

Онищенко А.М. канд. техн. наук, Гаркуша М.В.,  
Лапченко А.С., канд. техн. наук.

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОЛІСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ УКРІПЛЕННЯ ОСНОВИ

**Анотація.** В статті наведена методика визначення загальної глибини колії, яка залежати від накопичення залишкових деформацій в покритті, шарах дорожнього одягу та земляному полотні.

В рамках проблеми підвищення довговічності асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів однією з найважливіших задач вважають збереження рівності покриття у часі. Аналіз дослідження стану асфальтобетонного покриття показує, що утворення колії небезпечної глибини складає від 20 до 35 % всіх причин зниження транспортно-експлуатаційної якості автомобільних доріг. Тому попередження утворення колії є надзвичайно важливою задачею, яка постає перед науковцями-дорожниками. Істотним недоліком українських нормативних документів з проектування дорожнього одягу, є відсутність розділів з прогнозування стану дорожнього одягу в процесі її служби.

В методиці розрахунку колістійкості враховується: величина навантаження, швидкість дії навантаження, розрахункові характеристики кожного з шарів і їхня товщина, кількість прикладених навантажень. Аналізується можливість утворення випорів разом з колією.

Результати статті розрахунку колії дозволяють спрогнозувати глибину колії з урахуванням накопичення залишкової деформації у всіх шарах дорожнього одягу.

Запропонована методика дозволяє спрогнозувати вертикальні зміщення будь-якої точки поверхні покриття в поперечному перерізі та визначити максимальну ширину, яку займає одна колія.

**Ключові слова:** колієстійкість, асфальтобетонне покриття, залишкові деформації, функція релаксації

**Аннотація.** В статті приведена методика определения общей глубина колеи, которая зависит от накопления остаточных деформаций в покрытии, слоях дорожной одежды и земляного полотна.

В рамках проблемы повышения долговечности асфальтобетонного покрытия нежестких дорожных одежд одной из важнейших задач считают сохранение ровности покрытия во времени. Анализ исследования состояния асфальтобетонного покрытия показывает, что образование колеи опасной глубины составляет от 20 до 35% всех причин снижения транспортно-эксплуатационного качества автомобильных дорог. Поэтому предупреждения образования колеи является чрезвычайно важной задачей, которая стоит перед учеными-дорожниками. Существенным недостатком украинских нормативных документов по проектированию дорожной одежды, является отсутствие разделов по прогнозированию состояния дорожной одежды в процессе ее службы.

В методике расчета колеестойкости учитывается: величина нагрузки, скорость действия нагрузки, расчетные характеристики каждого из слоев и их толщина, количество прилагаемых нагрузок. Анализируется возможность образования выпоров вместе с колеей.

Результаты статьи расчета колеи позволяют спрогнозировать глубину колеи с учетом накопления остаточной деформации во всех слоях дорожной одежды.

Предложенная методика позволяет спрогнозировать вертикальные смещения любой точки поверхности покрытия в поперечном сечении и позволяет определить максимальную ширину, которую занимает одна колея.

**Ключевые слова:** колієстійкість, асфальтобетонне покриття, залишкові деформації, функція релаксації

**Annotation.** The article describes a method of determining the total depth gauge, which depend on the accumulation of residual strain in the coating layers of pavement and roadbed.

As part of the problem of increasing the durability of asphalt pavement non rigid pavements one of the most important tasks of preserving equality believe coverage at the time. Analysis of the asphalt pavement shows that the rutting dangerous depths ranging from 20 to 35% of all causes reduction of transport and operational quality roads. Therefore prevent rutting is an extremely important task faced by scientists-road. A major shortcoming of Ukrainian regulations for the design of pavement are no sections of forecasting of the pavement during its service.

As a method of calculating stability rutting taken into account: the load, the speed of the load, calculated characteristics of each of the layers and their thickness, the amount of applied loads. The possibility of formation uplift asphalt with the track.

The results of calculation article track to predict the depth gauge based on the accumulation of permanent deformation in all layers of the pavement.

The technique allows to predict the vertical displacement of any point of the surface coating in cross section and determine the maximum width occupied by one rut.

**Keywords:** stability rutting, asphalt pavement, residual deformation, function of relaxation

## Вступ

В рамках проблеми підвищення довговічності асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів однією з найважливіших задач вважають збереження рівності покриття у часі. Аналіз дослідження стану асфальтобетонного покриття показує, що утворення колії небезпечної глибини складає від 20 до 35 % всіх причин зниження транспортно-експлуатаційної якості автомобільних доріг. Тому попередження утворення колії є надзвичайно важливою задачею, яка постає перед науковцями-дорожниками.

## Основна частина

Істотним недоліком українських нормативних документів з проектування дорожнього одягу, зокрема ВБН В.2.3-218-186-2004 [1], є відсутність розділів з прогнозування стану дорожнього одягу в процесі її служби. Кінець розрахункового терміну служби ніяк не пов'язується з обсягом руйнувань. Простіше кажучи, невідомо, яка буде середня глибина колії. Тому в даній статті

зроблена спроба змодельовати накопичення пластичних деформацій в конструкції дорожнього одягу, які проявляються у вигляді колії на асфальтобетонному покритті.

Основною характеристикою колії є її глибина, залишкова деформація конструкції дорожнього одягу  $\omega_k$ . На основі проведеного літературного аналізу, загальна глибина колії буде залежати від накопичення залишкових деформацій в покритті, шарах дорожнього одягу та земляному полотні. Крім того, в загальну глибину колії може бути включена середня висота випорів, які утворюються з правої та лівої сторін по відношенню до осі проходження колеса автомобіля. На основі вище викладеного можна записати:

$$\omega_{\varepsilon}(t, T(t)) = \omega_{\tau} + \omega_{\Delta} + \omega_{a/d}(t, T(t)) + \omega_{\sigma/a}(t) + \omega_{\sigma/\sigma}(t) + \omega_{\sigma/\tau}(t) + \omega_{\sigma} \leq [\omega_{\varepsilon}], \quad (1)$$

де  $\omega_{\tau}$  – знос покриття від шипованих шин у відповідності з рис. 1 [2];

$\omega_{\Delta}$  – пластичні деформації (глибина колії) внаслідок доущільнення шарів нежорсткого дорожнього одягу, і становить 2 мм для I, II категорій автомобільної дороги та 3 мм для III, IV, V категорій автомобільної дороги;

$\omega_{a/d}(t, T(t))$  – пластичні деформації (глибина колії) в асфальтобетонних та чорно-щебених шарах, які містять органічне в'язуче;

$\omega_{u/d}(t)$  – пластичні деформації (глибина колії) в шарах дорожнього одягу з дискретних матеріалів;

$\omega_{u/укр}(t)$  – пластичні деформації (глибина колії) в шарах дорожнього одягу з матеріалів, укріплених неорганічним в'язучим;

$\omega_{z/n}(t)$  – пластичні деформації (глибина колії) в земляному полотні;

$\omega_{\varepsilon}$  – середня висота випорів колії;

$[\omega_{\varepsilon}]$  – гранично допустима глибина колії (табл.1).

Рекомендується у зв'язку з небезпекою утворення глибокої колії встановити обмеження для дорожніх покриттів по параметру допустимої глибини колії, що наведено в таблиці 1 у відповідності з Р В.2.3-218-21476215-795:2011 [3]. Ділянки доріг з глибиною колії більше гранично допустимих значень відносяться до небезпечних для руху автомобілів і вимагають негайного проведення робіт по усуненню колії та підсиленню конструкції.

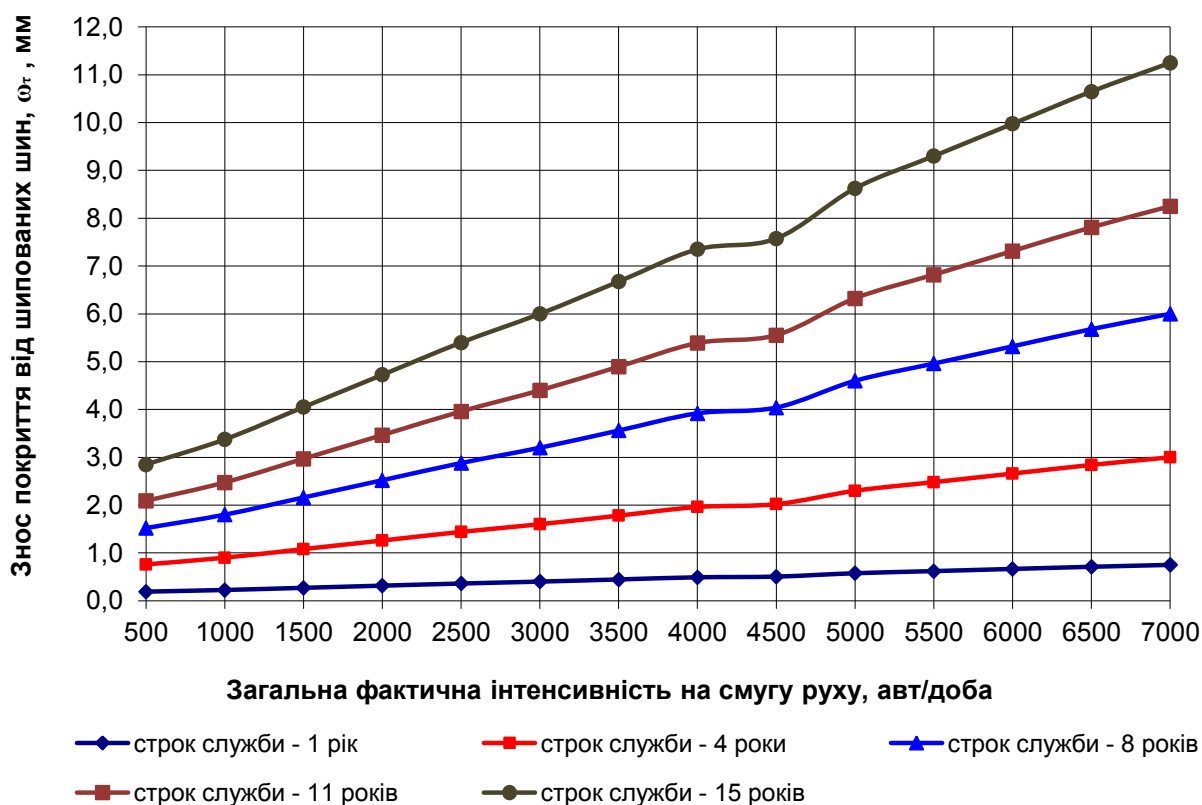


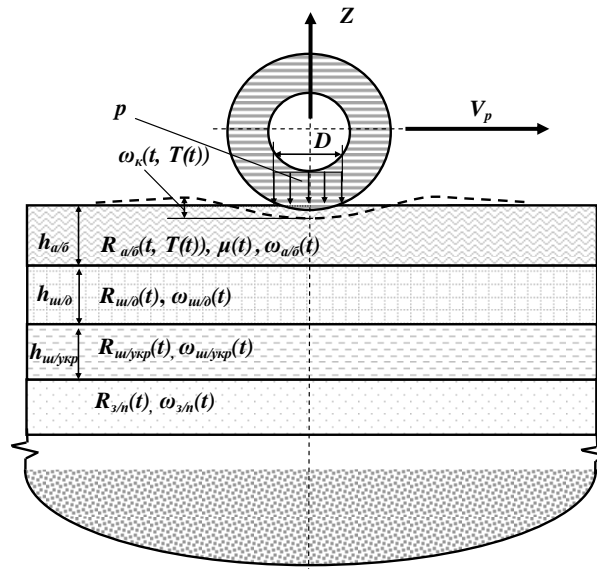
Рисунок 1 – Знос асфальтобетонного покриття від шипованих шин [2]

Розрахункова схема для визначення залишкових деформацій конструкції дорожнього одягу наведена на рис.2.

Таблиця 1 – Допустима глибина колії,  $\omega_n$ , згідно з Р В.2.3-218-21476215-795:2011 [3]

Шифр району	Глибина колії на різних категоріях дороги, мм/ розрахункова швидкість руху, км/год			
	I/>120	II/100	III/80	IV-V/60
A-1; A-2	5/20	12/27	20/35	27/45
A-3; A-4	5/20	12/27	20/35	27/45
A-5; A-6	10/25	15/30	25/40	30/50
A-7	10/25	15/30	25/40	30/50

**Примітка:** Вимоги до глибини колії у чисельнику допустима колія, у знаменнику гранично допустима глибина колії



**Рисунок 2** - Розрахункова схема нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням укріплення основи:  $p$  - на поверхні якої прикладений рівномірний нормальний тиск, розподілений на площі круга діаметром  $D$ ;  $V_p$  - швидкість транспортного засобу 0-60 (80) км/год;  $\mu(t)$  - коефіцієнт Пуассона, який залежить від часу дії навантаження;  $T(t)$  - температура, яка залежить від часу,  $R_{a/b}(t, T(t))$ ,  $R_{w/d}(t)$ ,  $R_{w/ykr}(t)$ ,  $R_{3/n}(t)$  - функція релаксації відповідно асфальтобетону, дискретного шару, укріпленого шару та земляного полотна;  $h_{a/b}$ ,  $h_{w/d}$ ,  $h_{w/ykr}$  - товщина шарів конструкції відповідно асфальтобетонного, дискретного шару, укріпленого шару;  $\omega_k(t, T(t))$  - залишкова деформація.

Для моделювання накопичення пластичних (залишкових) деформацій в шарах дорожнього одягу, які містять органічне в'язуче скористаємося наступною залежністю [4]:

$$\omega_{a/a}(t) = T \cdot \sum_1^i \frac{\sigma_{i,n\delta}^2 \cdot (1 - \mu^2(t)) \cdot h \cdot \lg n}{R_{a/a}(t, T(t)) \cdot R_{i,n\delta} \cdot \lg N} \cdot (e^{\frac{D}{V \cdot t_p}} - 1), \quad (2)$$

де  $\sigma_{i,cp}$  - середнє напруження в пакеті з шарів, які містять органічне в'язуче за  $i$ -тий місяць;

$\mu(t)$  - коефіцієнта Пуассона;

$h_{a/b}$  - товщина пакету з шарів, які містять органічне в'язуче;

$T$  - строк служби дорожньої конструкції, роки;

$R_{a/b}(t, T(t))$  - функція релаксації асфальтобетону;

$R_{i,cp}$  - середнє значення міцності при стиску;

$t_p$  - час релаксації;

$V$  - швидкість транспортного потоку, приймається як середнє між швидкістю на початку експлуатації дорожньої конструкції та в кінці строку її служби;

$D$  – діаметр кругового сліду колеса розрахункового автомобіля;

$n$  та  $N$  – інтенсивність руху розрахункових автомобілів на полосу руху відповідно в місяць і за строк служби;

$i$  – число місяців в році з характерною середньою температурою.

Залежність (2) дозволяє врахувати число і час навантажень, прикладених до пружньо-в'язко-пластичного напівпростору в умовах опору боковому розширенню.

$$\sigma_{i,cp} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D^2} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + 1,85 \cdot \left( \frac{h_e}{D} \right)^2} \right), \quad (3)$$

де  $h_e$  – еквівалентна товщина шару;

$P$  – навантаження від колеса за ВБН В.2.3-218-186-2004 «Нежорсткий дорожній одяг».

Середню швидкість транспортного потоку можна визначити за методикою проф. Васільєва О.П., використовуючи залежність [5]:

$$V_{cp} = V_p \cdot K_{pc} - t \cdot v_{от} - \alpha \cdot \beta \cdot N_r, \quad (4)$$

де  $V_p$  – розрахункова швидкість руху автомобіля;

$K_{pc}$  – значення експлуатаційного коефіцієнту забезпеченості розрахункової швидкості на певній ділянці дороги;

$t$  – гарантійний коефіцієнт довірчої імовірності при 85 %-вій забезпеченості;

$v_{от}$  – середньо квадратичне відхилення швидкості вільного транспортного потоку;

$\alpha$  – коефіцієнт впливу інтенсивності руху;

$\beta$  – частка вантажних автомобілів та автобусів, які рухаються по полосі;

$N_r$  – годинна інтенсивність руху.

Розрахункове значення функції релаксації асфальтобетонів в залежності від часу дії навантаження розрахункового автомобіля визначається за формулою [6]:

$$R_{a/d}(t, \dot{O}(t)) = R_\infty + (R_0 - R_\infty) \cdot \left( 1 + \frac{t}{\tau_0} \right)^{-m}, \quad (5)$$

де  $R_{a/b}(t, T(t))$  – функція релаксації асфальтобетону;

$R_0, R_\infty$  – відповідно миттєве та довготривале значення функції релаксації;

$m, \tau_0$  – параметри апроксимації

Процес накопичення залишкових деформацій в шарах основи з дискретних матеріалів або цих же матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими може бути ув'язаний з їх функцією релаксації і товщиною, що знайшло своє підтвердження в роботах [7, 8]:

$$\omega_{\phi/a}(t) = \omega_{\phi/i}(t) \cdot \left[ \frac{R_{\phi/a}(t)}{R_{\phi/i}(t)} \right]^{(0,657 \ln(t_0/a) - 0,296)}, \quad (6)$$

де  $h_{ш/д}$  – товщина шару з дискретного матеріалу, м;

$R_{ш/д}(t)$  – функція релаксації шару дорожнього одягу з дискретного матеріалу, МПа;

$R_{з/п}(t)$  – функція релаксації ґрунту земляного полотна, МПа;

$\omega_{з/п}(t)$  – накоплені пластичні деформації в ґрунті земляного полотна, мм;

$\omega_{ш/д}(t)$  – накоплені пластичні деформації в шарі з дискретного матеріалу, мм.

$$\omega_{\phi/a\delta\delta}(t) = \omega_{\phi/i}(t) \cdot \left[ \frac{R_{\phi/a\delta\delta}(t)}{R_a(t)} \right]^{(0,894 \ln(t_0/a\delta\delta) + 0,732)}, \quad (7)$$

де  $h_{ш/укр}$  – товщина шару з дискретного матеріалу, укріпленого неорганічним в'язучим, м;

$R_{ш/укр}(t)$  – функція релаксації шару дорожнього одягу з дискретного матеріалу, укріпленого цементом, МПа;

$R_e(t)$  – функція релаксації підстиляючого шару, МПа;

$\omega_{з/п}(t)$  – накоплені пластичні деформації в ґрунті земляного полотна, мм;

$\omega_{ш/укр}(t)$  – накоплені пластичні деформації в шарі з дискретного матеріалу, який укріплено неорганічним в'язучим, мм.

Якщо підстиляючим шаром є шар ґрунту, то  $R_e(t)$  дорівнює  $R_{з/п}(t)$ .



Розрахункове значення функції релаксації дискретних матеріалів і ґрунтів земляного полотна при короткочасному навантаженні визначається за залежністю[5]:

$$R_{\zeta/i}(t) = E_0 \left( 1 + \frac{E_0}{E_\infty \hat{\alpha} \chi} \ln \frac{1 + \chi t}{1 + \alpha \chi t} \right)^{-1}, \quad (8)$$

де  $\hat{A}_0, \hat{A}_\infty$  – відповідно миттєве та довготривале значення модуля пружності;

$\alpha, \chi$  – параметри апроксимації

Розрахункове значення  $\alpha$  визначається за виразом:

$$\alpha = \exp \left[ - \left( 1 - \frac{E_\infty}{E_0} \hat{\alpha} \chi \right) \right], \quad (9)$$

Пластичні деформації в ґрунті земляного полотна можна розрахувати за формулою [9]:

$$\omega_{\zeta/i}(t) = \exp^{(15\tau + 1,38B - 3,0) \cdot (N \cdot t_\Pi)^{0,3}}, \quad (10)$$

де  $\tau$  – активні дотичні напруження зсуву в ґрунті земляного полотна;

$B$  – коефіцієнт консистенції ґрунту, доля одиниці;

$N$  – сумарна кількість прикладеного розрахункового навантаження;

$t_\Pi$  – тривалість дії одного прикладення автомобільного навантаження.

Для визначення максимального активного напруження зсуву в ґрунті на поверхні земляного полотна використовуємо формулу за ВБН В.2.3-218-186-2004 [1].

Для оцінки висоти випорів була розроблена наступна схема, основана на порівнянні об'ємів матеріалу, заключеного в випорах та загального обсягу, вижатого матеріалу з шарів дорожнього одягу в яких міститься органічне в'язуче. Обсяг вижатого матеріалу з шарів дорожнього одягу в яких міститься органічне в'язуче визначається як різниця між об'ємом залишкової деформації накопиченої в шарах дорожнього одягу які містять органічне в'язуче, з одного боку, та сумарним об'ємом залишкової деформації шарів основи (без

врахування шарів, які містять органічне в'язуче) і ґрунту земляного полотна, з іншого. Таким чином висоту випорів визначаємо за наступною залежністю:

$$\omega_a = \frac{\omega_{\text{в/а}}(t, T(t)) - (\omega_r + \omega_{\text{в/а}}(t) + \omega_{\text{в/о/е/д}}(t) + \omega_{\text{в/і}}(t) + \omega_{\Delta})}{2}. \quad (11)$$

Отримане від'ємне значення висоти випорів свідчить про їх відсутність.

Після сумування всіх часткових складових колії за формулою 1 отримуємо загальну глибину колії. Необхідно підкреслити, що ця глибина є максимальною і проходить по вертикальній осі через центр дії колеса в поперечному розрізі. Для визначення вертикальних зміщень будь-якої поверхні покриття, яка розташована на відстані  $r$  від осі діючих навантажень скористаємось формулою [10]:

$$\omega_r = \frac{\omega_k(t, T(t))}{1 + 0,67 \cdot \left(\frac{r}{R} \cdot \arctg \frac{D}{h_e}\right)}, \quad (12)$$

$\omega_k(t, T(t))$  – вертикальне зміщення будь-якої точки покриття, розташованої на відстані  $r$ , см;

$r$  – відстань від осі діючого навантаження, см;

$R$  – радіус кола рівновеликого відбитку колеса, см;

$D$  – діаметр кола рівновеликого відбитку колеса, см;

$h_e$  – товщина еквівалентного шару покриття, см.

Для визначення тангенсу кута нахилу дотичної до кривої ( $tg\beta$ ), яка характеризується рівнянням 12 необхідно продиференціювати це рівняння по  $r$ :

$$\frac{d\omega_r}{dr} = tg\beta \quad (13)$$

Горизонтальна відстань  $r$  від осі колії до точки, в якій дотична до кривої нахилена під найбільшим кутом  $\beta_{\text{max}}$  визначається з рівняння:

$$\frac{d^2\omega_r}{dr^2} = 0 \quad (14)$$

Після підстановки в формулу 13 значення  $r$ , знайденого з рівняння 14, і проведення відповідних перетворень в роботі [9] отримано:

$$\operatorname{tg}\beta_{\max} \cong 1,06 \cdot \frac{\omega_k(t, T(t)) \cdot \operatorname{arctg} \frac{D}{h_a}}{D} \quad (15)$$

Визначивши тангенс кута нахилу дотичної до кривої ( $\operatorname{tg}\beta$ ) знаходимо відстані  $r_1$  та  $r_2$  (рис. 2), які разом з глибиною колії слугують вихідними даними для визначення всіх точок колії в поперечному перерізі:

$$r_1 = \frac{\omega_{\phi}}{\operatorname{tg}\beta_{\max}}, \quad (16)$$

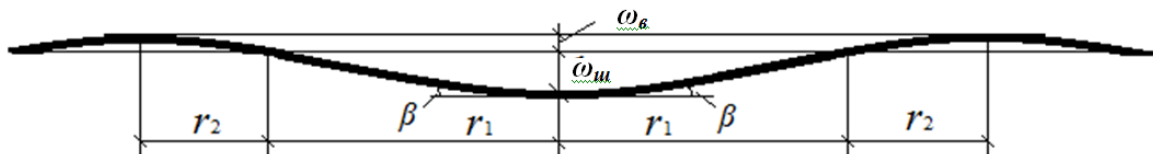
де  $\omega_{\phi}$  – глибина колії утворена за рахунок всіх шарів дорожнього одягу без включення висоти випорів ( $\omega_{\phi} = \omega_{\tau} + \omega_{\Delta} + \omega_{a/\delta}(tT(t)) + \omega_{u/\delta}(t) + \omega_{u/\gamma_{кр}}(t) + \omega_{3/n}$ );

$r_1$  – горизонтальна відстань від осі діючого навантаження до точки перетину колії з початковою поверхнею покриття.

$$r_2 = \frac{\omega_a}{\operatorname{tg}\beta_{\max}}, \quad (17)$$

де  $\omega_a$  – середня висота випорів (лівого та правого);

$r_2$  – горизонтальна відстань від осі лівого чи правого випору до точки перетину колії з початковою поверхнею покриття.



**Рисунок 3** - Поперечний переріз колії з зазначенням всіх її геометричних параметрів

Максимальна ширина, яка зайнята однією колією визначається за формулою:

$$B_{\max} = 4 \cdot r_2 + 2 \cdot r_1 \quad (18)$$

## Висновок

Дана методика розрахунку колії дає можливість спрогнозувати її глибину з врахуванням накопичення залишкової деформації у всіх шарах дорожнього одягу нежорсткого типу. Аналізується можливість утворення випорів разом з колією. В методиці розрахунку враховується: величина навантаження, швидкість дії навантаження, розрахункові характеристики кожного з шарів і їх товщина, кількість прикладених навантажень. Крім того, дана методика дозволяє спрогнозувати вертикальні зміщення будь-якої точки поверхні покриття в поперечному перерізі і дозволяє визначити максимальну ширину, яку займає одна колія.

## Література

1. ВБН В.2.3-218-186-2004. Дорожній одяг нежорсткого типу. Відомчі будівельні норми України. Київ: Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004. – 71 с.
2. Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежестких дорожных одеждах (утверждены распоряжением Росавтодора № ОС-556-р о 24.06.2002 г). М.:2002, -179с.
3. Р В.2.3-218-21476215-795:2011 Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття
4. Смирнов А.В., Малышев А.А., Агалаков Ю.А. Механика устойчивости и разрушений дорожных конструкций. Изд-во СиБАДИ, Омск, 1997, 92 с.
5. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. – Т. 1 / ученик для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
6. Радовский Б.С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б.С. Радовский, А.С. Супрун, И.И. Козаков. – Киев: Будівельник, 1989. – 166 с.
7. Мевлидинов З.А. Обоснование основных показателей, учитывающих влияние остаточных деформаций при расчете дорожных одежд нежесткого типа: Дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» / Мевлидинов З.А. – Москва, 1997. – 192 с.
8. Лугов С.В. Основные положения методики расчета глубины колеи на дорожных одеждах с асфальтобетонным покрытием: автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» / Лугов С.В. – Москва, 2004. – 25 с.
9. Сиденко В.М., Михович С.Г. Эксплуатация автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1976. – 228 с.
10. Проектирование дорожных одежд / [Иванов Н.Н., Защепин А.Н., Корсунский М.Б. и др.]. – М.: Автотрансиздат, 1955. – 250 с.