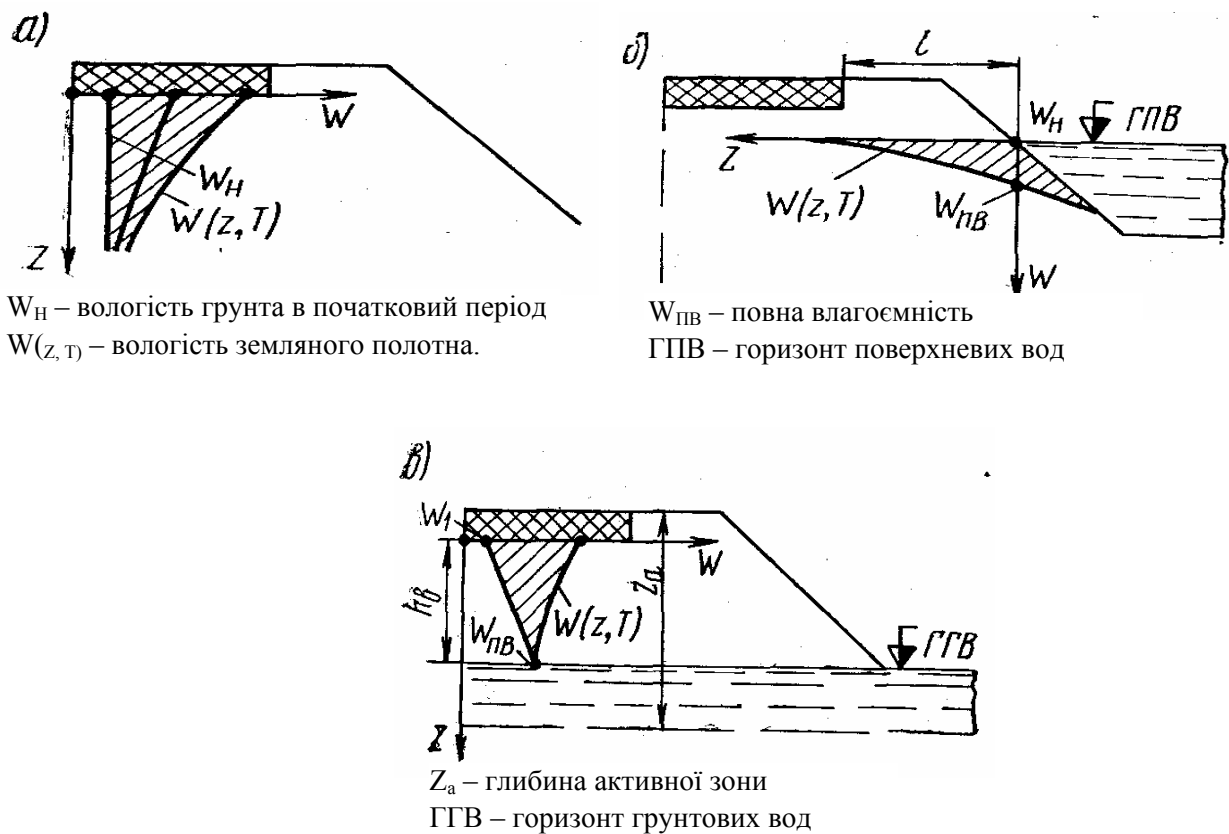


Рис. 2 Схеми розташування ґрунтових вод

Перший тип. (рис. 2 а). За умовами зволоження ґрунтові води - глибоко, водовідведення від полотна хороше. При відносній вологості  $W_H \leq 0,50-0,60$ ,

(IV-V дорожньо-кліматична зон), зимове вологонакопичення відбувається в результаті термодифузії водяної пари. При  $W_H \leq 90,65-0,70$  (II-III зон), зимове вологонакопичення відбувається в результаті концентраційної міграції рідкої фази води.

Другий тип. (рис. 2 б) За умовами зволоження тривалий застій води у полотна. Вологонакопичення в шарі утворюється в результаті бічної міграції води.

Третій тип. (рис. 2 в). За умовами зволоження близьке залягання ґрунтових вод  $h_{Г.В} \leq Z_a$ , велика небезпека капілярного зволоження виникає знизу.

На водно-тепловий режим полотна істотний вплив роблять теплові властивості дорожнього одягу  $R_0$ . Із зростанням  $R_0$  (при збільшенні товщини шарів одягу, зменшується коефіцієнт теплопровідності) підтікання вологи знизу до основи одягу знижується; зменшується глибина промерзання і вірогідність пов'язаного з цим спучення ґрунту земляного полотна і дорожнього одягу; водно-тепловий режим поліпшується. Залежно від величини  $R_0$  можлива додаткова бічна міграція вологи до осі дороги з боку бічних канав. Можуть бути три випадки:

$R_0 = R_1$  В цьому випадку виникає переважно вертикальний перепад температур і горизонтальна міграція вологи в полотні відсутня. ( $R_1$  - тепловий опір ґрунту узбіччя в шарі, рівному товщині одягу).

$R_0 < R_1$  Шари одягу влаштовують з матеріалів з великою теплопровідністю (кам'яних матеріалів). Глибина промерзання по осі дороги більше, ніж на узбіччі. У холодний період року спостерігається окрім вертикальної (від низу до верху) горизонтальна міграція вологи (від узбіччя до вісі). Водний режим дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна погіршується. Найбільш поширені конструкції одягу мають переважно  $R_0 < R_1$

$R_0 > R_1$  . Ґрунт під одягом промерзає на меншу глибину, чим на узбіччі. У холодний період волога мігрує від низу до верху і від осі дороги до узбіччя. Водний режим дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна в таких випадках поліпшується.

### 3.2 ВПЛИВ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ НА СЛУЖБУ ДОРІГ

Міцність дорожнього одягу залежить від модуля пружності ґрунту земляного полотна  $E_0$ , який є функцією вологості, щільності і структури ґрунту

$$E_0 = f(W, K_y, m_c) \quad (1)$$

де  $K_y$  - коефіцієнт ущільнення ґрунту;  $m_c$  - коефіцієнт, що характеризує структуру ґрунту;  $W$  - вологість ґрунту.

В період морозного вологонакопичення небезпечний вплив водно-теплового режиму може виявитися у виникненні пучини. Під пучиноутворенням розуміють нерівномірні збурення одягу викликані дією трьох чинників: інтенсивним морозним влагонакопленням ( $W_{\max} \geq 0,70 - 0,75$ ); глибоким повільним промерзанням ( $h > 0,5$  м); наявністю тонкодисперсних (пилуватих) пичиністих ґрунтів.

За відсутності будь-якого з трьох вказаних чинників пучини не виникають.

В процесі пучення відбувається рівномірне  $\ell_p$  і нерівномірне  $\ell_n$  підняття дорожнього одягу (рис. 3). Найбільш небезпечні нерівномірні підняття, які викликають тріщини в розтягнутій зоні покриттів.

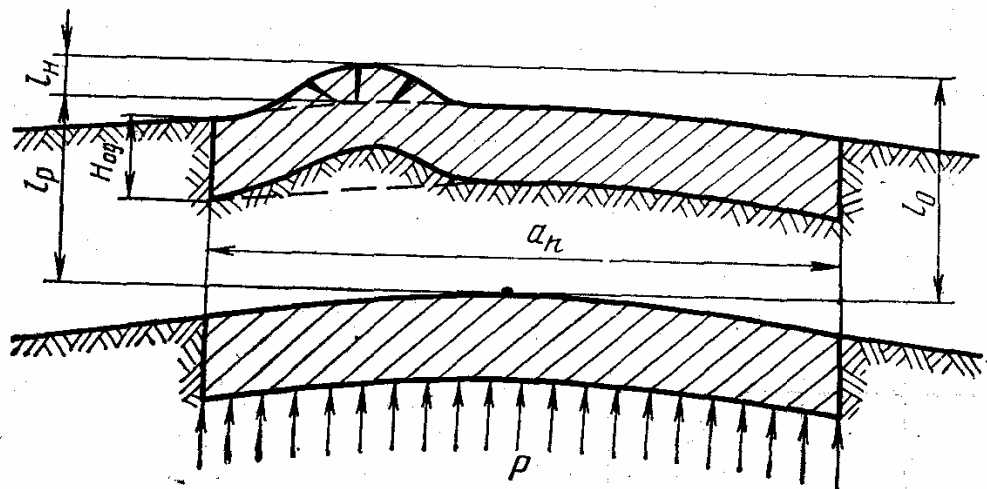


Рис. 3. Схема морозного пучення дорожнього одягу

$\ell_0$  - загальне пучення;  $\ell_p$  - рівномірне;  $\ell_n$  - нерівномірне;  $a_n$  - зона пучення.



Довговічність і експлуатаційний стан одягу в значній мірі залежать від міцності проїзної частини в розрахунковий період  $T_p$ , коли найбільш вірогідне утворення деформацій. Всі заходи щодо експлуатації доріг повинні бути направлені на недопущення утворення пучин і весняних просідань одягу. З цією метою дорожньо-експлуатаційна служба повинна щорічно складати наступні прогнози: початок і тривалість розрахункового періоду; можливого максимального промерзання полотна і пучення одягу; можливої максимальної вологості, а по ній мінімальних значень міцності.

Ці характеристики дають можливість всесторонньо оцінити вплив водно-теплого режиму на службу одягу в даний рік.

Умови служби доріг у весняний період даного року характеризується системою коефіцієнтів

$$K_W = \frac{W_i}{W_p}, \quad K_E = \frac{E_0}{E_p}, \quad K_C = \frac{c_i}{c_p}, \quad K_\varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} \varphi_p}, \quad K_D = \frac{K_{iD}}{K_{pD}} \quad (2)$$

Водно-теплові ( $K_W$ ), міцностні ( $K_E$ ,  $K_C$ ,  $K_\varphi$ ) і деформаційні характеристики ( $K_D$ ) дозволяють всесторонньо оцінити вплив водно-теплого режиму на службу доріг в розрахунковий період. Водно-тепловий режим не небезпечний, якщо  $K_W \leq 1$ ,  $K_E \geq 1$ ,  $K_C \geq 1$ ,  $K_\varphi \geq 1$ ,  $K_D \leq 1$ .

Одяг буде пучиностійкий, якщо:

$$K_{II} = \frac{\ell_{ин}}{\ell_{доп}} \leq 1 \quad (3)$$

де  $\ell_{ин}$  - нерівномірне морозне пучення для даного року;  $\ell_{доп}$  - допустиме морозне пучення.

### 3.3 МЕТОДИ РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ДОРІГ

Якщо в процесі експлуатації дороги  $K_W > 1$ ,  $K_{II} > 1$ , і як наслідок  $K_E < 1$ ,  $K_\varphi < 1$ ,  $K_D > 1$ , то необхідні заходи щодо поліпшення водно-теплого режиму.

При середніх і капітальних ремонтах можливі різні заходи щодо регулювання водно-теплого режиму: піднесення брівки земляного полотна; пониження рівня ґрунтових вод; утворення морозозахисних шарів; утворення дренажних шарів; утворення гідроізоляційних шарів і ін.

Піднесення брівки земляного полотна. Піднесення брівки земляного полотна над горизонтом ґрунтових вод має на меті поліпшення водно-теплого режиму, підвищення міцності ґрунту в активній зоні і може проводитися при капітальних ремонтах.

Пониження рівня ґрунтових вод. В деяких випадках піднесення брівки полотна неможливе або нераціонально (виїмки, ділянки міських доріг і ін.). Тоді поліпшенням водно-теплого режиму є пониження ґрунтових вод при зв'язних ґрунтах.

Утворення морозозахисних (теплоізолюючих) шарів. Морозозахисні шари мають різне призначення: зменшувати глибину промерзання полотна, повністю виключати наявність в полотні мерзлого ґрунту, забезпечувати в основі одягу заздалегідь задану температуру, усувати небезпечні морозні пучення. Частіше ці шари влаштовують як протипучинні. Такий шар повинен мати: малий коефіцієнт теплопровідності, бути водостійким, мати малу паропроникливість. При застосуванні пористих термоізоляційних шарів, з метою забезпечення достатнього терміну служби, їх необхідно підстилати знизу (ізолювати) шаром з бітумо- або цементогрунту товщиною 3 - 8 см, яка призначається конструктивно або за розрахунком.

Утворення дренажних шарів. Дренажний шар укладається безпосередньо на полотні і призначений для осушення одягу і верхньої частини полотна від надмірної води ( $W > W_p$ ). Дренажі проектується за принципом осушення або поглинання. Товщина дренажного шару призначається по формулі

$$h_{др} = h_1 + h_2 \quad (1)$$

$h_1$  - максимально допустима глибина фільтраційного потоку по осі дренажного шару, м;  $h_2$  - глибина дренажного шару, приймається залежно від

необхідного модуля пружності, м.

Якщо  $K_{\phi} < K_{TP}$  - використовують інший фільтраційний матеріал або змінюють похил і.

Утворення гідроізоляційних шарів. Для сучасного дорожнього одягу найбільш небезпечне зволоження знизу та з боку земляного полотна. В зв'язку з цим одним з ефективних заходів щодо поліпшення водно-теплого режиму є утворення паро- і гідроізоляційних шарів. Такі шари ефективно влаштовувати для огорожі полотна і одягу знизу від дифузії води. Огорожа одягу знизу від інтенсивного зволоження водяними парами дозволяє поліпшити водний режим, підвищити міцність ґрунту і експлуатаційні показники проїзної частини. Такий шар повинен володіти малою проникністю. Пароізоляцію необхідно закладати на глибину

$$h' = 10,4 \cdot \sqrt{a_t} \quad (2)$$

$a_t$  - середнє значення коефіцієнта температуропровідності дорожнього одягу, м<sup>2</sup>/год

Шар пароізоляції рекомендується влаштовувати ширше за проїзну частину на 0,2 м з обох боків.

Дорожня служба повинна систематично вивчати водно-тепловий режим доріг, виявляти найбільш небезпечні місця на дорогах і планувати різні заходи щодо його поліпшення. В окремих випадках, особливо в місцях, схильних до інтенсивного зволоження, промерзання і пучиноутворення, потрібні капітальні заходи, пов'язані з перебудовою одягу і частково полотна. В цьому випадку розрахунки товщини морозозахисних, гідроізоляційних дренажних шарів, глибини їх закладання, а також інші розрахунки по водно-тепловому режиму виконують з урахуванням різних місцевих умов служби доріг.

## ДЕФОРМАЦІЇ І РУЙНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

### План лекції

- 4.1. Деформаційність і зруйнованість земляного полотна, дорожнього одягу і водопропускних труб
- 4.2. Деформації і руйнування земляного полотна і споруд водовідведень
- 4.3. Деформації і руйнування дорожнього одягу і покриттів

#### 4.1. ДЕФОРМАЦІЙНІСТЬ І РУЙНОВАНІСТЬ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА, ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ І ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ

Рух автомобілів характеризується якісним станом земляного полотна, дорожнього одягу, штучних споруд. Під впливом навантажень від рухомого складу і природних чинників в цих елементах виникають деформації і руйнування. Деформації можуть бути пружними (оборотними) і пластичними (необоротними). Наявність на проїзній частині різних деформацій і руйнувань впливає на швидкість руху транспортних засобів, їх вантажопідйомність і безпеку руху.

Осідання полотна унаслідок недоущільнення ґрунтів, просідання і пучини, приводять до утворення значних деформацій і руйнувань проїзної частини у вигляді тріщин, проломів, збурень. Руйнування укосів і узбіч, розмивання полотна різко знижує стійкість всієї споруди. Сповзання укосів і насипів означає повну втрату стійкості споруди, руйнування дорожнього одягу, і як наслідок закриття дороги для руху.

Деформації і руйнування окремих елементів штучних споруд погіршує швидкість руху, зручність руху і безпека транспортних засобів.

При русі по горизонтальній ділянці з рівною поверхнею, колеса

автомобілів передають на дорожню конструкцію вертикальні (нормальні) і горизонтальні (дотичні) зусилля. При рівному покритті дорожній одяг випробовує тиск коліс як короткочасне статичне навантаження. Тривалість її дії коливається від 0,01 до 0,5 секунд залежно від швидкості. При високій інтенсивності і швидкості, навантаження від коліс вантажних автомобілів можуть повторюватися через кожних 1,5 - 6 секунд.

На нерівній поверхні тиск коліс на покриття то зростає, то убуває (якщо порівнювати із статичним). Відношення напруги (деформації), викликані динамічною дією навантаження, до напруги, викликані статичною дією того ж навантаження, називають коефіцієнтом динамічності навантаження. При русі по рівному покриттю коефіцієнт динамічності не виходить за межі 1,15. На нерівній проїзній частині з підвищенням швидкості до 80 км/год цей коефіцієнт зростає до 3, при подальшому зростанні швидкості залишається майже постійним. Характер навантаження дорожнього одягу залежить від інтервалів дії навантаження. Особливо великий вплив робить склад транспортного потоку (зокрема, частка в нім важких автомобілів).

Для оцінки руйнуючої дії автомобілів з різним осьовим навантаженням проф. Б.С. Радовський запропонував формулу сумарного коефіцієнта приведення

$$K_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^m \left( \frac{G_i}{G_p} \right)^{4,4}, \quad (1)$$

де  $G_i$  - вага автомобіля;  $G_p$  - вага автомобіля з різним осьовим навантаженням.

Встановлено, що проїзд одного автомобіля МАЗ-500А з осьовим навантаженням 100 кН рівноцінний 5,2 проїзду автомобіля ЗІЛ-130 з осьовим навантаженням 70 кН.

Під навантаженням від коліс автомобіля, дорожній одяг прогинається, потім поступово відновлюється. Прогин від колеса важкого вантажного

автомобіля розповсюджується на всі боки, утворюючи чашу прогину радіусом до 3 - 4 м, яка переміщається по ходу руху автомобіля. Чаші прогину частково перекривають один одного, охоплював всю ширину смуги руху. При цьому в шарах одягу виникають: напруга стиснення, розтягування, вигину і зрушення. Тому, надмірна напруга від транспортних навантажень приводить до виникнення деформацій.

Напружено-деформований стан дорожнього одягу залежить від: конструктивних особливостей, структури і властивостей матеріалів, міцності ґрунту земляного полотна, завантаженості дороги.

Структура шарів дорожнього одягу може бути трьох типів: контактного, коагуляційного, кристалізаційного.

Структура контактного типу - характерна для шарів з щебеню, гравію і піску, де мінеральні частинки взаємодіють між собою безпосередньо. Такі шари не володіють зв'язністю і практично не проявляють в'язких властивостей. Для шарів і покриттів з контактним типом структури найбільш характерні просідання - за рахунок доущільнення і дезінтеграції фракцій, стирання, а на покриттях хвилястість, вибоїни, знос. При кожному прогині дорожнього одягу окремі зерна кам'яних матеріалів стираються, розколюються, размельчаються. У частинках дрібніше 0,071 мм, може спостерігатися капілярне підняття і тривале утримання води. Перетворюючись на вологу пластичну масу, дрібні частки разом з водою полегшують переміщення зерен, збільшуючи розміри прогину одягу під колесами автомобілів і прискорюючи подальше подрібнення матеріалів. При цьому підвищується сумарна поверхня зерен і в'язкого матеріалу стає недостатньо. Крім того, відбувається старіння в'язкого, покриття стає жорсткішим. Спочатку утворюються волосяні, потім ширші тріщини, в які проникає вода, що замерзає взимку, і покриття поступово руйнується.

У структурі коагуляційного типу мінеральні частки покриті плівками води або плівками органічного в'язкого. До таких матеріалів відносять ґрунти, зв'язні і укріплені органічним терпким, бітумомінеральні суміші і асфальтобетон. Матеріали, оброблені органічним в'язким, відрізняються підвищеною зв'язністю і під дією навантаження виявляють як пружні, так і

в'язкі властивості. Для шарів із структурою коагуляційного типу найбільш характерні втомні і температурні тріщини, деформації у вигляді зрушень і напливів. Фізико-механічні властивості матеріалів, оброблених бітумом, визначаються особливими зв'язками, що виникають між окремими зернами, і залежать від властивостей бітуму, товщини його плівки, і від зміни його хімічного складу.

Структура кристалізаційного типу - характерна для цементобетонів, кам'яних матеріалів і ґрунтів, укріплених цементом і іншим мінеральним в'язким. Зв'язок між частками матеріалу здійснюється через спайки, утворені кристалами в'язкого. Для таких матеріалів характерна підвищена жорсткість і міцність, пружні властивості виражені достатньо чітко. Для шарів одягу з монолітних матеріалів найбільш небезпечна розтягуюча напруга, що виникає в шарі при вигині, а для шарів із слабозв'язних матеріалів (зернистих) - напруги зрушення (дотичні). Для таких покриттів характерніші відновлювальні деформації і руйнування: тріщини, проломи, лущення, стирання.

При старінні матеріалу, типу асфальтобетон, під дією води і повітря виявляються три стадії.

На першій стадії тривалий час наростає міцність, водостійкість, зменшуються деформативні властивості матеріалу. Це відбувається за рахунок зменшення кількості масел, збільшення смол, особливо асфальтенів, підвищення в'язкості і когезії бітуму в результаті взаємодії бітуму з мінеральним матеріалом.

На другій стадії знижується водо- і морозостійкість бітумомінерального матеріалу без помітної зміни його міцності.

Третя стадія супроводжується різким зниженням міцності матеріалу, підвищенням його водонасичення, набухання і зменшенням водо- і морозостійкості. Це приводить до корозії покриття, посиленого викришування мінеральних часток і утворення вибоїн і руйнувань.

При одному прогині дорожнього одягу ці зміни можуть бути нескінченно малими. Проте за період служби одягу число прогинів вимірюється мільйонами, тому залишкові деформації зростають.

Механізм втомного руйнування полягає в наступному. Коли максимальна розтягуюча напруга при проході одного автомобіля значно менше критичних:

1. Із-за неоднорідності матеріалу локальна напруга може відхилятися від середнього значення;
2. У місцях, де вони перевищують межу пружності плівок бітуму, зв'язки рвуться;
3. Повторювальні навантаження приводять до накопичення розірваних зв'язків.

В результаті через певне число циклів прикладення навантаження в нижній частині покриття по смугах накату з'являються подовжні тонкі тріщини, що об'єднуються потім у великих. Утворюється сітка тріщин, які ростуть одночасно в двох напрямках: вгору і по довжині. При подальших вантаженнях тріщина проходить крізь покриття і стає видимою на поверхні.

Критичним періодом роботи покриття є весняний період, коли в результаті зниження міцності ґрунту земляного полотна прогин дорожнього одягу максимальний, а температура покриття часто коливається від 0 до + 10°C.

З підвищенням швидкості автомобілів час дії розтягуючої напруги в покритті скорочується, разом з цим зменшуються пошкодження від транспортних засобів. Проте це відбувається тільки на рівних покриттях. Горизонтальна (тангенціальні) стискуюча і розтягуюча напруга служать причиною пластичних деформацій, а також руйнувань у верхніх, шарах дорожнього одягу (зрушень, хвиль, напливів і поперечних тріщин по слідам накату).

Такі деформації особливо часті на тонких покриттях - завтовшки менше 8 см. При більшій товщині покриття зрушелльні деформації бувають рідше, оскільки напруга, що викликається в дорожній конструкції горизонтальними зусиллями, прикладеними на поверхні покриття, порівняно швидко затухають по глибині.

У цементобетонних покриттях напруга виникає під впливом навантаження і температури повітря. При нагріванні і охолодженні покриття змінює розміри, але із-за тертя нижньої поверхні покриття (або основи) об ґрунт з'являється температурна напруга. До них також відносять напругу, що виникає в результаті нерівномірного розподілу температур по товщині покриття, що



приводять до викривлення. Температурними можна враховувати також напругу, від якої походить підняття покриття, зимового спучення земляного полотна. Температурна напруга спільно з напругою від навантажень транспортних засобів приводять до виникнення і розвитку тріщин в бетоні.

#### 4.2. ДЕФОРМАЦІЇ І РУЙНУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА І СПОРУД ВОДОВІДВЕДЕНЬ

Для земляного полотна характерні наступні деформації і руйнування:

Осідання виникають унаслідок недостатнього ущільнення або перезволоження ґрунтів, особливо часто в місцях підвищеного зволоження, при застосуванні недоброякісних ґрунтів для високих насипів.

Просідання насипів утворюються на ділянках із слабкими підстилаючим ґрунтом на болотах, просадочних ґрунтах, карстах і так далі.

Пучини - збурення, викликані інтенсивним вологонакопиченням і промерзанням недоброякісних ґрунтів.

Сповзання насипів відбувається на косогорних ділянках із-за недостатнього опору зрушенню основи насипів або на обвальних ділянках. Причинами цих деформацій є недоброякісна підготовка основи (відсутність уступів, недостатнє ущільнення) наявність в основі слабміцних ґрунтів, підвищене зволоження і недоущільнення нижніх шарів насипу.

Сповзання укосів спостерігаєте при застосуванні слабких ґрунтів, і перезволоженні і недоущільненні. Виникають за відсутності зміцнень і інтенсивного зволоження атмосферними осадками або поверхневою водою. Крім того, сповзання може бути із-за перевищення норм крутизни укосів, присипки земляного полотна при розширенні пристрою уступів або з недостатнім ущільненням.

Розмивання і видування узбіч і укосів відбувається унаслідок водної і вітрової ерозії, коли земляне полотно зведене з не зв'язкових слабозв'язних ґрунтів при недостатньо ефективному зміцненні укосів і узбіч.

Для узбіч характерні деформації у вигляді колій і вибоїн, що виникають

від наїзду автомобілів на неукріплені узбіччя, особливо зволожені і недостатньо ущільнені. До деформацій узбіч відносять утворення зворотного ухилу особливо там, де встановлені парапети, огорожі і сигнальні стовпчики, що заважають планування узбіч в процесі утримання.

Деформації і руйнування водовідвідних споруд різні по характеру і причинам виникнення.

Ґрунтові канали і лотки піддаються розмиву в першу, черга в місцях великих подовжніх похилів, заливаються і заростають травою при малих похилах.

Канави і лотки, укріплені плитами, кам'яними і іншими матеріалами, можуть розмиватися водою в місцях стиків плит, руйнувань зміцнюючих пристроїв і так далі.

Дренажні і підземні водостічні труби засмічуються ґрунтом і предметами (соломою, травою, корчами), що випадково потрапили, із-за чого припиняється їх робота.

Для водопропускних труб характерні: раковини, вилуговування розчину, вимивання ґрунту з тіла насипу, тріщини, зрушення ланок, деформації оголовків, відділення оголовків від тіла труби, просідання, засмічення.

Раковини і вилуговування - руйнування матеріалу конструкції унаслідок вивітрювання, зовнішніх шарів бетону під дією ґрунтової і поверхневої води, частково розчинюючи і вимиваючи в'язке, що приводить до збільшення пористості бетону.

Вимивання ґрунту з насипу відбувається при порушенні ізоляції стиків між ланками, в утворені щілини вода виносить ґрунт, утворюючи порожнечі за трубою.

Тріщини в тілі бетону і зрушення ланок виникають при нерівномірному, іноді односторонньому тиску ґрунту на трубу. Умови роботи труби погіршуються із-за вимивання ґрунту і утворення порожнеч в насипі.

Деформації оголовків і відділення їх від труби можуть бути викликані нерівномірним осіданням фундаментів оголовків і ланок, їх підмивом, збільшенням горизонтального тиску на оголовки при перезволоженні ґрунту

насипу і сповзанні укосів.

Просадки - вертикальні нерівномірні зсуви ланок унаслідок неоднакового тиску насипу по довжині труби (більший тиск на середні ланки). Цій обставині сприяє застосування при зведенні насипу слабоміцних ґрунтів (торф'яних, мулистих) і вимивання ґрунту в основі ланок.

#### 4.3. ДЕФОРМАЦІЇ І РУЙНУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ І ПОКРИТТІВ

Деформації і руйнування покриттів і всього дорожнього одягу можуть бути тільки в цілому. До перших відносять: знос, лушення, викришування, вибоїни, зрушення, хвилі, гребінки і тріщини покриття. До других - пучина, просідання, проломи, колії і руйнування кромek дорожнього одягу.

Знос - втрата матеріалу покриття в процесі служби унаслідок дії автомобіля і атмосферних чинників. На знос покриттів найбільший вплив надає рухомі автомобілі. Під навантаженням шина деформується, в зоні контакту з покриттям стискається, а поза контактом розширюється. Найбільші дотичні зусилля і найбільший знос виникають при гальмуванні автомобіля. Знос від вантажних автомобілів приблизно в 2 рази вище порівняно з легковими. Чим більше міцність, тим менше і рівномірний знос покриття по ширині. На покриттях з маломіцних матеріалів інтенсивність зносу значно вища, частіше утворюються колії і вибоїни. Щорічний знос цементо-, асфальтобетонних і інших монолітних покриттів вимірюють за допомогою реперів, що закладаються в товщу покриття, і ізносоміра. При цьому способом вимірювання зносу в покриття заздалегідь закладають репери-стаканчики з латуні. Дно стаканчика служить поверхнею, від якої виконують відлік. Знос визначають також за допомогою пластин (марок) трапецеїдальної форми з вапняку або м'якого металу, що закладаються в покриття і стираються з ним. Для визначення зносу покриттів можна використовувати різного роду електричні прилади для вимірювання товщини шарів.

Лушення - відділення лусочок і частинок матеріалу і руйнування поверхні

покриття під дією коліс автомобілів, води і негативної температури повітря з утворенням мікронерівностей глибиною до 5 мм.

Викришування - відділення зерен мінерального матеріалу з покриття і утворення дрібних раковин глибиною від 1,5 до 2,0 см. Розвиваючись, викришування розповсюджується на значну площу покриття і є ознакою початку поверхневого руйнування покриття.

Вибоїни - місцеві руйнування покриття глибиною від 2,0 до 10,0 см і більш з різко обкресленими краями. Вони виникають, перш за все, із-за недостатнього зв'язку між мінеральними і органічними матеріалами, недоуцільнення покриття, забруднення, використання недоброякісних матеріалів (перепал асфальтобетонної суміші, попадання необробленого щебеня або піску в суміш і так далі).

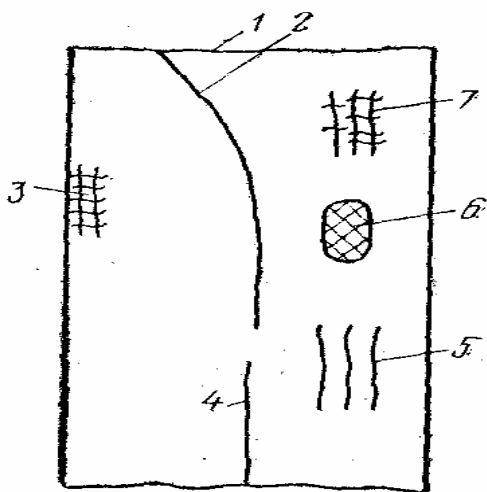
Особливо активно процес утворення вибоїн розвивається у весняний період, чому сприяє чергування позитивних і негативних температур повітря і покриття, наявність води в порах покриття. Проникаючи в раковини і мікротріщини, вода надає розклинюючу дію, яка значно збільшується при її замерзанні. Зв'язки між частками матеріалу послаблюються, і під впливом коліс автомобіля утворюється вибоїна, яка може швидко збільшитися. Наїжджаючи на вибоїну, колесо отримує поштовх, що приводить до повторного динамічного удару на деякій відстані за вибоїною. При багатократному повторенні цього навантаження утворюється наступна раковина або тріщина, які потім зливаються в одну велику вибоїну.

Зрушення - нерівності, викликані зсувом матеріалу покриття при стійкій основі. Утворюються в місцях гальмування автомобілів (зупинки, перехрестя). Під дією дотичних сил відбувається зрушення верхнього шару або його зрушення по поверхні нижнього шару з утворенням поперечних тріщин на смугах накату. Цьому сприяє підвищена пластичність верхнього шару (надлишок в'язкого або недостатня теплостійкість при високій температурі). Зміщений колесом поверхневий шар утворює складки і напливи.

Хвилі і гребінки - нерівності у вигляді поперечних гребенів і западин з пологими краями. Чергуючись уздовж покриття, вони формуються, як і

зрушення, в місцях гальмування автомобілів практично на всіх типах покриттів, окрім цементобетонних. Основна причина хвилеутворення: 1. Зайва еластичність матеріалу, 2. Надлишок в'язкого матеріалу або низька теплостійкість суміші, 4. Недоліки ущільнення, а також систематична дія на покриття автомобілів однакової маси при однаковій швидкості. На покриттях перехідного типу, переважно гравійних, поперечні хвилі утворюють гребінку - правильні чітко виражені поперечні виступи, з чергуванням поглиблень.

Тріщини на покриттях бувають різних розмірів і форми. На рис. 1. представлені тріщини:



- 1 - температурні (поперечні),
- 2 - подовжні і косі,
- 3 - прикромочні,
- 4 - в місцях сполучення стиків,
- 5 - по смугах накату,
- 6 - пучиністі,
- 7 - сітки тріщин.

Рис.1. Різновид тріщин

Тріщини температурні (поперечні) крізьні на всю ширину покриття виникають восени і на початку зими унаслідок різких перепадів температури повітря і недостатньої опірності температурній напрузі. Вони розташовуються по проїзній частині на певній відстані одна від одної (5 - 10 м).

Подовжні і косі тріщини розташовуються на смугах накату через 20 - 40 см одна від одної. Як правило поєднуються з поперечними тріщинами через 1-4 м по всій ширині проїзної частини. Бувають на покриттях, що містять органічне в'язке, побудованих на німецьких основах з ґрунтів або кам'яних матеріалів, укріплених мінеральним в'язким (цемент, вапно, золи віднесення). На асфальтобетонних покриттях часто з'являються на стику двох смуг укладання покриття при поганому сполученні. Подовжні тріщини на смугах накату утворюються під інтенсивним рухом автомобілів із-за недостатньої міцності

окремих шарів одягу і ґрунтової основи (недоущільнення, перезволоження), перевищення навантажень і інтенсивності руху.

Тріщини подовжньо-косі виникають унаслідок недостатньої міцності дорожнього одягу, недоущільнення ґрунтів полотна і їх подальшого осідання, особливо на високих насипах, а також над трубами.

Сітка тріщин з дрібними осередками на смугах накату з розміром сторін 10-20 см буває на покритті, як правило, при недостатній міцності основи на ділянках відтавання перезволоженого ґрунту у весняний період і період пучиноутворення. Головна причина більшості тріщин втома дорожнього одягу, їх недостатня міцність.

Тріщини на цементобетонних покриттях бувають: поперечні крізні, подовжні і косі крізні, поверхневі і волосяні усадкові.

Поперечні крізні тріщини утворюються при великих відстанях між швами і в тих випадках, коли відбулося зчеплення бетонних плит з основою, і вони не можуть переміщатися при температурних змінах.

Подовжні крізні тріщини виникають при неоднорідному ущільненому земляному полотні, починають давати осідання, коли край ущільнено менше.

Косі крізні тріщини з'являються над порожнечами, осіданнями земляного полотна і при недостатньо міцному покритті. Наявність крізних тріщин в цементобетонних покриттях зазвичай служить ознакою недостатньої міцності і початку руйнування.

Поверхневі, неглибокі тріщини виникають із-за нерівномірного розподілу температури по товщині плити, що викликає її викривлення.

Руйнування стиків - обломлення кромки і вибивання заповнюючої мастики. Основними причинами є удари коліс автомобілів, недоброякісна цементобетонна суміш, незадовільна нарізка і обробка швів.

Просідання-западини завглибшки 5,0-10,0 см і більш з пологою поверхнею, але без випучення і утворення тріщин на прилеглих ділянках. Вони виникають в місцях зниженої міцності шарів одягу і ґрунту при зволоженні. Просідання можуть бути в перші роки експлуатації дороги за несприятливих ґрунтово-гідрогеологічних умов, унаслідок недостатнього ущільнення ґрунтів

земляного полотна і шарів одягу, а також при руху важких автомобілів, на які дорожній одяг не був розрахований.

Проломи - руйнування одягу у вигляді більш менш довгих прорізів завглибшки до 10,0 см по смугах нахату і випучення з боку проломів заввишки 5,0-10,0 см. Мокрі проломи утворюються унаслідок перезволоження і пластичного перебігу матеріалу шарів основи і ґрунту, сухі - унаслідок прорізання всіх шарів одягу під дією вертикальної сили при недостатній товщині конструкції і слабкому ущільненні шарів і ґрунтів земляного полотна.

Колії - деформації і руйнуванні дорожнього одягу у вигляді невеликих поглиблень по смугах нахату. При інтенсивному важкому русі колії можуть перетворитися на проломи. Колії утворюються при накопиченні пластичних деформацій в шарах дорожнього одягу, а також посиленому зносі верхнього шару покриття. У реальних умовах обидва процеси колієутворення підсумовуються.

Руйнування кромки - окремі тріщини і сітки тріщин уздовж кромки, отколів, зміни поперечного профілю прикромочних смуг. Руйнування кромки відбувається унаслідок зниженої міцності прикромочних смуг проїзної частини (занижена товщина шарів одягу у кромки, підвищена вологість ґрунту основи під кромкою) і відсутності укріплених смуг з боку узбіччя. Наявність деформацій і руйнувань найчастіше свідчить про недостатню міцність дорожньої конструкції, про перевищення фактичної інтенсивності руху над розрахунковою.