

УДК 629.015: 625.7(07)

**ПРОЕКТНІ РОЗРАХУНКИ  
ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ  
ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

**Шелудченко Б.А. к.т.н., проф.**

**Забродський П.М. к.т.н., доц.**

**Плужников О.Б.**

Житомирський національний агроекологічний університет

**Abstract**

The method of design calculations of road constructions according to the limiting load on asphalt-concrete pavements of roads is offered, which provides the possibility of establishing a technical resource according to the indicators of their actual highways operating condition.

**Keywords:** boundary condition, road, structural materials, flow, stress, deformation and fracture diagram.

**Вступ**

Як і для будь-якого технічного об'єкту, якість автомобільної дороги визначається в першу чергу надійністю, під якою розуміють її (дороги) властивість виконувати задані функції, зберігаючи, закладені при проектуванні, експлуатаційні показники в заданих межах протягом заданого терміну часу або визначеного технічного ресурсу роботи [1, 2, 6]. Технічний ресурс автомобільної дороги має бути визначений певним терміном її наробки, а найчастіше її реальним станом, за досягнення якого експлуатація дороги має бути припинена у зв'язку з вимогами безпеки, тобто з можливістю виникнення аварійних (а часто і катастрофічних) ситуацій, або у зв'язку з транспортно-експлуатаційною, економічною або екологічною недоцільністю її подальшої експлуатації.

Основним обмежувальним фактором технічного ресурсу автомобільної дороги є незадовільний стан її дорожнього одягу внаслідок його деформування та руйнування. Деформування та руйнування автодоріг відбувається під дією багатьох чинників, основними з яких є експлуатаційний фактор, зумовлений робочими навантаженнями на дорожнє полотно в результаті контакту з ним рушіїв транспортних засобів. В зоні контакту рушія з поверхнею дорожнього одягу виникає складний напружено-деформований стан, який ще більше ускладнюється динамічним характером зовнішнього, по відношенню до автодороги, навантаженням. Отже, подальше підвищення технічного ресурсу автомобільних доріг, як при їх будівництві, так і при реконструкції тих, що вже перебувають в експлуатації, потребує нових аналітичних та експериментальних досліджень, які мають бути органічним продовженням попередніх наукових напрацювань. Ці дослідження мають бути спрямовані, в першу чергу, на пошук нових конструкційних (будівельних) матеріалів, нові методи обґрунтування прогресивних параметрів конструкцій автодоріг з урахуванням конкретних

транспортно-технічних, погодно-кліматичних, еколого-безпечних, економічних тощо умов їх експлуатації.

### Аналіз попередніх досліджень

Проектні дослідження і розрахунки на міцність конструкцій та матеріалів, які використовують для будівництва і реконструкції автомобільних доріг виконують, як правило, на підставі методик, що передбачають використання допустимих напружень в “небезпечних” точках конструкції автодороги [1, 3, 4, 5, 7]. При таких методах розрахунків міцність конструкції вважається порушеною, якщо хоча б в одній точці профіля конструкції автомобільної дороги напруження досягає деякого граничного значення. При цьому, це граничне значення напруження є еквівалентним (приведеним) значенням для деякого напружено-деформованого стану, який виникає в зоні контакту “рушій – поверхня автодороги” [7].

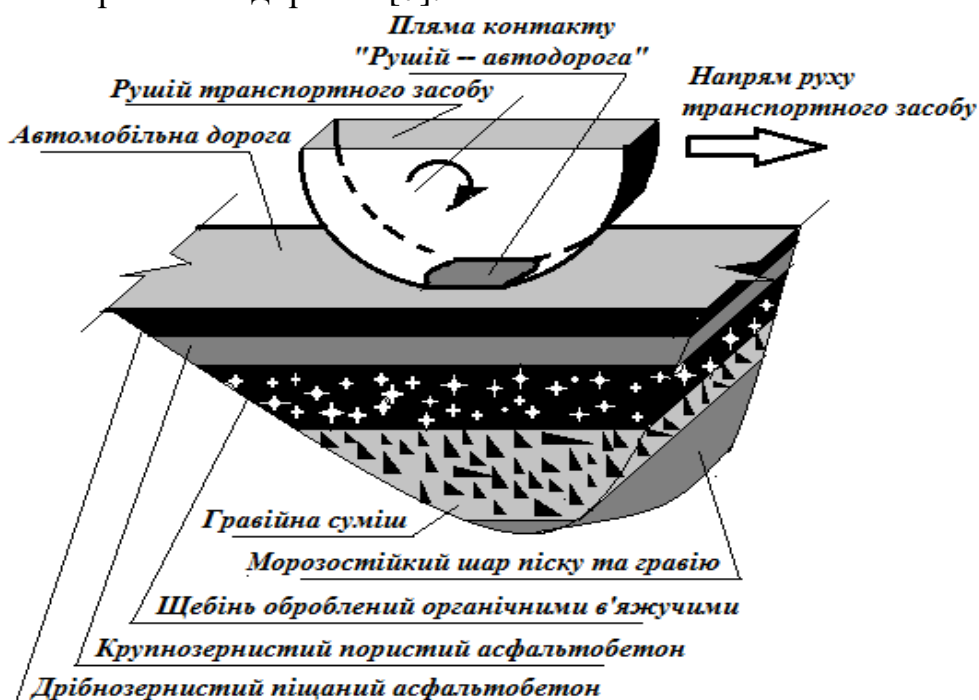


Рисунок 1 Характер контакту рушія автотранспортного засобу з автомобільною дорогою.

Зокрема встановлено [7], що небезпечна точка в зоні контакту “рушій – поверхня автодороги” (рис.1) виникає в площині, яка проходить через вертикальну площину симетрії рушія, що є нормальною до його осі і розташована на глибині  $0,4b$  (де  $b$  – ширина плями контакту). Головні напруження  $\sigma_i$  в цій точці мають такі значення:

$$\begin{cases} \sigma_I = -0,180 \cdot \sigma_{max} \\ \sigma_{II} = -0,288 \cdot \sigma_{max} \\ \sigma_{III} = -0,780 \cdot \sigma_{max} \end{cases} \quad (1)$$

При цьому найбільші нормальні  $\sigma_{max}$  і дотичні  $\tau_{max}$  напруження становитимуть:

$$\sigma_{max} = 0,418 \sqrt{2 \cdot q \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}} \quad (2)$$

$$\tau_{max} = 0,32 \cdot \sigma_{max}$$

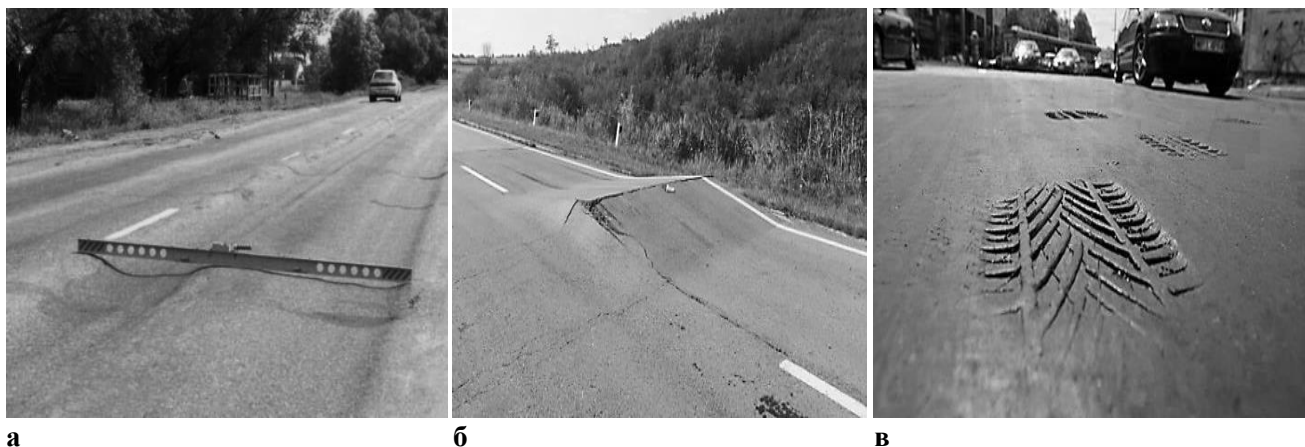
де  $R$  – радіус рушія автотранспортного засобу;

$E_1$  – модуль пружності рушія автотранспортного засобу;

$E_2$  – модуль пружності поверхневого шару конструкційного матеріалу автодороги;

$q$  – інтенсивність розподіленого по контактній площинці навантаження на рушій автотранспортного засобу.

Зазначений вище метод проектних розрахунків на міцність конструкційних матеріалів автодоріг передбачає квазікрихкий характер руйнування дорожніх покриттів, який призводить до утворення каверн та розвитку тріщин поверхневих шарів автомобільної дороги. Разом з тим, як свідчить досвід експлуатації автодорожніх покриттів, до суттєвого зниження технічного ресурсу автомобільних доріг призводять геометрична формозміна поверхневого профілю автодороги (рис.2 [8]) внаслідок її пластичної деформації.



**Рисунок 2** Характерні приклади пластичного деформування дорожніх покриттів: а – накопичення формозміни дорожнього одягу у вигляді поздовжньої колії; б – поперечна дислокація конструкції автомобільної дороги; в – мікрорельєфне пошкодження поверхні дорожнього одягу.

Суттєвими чинниками, які зумовлюють процеси інтенсифікації геометричної формозміни поверхневого профілю автомобільних доріг, є погодно-кліматичні фактори, адже влітку при значному підвищенні температури дорожнього покриття його пластичні властивості значно підвищуються, а отже процеси його квазікрихкого руйнування поступаються місцем процесам пластичного формозмінення.

### Постановка проблеми

Для конструкцій з пластичних матеріалів, таких як асфальто-бетонні покриття автомобільних доріг необхідним є застосування принципово іншого

підходу для оцінки їх міцності. Адже виникнення явища текучості в одній окремій точці (або декількох точках) конструкції автомобільної дороги не призводить до повної втрати нею працездатності і тому відповідний стан автодороги не може вважатися граничним для обмеження її технічного ресурсу. В таких випадках експлуатаційна здатність автодороги буде вичерпаною лише за умови, що вона (автодорога) перетвориться на геометрично змінювану систему, яка не здатна чинити опір зовнішнім навантаженням, які збільшуються і необмежено деформується при постійному навантаженні (в тому числі і під дією циклічних, періодично повторюваних навантажень). Зазначений стан конструкції автомобільної дороги може бути визначений як граничний стан, а відповідні зовнішні навантаження – як граничне навантаження.

### Мета та завдання

Метою представлених досліджень є підвищення рівня надійності проектних розрахунків, спрямованих на призначення обґрунтованих показників технічного ресурсу автомобільних доріг на стадіях їх проектування та розроблення технічної документації на будівництво.

Для досягнення поставленої мети необхідною є розроблення базових положень проектних розрахунків для вибору конструкційних матеріалів дорожніх покриттів автомобільних доріг відповідної до ДБН В.2.3 – 4 – 2000 категорійності.

### Результати вирішення завдання

Пропонований метод розрахунку технічного ресурсу автомобільної дороги передбачає визначення коефіцієнту запасу міцності покриття автодороги, як відношення граничного навантаження до робочих (експлуатаційних) навантажень (в тому числі циклічних періодично повторюваних) на конструкцію автодороги вцілому. Цей коефіцієнт запасу міцності має бути не меншим за деякий нормований (заданий, допускаємий) показник коефіцієнту запасу міцності для проекрованої конструкції автомобільної дороги. Методика проектних розрахунків, заснована на зазначених припущеннях, є розрахунком по граничних навантаженням (розрахунком за допустимими навантаженнями, розрахунком за несучою здатністю, розрахунком за граничною рівновагою).

Умовою міцності при розрахунку по граничних навантаженнях є:

$$n = \frac{P_{\text{граничне}}}{P} \geq [n] \quad (3)$$

де  $P_{\text{граничне}}$  – граничне значення навантаження при якому несуча здатність конструкції покриття автодороги виявляється вичерпаною;

$P$  – робоче навантаження, яке є зовнішнім до автодороги;

$n$  – дійсний (розрахунковий) коефіцієнт запасу міцності;

$[n]$  – нормований (заданий) коефіцієнт запасу міцності.

Отже, розрахунки по граничних навантаженнях засновані на припущенні про те, матеріал конструкції є ідеально пружно-пластичним матеріалом з

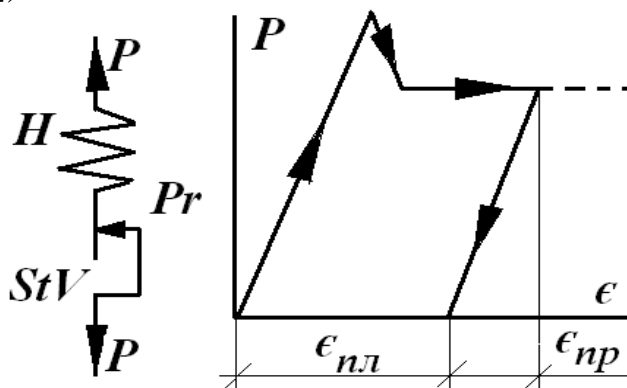
реологічними властивостями відповідними “реологічному тілу Прандтля ( $Pr$ )”, яке описується як:

$$Pr = H - StV \quad (4)$$

де  $H$  – просте реологічне тіло Гука;

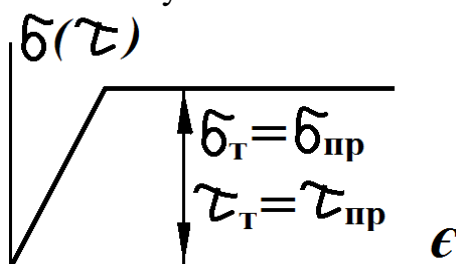
$StV$  – просте реологічне тіло Сен-Венана,

а діаграма деформування такого матеріалу є розвитком “класичної діаграми Прандтля” (рис.3 [7]).



**Рисунок 3** Реологічне тіло Прандтля та відповідна діаграма його деформування:  $P$  – зовнішнє навантаження;  $\epsilon_{пл}$  та  $\epsilon_{пр}$  – пластична та пружна складові деформації;  $Pr$  – складене реологічне тіло Прандтля;  $H$  – просте реологічне тіло Гука;  $StV$  – просте реологічне тіло Сен-Венана.

Діаграма деформування такого конструкційного матеріалу складається з двох прямолінійних ділянок (рис.4) – при значенні діючих напружень нижчих за деяку межу пропорційності ( $\sigma_{пр}$ ) – для нормальних напружень, або ( $\tau_{пр}$ ) – для дотичних напружень процеси деформування матеріалу дотримуються закону Гука, після чого виникає текучість.



**Рисунок 4** Ідеалізований розвиток діаграми Прандтля.

При цьому, вважається, що межа пропорційності ( $\sigma_{пр}$ ) або ( $\tau_{пр}$ ) матеріалу дорівнює його межі текучості ( $\sigma_{т}$ ) або ( $\tau_{т}$ ):

$$\begin{cases} \sigma_{т} = \sigma_{пр} \\ \tau_{т} = \tau_{пр} \end{cases} \quad (5)$$

окрім того, вважається, що “площинка текучості” має необмежену протяжність, тобто конструкційний матеріал вважається таким що не зміцнюється (ідеально пластичним).

Застосування такої схематизованої діаграми (рис.4) деформування асфальтобетонних матеріалів покриттів автомобільних доріг суттєво спрощує проектні розрахунки по граничних навантаженнях. З наведеної на рис.4 діаграми походить, що при виникненні текучості конструкційного матеріалу в

будь-якій довільній точці конструкції (або у певній сукупності точок асфальтобетонного покриття автодороги) зростання напружень в цій точці (точках) припиняється незалежно від зростання зовнішнього навантаження, яке діє на полотно автомобільної дороги.

Таким чином, проектні розрахунки несучої здатності асфальто-бетонних матеріалів покриттів автомобільних доріг виконані за методом розрахунку по граничних навантаженнях дозволяють оптимізувати показники технічного ресурсу автомобільних доріг на стадії їх проектування та підготовки робочої документації на їх (автодоріг) будівництво або реконструкцію.

### **Висновок**

Пропонований метод проектних розрахунків конструкцій автомобільних доріг за граничним навантаженням на асфальто-бетонні покриття автодоріг забезпечує можливість встановлення технічного ресурсу за показниками реального їх (автодоріг) експлуатаційного стану.

### **Література**

1. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. ДБН В.2.3 – 4 – 2000. Видання офіційне.
2. Закон України «Про автомобільні дороги» від 20 грудня 2005 р. № 3235-IV із змінами і доповненнями.
3. Золотарьов В.О. Випробування дорожньо-будівельних матеріалів / В.О. Золотарьов, В.І. Братчун, О.В. Космін та ін. [за ред. В.О. Золотарьова] Навчальний посібник. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2006. – 352 с.
4. Рекомендації по застосуванню ґраток композитних при влаштуванні асфальтобетонних шарів дорожніх одягів Р В.2.7 - 31911658 - 823: 2013.
5. Сиденко В.М. Технология строительства автомобильных дорог. Ч. 2. Технология строительства дорожных одежд / В.М. Сиденко, О.Т. Батраков, А.И. Леушин. – К.: «Вища школа», 1970. – 328 с.
6. Степура В.С. Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів / В.С. Степура, А.О. Белятинський, Н.В. Кужель. – К.: НАУ, 2013. – 204 с.
7. Шелудченко Б.А. Механіка контактного руйнування автомобільних доріг / Б.А. Шелудченко, Л.С. Шелудченко. – Кам'янець-Подільський: ТОВ «Каліграф», 2016. – 66 с.
8. Шелудченко Л.С. Автомобільні дороги: експлуатаційна надійність та екологічна безпека / Л.С. Шелудченко. – Кам'янець-Подільський: В-во ПДАТУ, 2017. – 62 с.
9. Hrynkiv A. Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. Технологический аудит и резервы производства. - Харків : Технологічний центр. 2019. - № 3 (1). - С. 25-30.
10. Аулин В.В, Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринькив А.В. Техно-экономическое обоснование преимущества интеллектуальной стратегии технического обслуживания и ремонта легкового автомобиля. Вісник інж. Академії України. 2017. №4. С. 50-56.