

УДК 625.07

- © І.П. Гамеляк, докт. техн. наук,
- © Я.М. Якименко (НТУ)

# АНАЛІЗ ЗМІНИ ЗАГАЛЬНОГО МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ТА МІЦНОСТІ НА РОЗТЯГ ПРИ ЗГИНІ МОНОЛІТНИХ ШАРІВ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПРОТЯГОМ РОКУ

**Анотація.** Виконано аналіз зміни загального модуля пружності та міцності на розтяг при згині монолітних шарів нежорсткого дорожнього одягу і побудовано гістограми їх розподілу.

**Ключові слова:** нежорсткий дорожній одяг; монолітні шари; модуль пружності; міцність.

**Аннотация.** Выполнен анализ изменения общего модуля упругости и прочности на растяжение при изгибе монолитных слоев нежесткой дорожной одежды и построена гистограмма их распределения.

**Ключевые слова:** нежесткая дорожная одежда; монолитные слои; модуль упругости; прочность.

**Annotation.** The analysis of change in the general modulus and tensile strength to strength monolithic layer of non-rigid pavement and construct histograms of their distribution.

**Key words:** flexible pavements; monolithic layers; modulus; strength.

Загально прийнятим на сьогодні критерієм експлуатаційної надійності автомобільної дороги є виконання автомобільною дорогою своїх функцій, тобто забезпечення безперервного безпечного і зручного руху транспортних засобів відповідно з раціональними швидкостями руху, при мінімальній втомлюваності водіїв та безпеці руху.

Метою дослідження є встановлення зміни коефіцієнтів запасу міцності за критеріями граничного стану (пружний прогин та згин монолітних шарів) в залежності від температури та швидкості деформування для оцінювання надійності конструкції дорожнього одягу (КДО) нежорсткого типу.

За рахунок детального врахування зміни температури шарів і вологості ґрунту земляного полотна надійність конструкції дорожнього одягу за критеріями граничного стану (згину монолітних шарів, зсув у ґрунті, пружний прогин) у конкретний момент експлуатації дороги  $t$ , визначена як імовірність безвідмовної роботи [1]:

$$i = H_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) = 0,5 + Q_i(\beta_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i)) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i)}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (1)$$

де  $Q_i(\beta_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i))$  – нормована функція Лапласа;  $\beta_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i)$  – характеристика безпеки, що змінюється в конкретний момент експлуатації  $t_i$  в залежності від сумарної інтенсивності руху  $N_{\Sigma}(t_i)$ , температури шару КДО  $T_i$  та вологості ґрунту земляного полотна  $w_i$ :

$$\beta_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) = \frac{R_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) - Q_i(t_i)}{\sqrt{S_{R_i}^2(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) + S_{Q_i}^2(t_i)}}$$

або

$$\beta_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) = \frac{K_{\text{уд}}(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) - 1}{\sqrt{C_{R_i}^2(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) + K_{\text{уд}}^2(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) + C_{Q_i}^2(t_i)}} \quad (2)$$

де  $i$  – порядковий номер критерію граничного стану;  $R_i(N_{\Sigma}(t_i))$  – середнє значення узагальненого опору (загального модуля пружності КДО, питомого зчеплення чи міцності на розтяг при згині);

$Q_i(t_i)$  – середнє значення діючого узагальненого навантаження (розтягуючого напруження по нижній грані монолітних шарів, активного напруження зсуву ґрунту чи потрібного загального модуля пружності);

$S_{R_i}^2$  та  $S_{Q_i}^2$  – середньоквадратичні відхилення опору (міцності) та навантаження (напруження);

$K_{\text{уд}}(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i) = \frac{R_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i)}{Q_i(t_i)}$  – коефіцієнт запасу міцності для вибраного  $i$ -го критерію граничного стану;

$\beta_i(N_{\Sigma}(t_i), T_i, w_i)$  та  $Q_i(t_i)$  – коефіцієнти варіації опору (міцності) та навантаження (напруження) відповідно в момент часу, що розглядається.

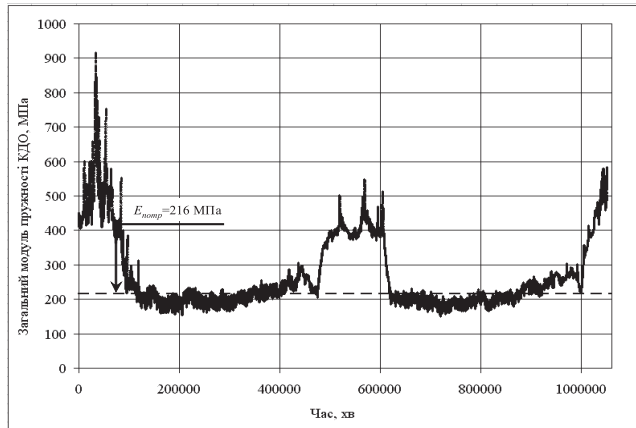
На основі робіт, які були опубліковані раніше [2–4] виконаний розрахунок КДО за критеріями граничного стану через кожні 10 хв зміни температурно-вологісного режиму. Для розрахунку була взята конструкція на ділянці автомобільної дороги М-06 Київ–Чоп км 655+107, за даними СУСП вона складається з таких шарів: асфальтобетон дрібнозернистий 5,0 см; асфальтобетон дрібнозернистий 6,0 см; асфальтобетон дрібнозернистий 5,5 см; асфальтобетон крупнозернистий 4,5 см; чорний щебінь просочений бітумом 7,5 см; щебінь 28 см; ґрунт земляного полотна – суглинок. Інтенсивність руху взята за один рік.



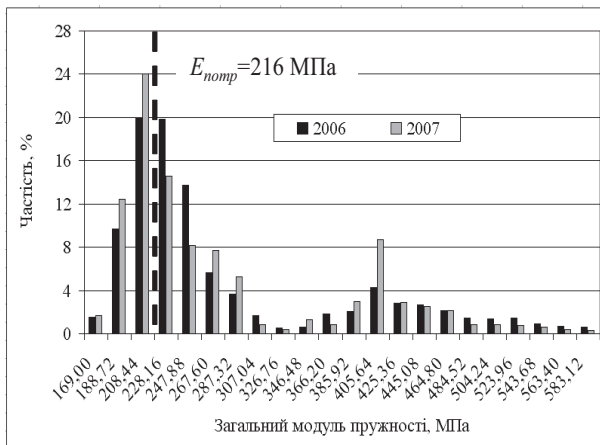
**1. Зміна загального модуля пружності протягом року (пружний прогин)**

Результати аналізу з побудовою залежності зміни середніх значень та гістограм розподілу за критерієм граничного стану пружний прогин наведено на **рис. 1 – 4**.

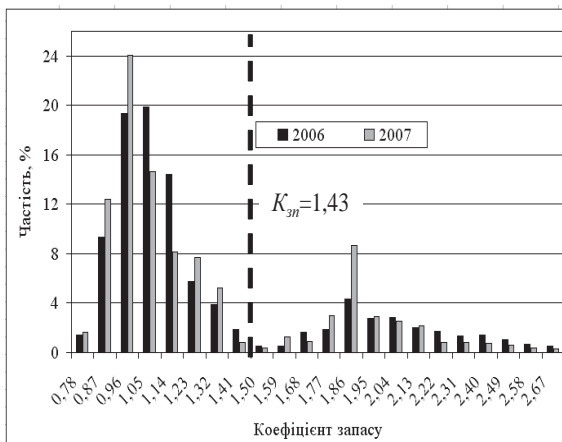
Обробка результатів розрахунку у вигляді гістограм наведено на **рис. 2 – 3**.



**Рис. 1.** Зміна загального модуля пружності КДО за 2006 – 2007 роки



**Рис. 2.** Гістограма зміни загального модуля пружності КДО за 2006 – 2007 роки



**Рис. 3.** Гістограма зміни коефіцієнта запасу міцності за 2006 – 2007 роки

За залежностями (1) і (2) розраховано імовірність перевищення (надійність) заданого значення коефіцієнта запасу міцності конструкції за критерієм загального модуля пружності (пружного прогину) (**рис. 4**).

Аналіз даних, наведених на **рис. 4** показує на значне зменшення надійності протягом 2007 р. порівняно із 2006 р. однак середнє значення надійності 0,25 при забезпеченості 0,95 залишається практично незмінним.

Порівняння загального модуля пружності КДО визначеного за формулою 3.8 ВБН В.2.3-218-186 [5] з даними інших авторів NCHRP Eric C. Drumm (2003 р.) та даними, які були надані лабораторією автомобільних доріг та аеродромів Національного транспортного університету (завідувач проф. Д.О. Павлюк), випробування виконувались на автомобільній дорозі Київ – Бориспіль у 2008 р. Всі дані вказують на загальну відповідність тенденції зміни загального модуля пружності в річному циклі (**рис. 5-а**) та протягом доби (**рис. 5-б**). Відмінності в абсолютних значень полягають тому, що експериментально випробувані конструкції значно потужніші від прийнятої для аналізу.

**2. Аналіз зміни запасу міцності на розтяг при згині монолітних шарів нежорсткого дорожнього одягу протягом року.**

Результати аналізу з побудовою залежності зміни середніх значень та гістограм розподілу міцності та напруження за критерієм розтягу при згині монолітних шарів наведено на **рис. 6 – 9**.

Розтягуючі напруження при згині по нижній фібрі визначені за формулою М.І. Горбунова-Посадова при  $a_z < 0,5$ :

$$\sigma_s = \frac{3\pi p_0 D^2}{2h_r^2} \left( 0,0592 - 0,214 \lg \frac{D}{2h_r} \sqrt{\frac{6E_2 \cdot (1-\mu_1^2)}{E_1(1-\mu_2^2)}} \right) \quad (3)$$

де  $E_1$  – середній модуль пружності асфальтобетонних шарів;

$E_2$  – загальний модуль пружності під монолітними асфальтобетонними шарами;

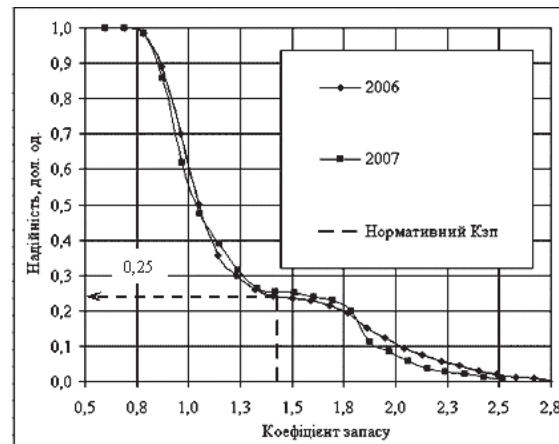
$D$  – діаметр відбитку колеса;

$h_r$  – сумарна товщина асфальтобетонних шарів;

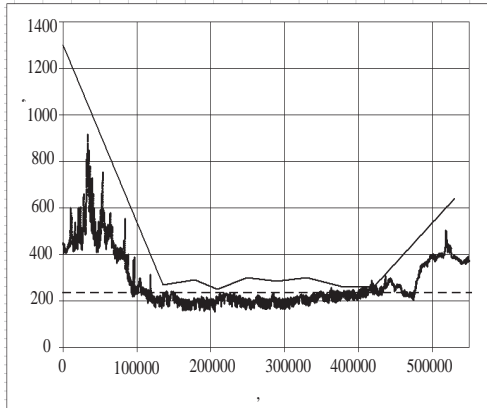
$\mu_1, \mu_2, \mu_s$  – відповідно, коефіцієнт Пуассона для асфальтобетону, нижніх шарів та середнє значення,

$a_z$  – параметр, який визначає умову подальшого розрахунку  $a_z = \sqrt{\frac{E_2}{2D_1 \cdot (1-\mu_1^2)}}$

$D_z$  – циліндрична жорсткість плити  $D_z = \frac{E_1 \cdot h_r^3}{12 \cdot (1-\mu_1^2)}$



**Рис. 4.** Зміна імовірності перевищення заданого значення коефіцієнта запасу конструкції за критерієм загального модуля пружності за 2006 – 2007 роки



а)

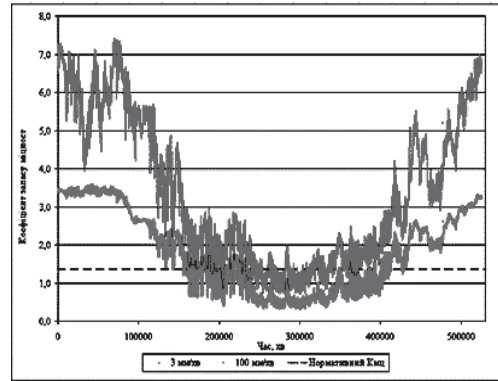
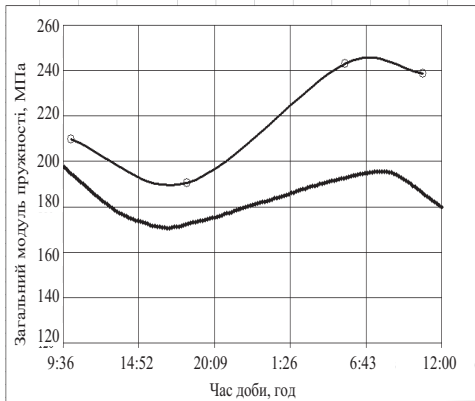


Рис. 7. Зміна коефіцієнта запасу міцності на розтяг при згині монолітних шарів КДО при швидкості деформування 3 мм/хв та 100 мм/хв



б)

Рис. 5. Порівняння загального модуля пружності КДО з даними: а) NCHRP Eric C. Drumt (2003 р.) і б) порівняння з даними лабораторії автомобільних доріг та аеродромів (НТУ, 2008 р.)

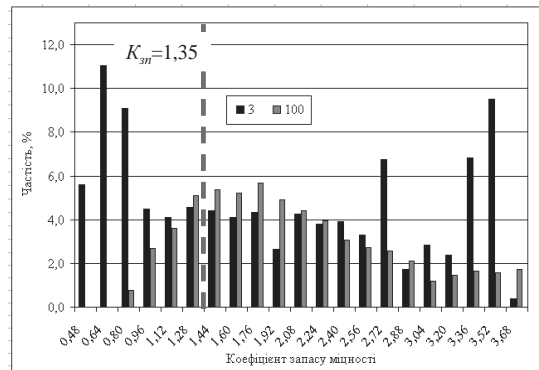


Рис. 8. Зміна коефіцієнта запасу міцності при швидкості деформування 3 мм/хв та 100 мм/хв

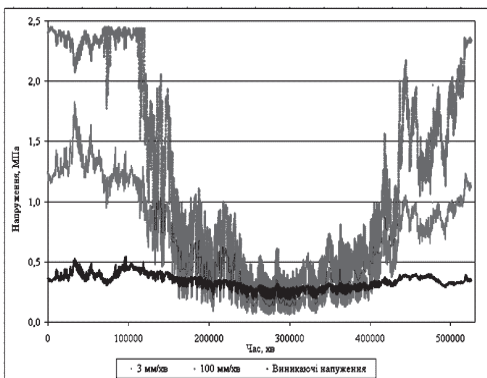


Рис. 6. Зміна міцності та виникаючі напруження на розтяг при згині монолітних шарів КДО при швидкості деформування 3 мм/хв та 100 мм/хв

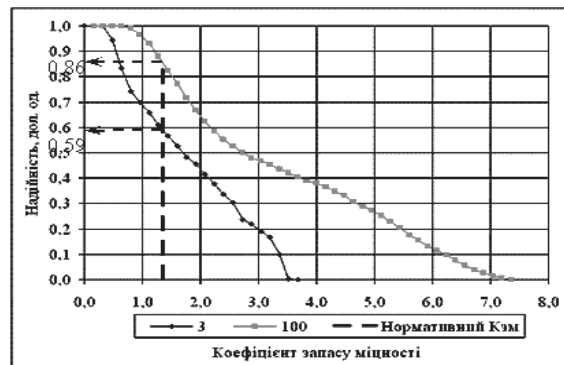


Рис. 9. Зміна імовірності перевищення заданого значення коефіцієнта запасу міцності конструкції за критерієм згину монолітних шарів



На основі залежностей (1) і (2) виконаний аналіз зміни імовірності перевищення (надійності) заданого значення коефіцієнта запасу конструкції за критерієм згину монолітних шарів (рис. 9).

Аналіз даних, наведених на рис. 9 показує на значне зменшення надійності протягом 2006 р. при швидкості деформування 3 мм/хв надійність 0,59 при нормованому коефіцієнті запасу міцності порівняно із швидкістю деформування 100 мм/хв надійність 0,86.

#### Висновки

Розраховано зміну загального модуля пружності та міцності на розтяг при згині монолітних шарів нежорсткого дорожнього одягу і побудовано гістограми їх розподілу.

Отримані дані є основою для встановлення: розрахункових температур асфальтобетонних шарів; тривалості періодів роботи асфальтобетонного покриття й основи при даній температурі; проектування конструкцій із заданою надійністю за критеріями граничного стану.

Таким чином, отримані залежності є основою методики оцінки надійності в процесі експлуатації. Проведений аналіз надійності КДО автомобільної дороги II категорії М-06 на ділянці Стрий – Чоп км 655+107

показав на значне зменшення надійності протягом 2006 р. при швидкості деформування 3 мм/хв надійність 0,59 при нормованому коефіцієнті запасу порівняно із швидкістю деформування 100 мм/хв надійність 0,86. Тобто дорога потребує термінового виконання капітального ремонту або обмеження руху транспортних засобів з метою збереження. На основі розробленої методики може бути запроєктовані раціональні конструкції посилення КДО для досягнення необхідного рівня надійності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гамеляк І. П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.11 / Гамеляк Ігор Павлович. – К., 2005. – 460 с.
2. Гамеляк І. П., Якименко Я. М. Аналіз впливу метеорологічних факторів на роботоздатність конструкції дорожнього одягу // Науково-технічний збірник Національного транспортного університету. – 2008. – № 75. – С. 336 – 340.
3. Якименко Я. М., Гамеляк І. П. Методика встановлення умов роботи конструкції дорожнього одягу із заданою надійністю // Автошляховик України – 2009. – № 2. – С. 43 – 46.
4. Гамеляк І. П., Якименко Я. М. Дослідження фізико-механічних властивостей асфальтобетону в залежності від температури і швидкості деформування // Автошляховик України. – 2009. – № 6. – С. 12 – 15.
5. ВБН В.2.3–218–186–2004. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К.: Укравтодор, 2004. – 176 с.

УДК 625.75

- © М.Ф. Сасько,
- © І.В. Копинець

## ПЕРЕВАГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА РЕМОНТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**Анотація.** Наведено переваги та перспективи використання технології холодного ресайклінгу при будівництві та ремонті автомобільних доріг.

**Ключові слова:** холодний ресайклінг; в'язуче; водно-цементна суспензія; бітум; бітумна емульсія.

**Аннотация.** Приведены преимущества и перспективы использования технологии холодного ресайклинга при строительстве и ремонте автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** холодный ресайклинг; вяжущее; водно-цементная суспензия; битум; битумная эмульсия.

**Annotation.** The article presents the advantages and prospects of using cold recycling technology in road construction and road repair.

**Key words:** cold recycling; binder; water-cement suspension; bitumen; bitumen emulsion.

Технологія холодного ресайклінгу виникла на межі ХХ сторіччя на основі інтеграції й узагальнення існуючих принципів в організації дорожньо-будівельних технологій, що забезпечували потреби суспільства протягом останніх п'ятдесяти років.

Діючи в дорожній галузі технології відрізняються роздрібністю, роз'єднані в просторі та часі і прив'язані в основному до однієї технологічної операції, що потребує створення численних засобів механічного обладнання і тому характеризується низькою продуктивністю, економічністю і рентабельністю.

Технологія холодного ресайклінгу – це висока рентабельність, технічна досконалість, екологічна привабливість і висока якість робіт.

Ця технологія:

- багатofункціональна: відновлення і покращення робото здатності, транспортно-експлуатаційних характеристик старих дорожніх одягів; укріплення ґрунтів робочого шару земляного полотна; будівництво місцевих доріг і поліпшення їх стану шляхом обробки покриття цементом, спіненим бітумом або бітумною емульсією;

- побудована на використанні теоретично-методологічних концепцій сформульованих академіком