

## НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ АРМОВАНИХ ГЕОГРАТКАМИ

### RELIABILITY OF ROAD PAVEMENTS REINFORCED BY GEOGRIDS



**Гамеляк Ігор Павлович**, доктор технічних наук, професор Національний транспортний університет, професор кафедри аеропорти, e-mail: gip65n@gmail.com, тел. +380503524124,

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>.



**Волощук Денис Вікторович**, Національний транспортний університет, здобувач кафедри аеропорти, e-mail: den.voloshchuk@gmail.com, тел. +380934615917,

<https://orcid.org/0000-0002-7599-1123>.

**Анотація.** У статті виконано аналіз існуючого досвіду розрахунку дорожніх конструкцій армованих геогратками та доповнено власними експериментальними дослідженнями по визначенню ефекту армування дорожніх конструкцій.

Об'єкт дослідження – армовані та неармовані конструкції дорожнього одягу перехідного типу.

Мета роботи – визначення впливу армування конструкцій дорожнього одягу перехідного типу жорсткими геогратками на несну здатність та її однорідність.

Метод дослідження – польові випробування несучої здатності динамічним методом, статистичний аналіз отриманих даних.

Стаття є узагальненням довготривалих досліджень несної здатності конструкції дорожнього одягу перехідного типу, з зернистими шарами основи, армованими геогратками. Дослідження виконувались в період з 2014 по 2017 роки та охоплюють як етапи будівництва так і експлуатації, в розрахунковий період накопичення вологи та в період осушення.

Результати статті можуть бути упроваджені при проектуванні та розрахунках дорожніх одягів при армуванні жорсткими геогратками.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розширення експериментальної бази з урахуванням різних методик випробувань, різних армуючих матеріалів та в різних будівельних умовах.

**Ключові слова:** конструкція дорожнього одягу, модуль пружності, надійність, геогратки, армування.

**Вступ.** Стаття є узагальненням довготривалих досліджень несної здатності конструкції дорожнього одягу (КДО) перехідного типу, з зернистими шарами основи, армованими геогратками. Дослідження виконувались в період з 2014 по 2017 роки та охоплюють як етапи будівництва так і експлуатації, в розрахунковий період накопичення вологи та в період осушення.

Жіру (J. P. Giroud) та Хан (JieHan), 2004[1-2], розробили метод розрахунку товщини зернистих шарів нежорстких дорожніх одягів, який враховує вплив геограток на несну здатність конструкцій.

Метод удосконалений з урахуванням попередніх методів, розроблених Жіру і Нойрай (L. Noiray), 1981 [3], та Жіру та ін., 1985 [4], з використанням останніх даних польових і лабораторних досліджень. Жіру і Нойрай [3] розробили емпіричне рішення для доріг без покриття без армування з використанням даних польових випробувань та кількісної оцінки ефективності від підсилення геогратками. Рішення було засновано на межі рівноваги за теорією несної здатності з модифікацією, щоб врахувати вплив на напруження за рахунок мембранного ефекту. Теоретична постановка Жіру-Хана враховує розподіл напружень, міцність матеріалу шару основи, заклинювання зернистого матеріалу в геогратці та жорсткість геогратки в плані як додаток до умов, розглянутих в попередніх методах (інтенсивність руху транспорту, навантаження на колесо, тиск в шинах, питоме зчеплення ґрунту, глибина колії та вплив армуючих геосинтетичних матеріалів на режим відмови доріг перехідного типу (без монолітного покриття)).

Формула для необхідної товщини шару основи:

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{[1 + 0.204(R_E - 1)]} \left[ \sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}\right] N_c f_c CBR_{sg}} - 1}} \right] r, \quad (1)$$

де  $(0.661 - 1.006J^2) > 0$ ;  $h$  – необхідна товщина шару основи (дюйм або м);  $J$  – модуль стійкості в метричних одиницях (N-м / градус);  $P$  – навантаження на колесо (фунтів або кН);  $r$  – радіус відбитку шини (дюймів або м);  $N$  – кількість прикладення навантаження;  $R_E$  – співвідношення модулів -  $E_{bc} / E_{sg} = 3.28 \cdot CBR_{bc}^{0.3} / CBR_{sg} \leq 5$ ;  $E_{bc}$  – модуль пружності шару основи (psi або МПа);  $E_{sg}$  – модуль пружності ґрунту (psi або МПа);  $CBR_{bc}$  – каліфорнійське число несної здатності зернистих матеріалів;  $CBR_{sg}$  – каліфорнійське число несної здатності ґрунту;  $f_s$  – коефіцієнт глибини колії;  $s$  – максимальна допустима глибина колії (дюймів або м);  $N_c$  – коефіцієнт несної здатності: 3,14 для неармованих доріг, 5,14 для дорожніх покриттів посиленних геотекстильними матеріалами, 5,71 для дорожніх покриттів посиленних геогратками;  $f_c$  – коефіцієнт, що відноситься до CBR ґрунту для зчеплення при відсутності дренажування,  $c_u = 4,3$  psi (30 кПа).

Товщина шару матеріалу основи визначається на основі теорії несної здатності з метою запобігання збільшення глибини колії, що перевищує заданий критерій працездатності. Деформація ґрунту залежить від напруження, що виникають на межі основа-ґрунт і збільшення глибини колії, як функції напружень у нижній частині основи і несної здатності ґрунту земляного полотна. Вплив складу та інтенсивності руху, властивості матеріалу шару основи та властивості геогратки виражені через два важливі параметри: коефіцієнт приведення несної здатності ( $m$ ) та кут розподілу напруження ( $\alpha$ ).

Коефіцієнт приведення несної здатності визначає рівень приведеної несної здатності, яка залежить від прогину у верхній частині ґрунтової основи, коли осадка поверхні досягає дозволеної глибини колії. Кут розподілу напруження визначає здатність матеріалу шару основи перерозподіляти навантаження від транспортного потоку. Ефект трафіку і геограток впливає на швидкість зміни кута розподілу напруження, оскільки стан дороги перехідного типу погіршується при повторному навантаженні, що враховано у формулі розрахунку.

Властивості матеріалу шару основи розглядаються аналогічно з попередніми методами. Матеріал шару основи характеризується його Каліфорнійським числом несної здатності CBR використовуючи діаграму AASHTO для співвідношення з модулем пружності ґрунту (AASHTO, 1993).

Ґрунт земляного полотна вважається насиченим водою та має незначну дренажувальну здатність під час руху навантаження. У формулі для проектування, співвідношення між модулем пружності шару основи до ґрунту обмежене до 5.

Припускається, що несправність доріг викликана незворотними деформаціями при зсуві або надмірною деформацією ґрунту. Метод проектування ґрунтується на типовій глибині колії на поверхні 3 дюйма (75 мм), яка є критерієм експлуатаційної якості. Це дозволяє приймати для аналізу глибину колії від 2 до 4 дюймів (50 і 100 мм).

Властивості геогратки пов'язані з її здатністю взаємодіяти з матеріалом шару основи та забезпечити заклинювання. На основі дослідження Кінні (Kinney, T. C) та Коліна (Collin, J. G.,) зі співавторами, 1996 [5], модуль жорсткості гратки характеризується, як залежність з вимірною характеристикою колійності на дорогах. Модуль пружності при розтягу отримують шляхом безпосереднього вимірювання тангенса кута нахилу у площині у точці перетину графіку для заданої відносної деформації (січний модуль пружності). Це є прямою характеристикою жорсткості в площині і характеризує стійкість ребер і вузлів геогратки. Метод був відкалібрований, використовуючи дані для жорсткої двоосної геогратки з модулем пружності 0,32 та 0,65 Н-м/град. У методі проектування модуль жорсткості може варіюватися від нуля до максимального значення на основі даних, що використовуються при калібруванні.

Коефіцієнти несної здатності для неармованих доріг без покриття, як відомо змінюється від 2,8 до 3,3. Жіру та Хан (2004а) прийняли значення коефіцієнта рівним 3,14 (тобто,  $\pi$ ), що є величиною пружної межі для насиченого недренуючого ґрунту для простих деформацій і осесиметричних умов і нульового інтервалу напруження зсуву. Як обговорювалося раніше, заклинювання і блокування на межі шарів, що підсилені геограткою протистоять бічному руху та випирання ґрунту і створює додаткові внутрішні напруження при зсуві. Теоретичне значення кінцевого коефіцієнта несної здатності для осесиметричних умов та максимальному внутрішньому зсувному напруженні 5,71 (тобто  $3\pi/2$ ) і приймається для геогратки дороги перехідного типу. Для випадку, коли шар основи розділений геотекстилем і немає взаємодії, Жіру та Хан прийняли значення 5,14 (тобто,  $\pi + 2$ ), як було спочатку запропоновано Жіру і Нойрай (1981), що є кінцевим коефіцієнтом несної здатності для простої умови деформації та нульовому зсувному напруженні на межі основи та ґрунту земляного полотна.

Таким чином, армування гратками за даним методом дозволяє збільшити несну здатність в  $5,71/3,14 = 1,8$  рази при армуванні геогратками, та в  $5,14/3,15 = 1,6$  рази при використанні геотекстилів.

**Мета і методи.** На сьогоднішній день в нашій країні відсутні методи розрахунку конструкцій дорожнього одягу перехідного типу, з зернистими шарами основи, армованими геогратками. Однією з ключових задач при розрахунку дорожніх одягів на етапі проектування та забезпечення їх безвідмовної роботи протягом проектного строку експлуатації є забезпечення їх надійності та довговічності. При розрахунку КДО за пружним прогином надійність або імовірність її безвідмовної роботи визначається за формулами 2-5 [6-8]:

$$H = R(t, N_{sum}) = 1 - F(t, N_{sum}) = P(t, N_{sum} \leq T), \quad (2)$$

де  $R(t)$  – імовірність безвідмовної роботи;  $T$  – вектор значень ( $T_1, T_2 \dots T_n$ ) критеріїв граничного стану конструкції;  $F(t, N_{sum})$  – імовірність виходу КДО із ладу в момент часу  $t$ , або при величині сумарного прикладення навантаження  $N_{sum}$ ;  $P$  – імовірність відмови КДО.

Імовірність виходу КДО із ладу  $F$  доцільно розраховувати не лише задаючись проектним строком експлуатації  $t$ , а й окремо враховуючи сумарну кількість прикладення навантаження  $N_{sum}$ . Цю характеристику доцільно розглядати, як імовірність настання несприятливої події протягом розрахункового строку експлуатації  $t$ . Сумарну кількість прикладення навантаження  $N_{sum}$  важко прогнозувати на розрахунковий термін експлуатації, оскільки вона залежить від багатьох факторів, в числі яких є і економічні умови середовища. Таким чином, надійність конструкції доцільно задавати та розраховувати окремо за прийнятими критеріями.

При нормальних законах розподілу «міцності» та «напруження» надійність конструкції дорожнього одягу виражається через коефіцієнт надійності [8]:

$$K_n = 0,5 + F(\beta), \quad (3)$$

де  $F(\beta)$  – нормована функція Лапласа;  $\beta$  – характеристика безпеки, при розрахунку за пружним прогином [1];

$$\beta = \frac{E_{zag} - E_{potr}}{\sqrt{S_{Ezag}^2 + S_{Epotr}^2}} \quad \text{або} \quad \beta = \frac{K_M - 1}{\sqrt{C_{Ezag}^2 \cdot K_M^2 + C_{Epotr}^2}}, \quad (4)$$

де  $E_{zag}$  – загальний модуль пружності конструкції, МПа, який залежить від товщини шарів  $h_i$ , м, їх фактичного модуля пружності  $E_i$ , МПа та діаметру відбитку пневматика  $D$ , м [9];  $E_{potr}$  – потрібний модуль пружності конструкції, МПа, який залежить від розрахункового навантаження та сумарної кількості

прикладення навантаження  $N_{sum}$  [9];  $S_{Ezag}$  і  $S_{Enomp}$  – середньоквадратичні відхилення розрахункового (фактичного) та відповідно потрібного модуля пружності шару дорожнього одягу, МПа;  $C_{Ezag}$  і  $C_{Enomp}$  – коефіцієнти варіації розрахункового (фактичного) та відповідно потрібного модуля пружності шару дорожнього одягу;  $K_M$  – коефіцієнт запасу міцності:

$$K_M = E_{zag} / E_{nomp} . \quad (5)$$

Для оцінки загального модуля пружності використовується формула ВБН В.2.3.218-186 [9] або Е. Барбера:

$$E_{zag} = E_1 \left[ 1 + \frac{E_1/E_2 - 1}{[1 + 4(h/D)^2(E_1/E_2)^{2/3}]^{1/2}} \right]^{-1} , \quad (6)$$

де  $D$  – діаметр відбитку колеса розрахункового автомобіля, см;  $E_1, E_2$  – модулі пружності зернистого шару і основи відповідно.

Потрібний модуль пружності визначається за формулою:

$$E_{потр} = (a \cdot \ln(\Sigma N) - b) . \quad (7)$$

де:  $a=42,843, b=315,68$  при  $Q=115$  кН;  $a=42,843, b=350,21$  при  $Q=100$  кН;  $a=42,843, b=409,4$  при  $Q=60$  кН.

З урахуванням коефіцієнту армування зернистого шару геосинтетикою:

$$E_{арм} = k_{арм} \cdot E_1 \quad (8)$$

$\beta$  – характеристика безпеки, при розрахунку за пружним прогином [4];

$$\beta = \frac{E_{zag}(k_{арм}) - E_{потр}}{\sqrt{S_{Ezag}^2(k_{арм}) + S_{Eпотр}^2}} \text{ або } \beta = \frac{K_M(k_{арм}) - 1}{\sqrt{C_{Ezag}^2(k_{арм}) \cdot K_M^2(k_{арм}) + C_{Eпотр}^2}} , \quad (9)$$

Таким чином, надійність конструкції дорожнього одягу перехідного типу за критерієм загального модуля пружності на поверхні шару  $E_{zag}$ , залежить від фактичного значення модуля пружності шару основи армованої геосинтетичним матеріалом, а також впливу армуючого матеріалу на зміну середньоквадратичного відхилення  $S_E$  або коефіцієнта варіації  $C_E$  армованого шару.

Для практичного використання наведених залежностей необхідно експериментально визначити коефіцієнти армування та зміну однорідності шару основи армованої геосинтетиками.

**Результати і пояснення.** Експериментальне визначення коефіцієнтів армування здійснювалось в період з 2014 по 2017 роки при будівництві конструкції дорожнього одягу перехідного типу для забезпечення проїзду місцевого транспорту через ділянку, що проходить частково по ґрунтовій основі в стані природного залягання, що поступово переходить в частково заболочені ділянки, а також з наливним піском потужністю 0,7 – 1,5 м в основі поверх торфу потужністю 3,0 - 6,0 м. Основні завдання досліджень: пошарово відстежити стан шарів дорожнього одягу, їх роботу в процесі експлуатації, створити робочу методику [10] підготовки до випробувань, їх проведення та виконати відповідний аналіз результатів.

Об'єкт досліджень розташовувався в с. Плюти, Обухівського р-ну, Київської області, рис. 1, умовно розділено на три ділянки: ділянка 1 – проходить по периметру штучного озера, в основі слабкі торф'яні ґрунти, штучно намитий пісок та будівельне сміття, ділянка 2 – пролягає в межах соснового насадження, на підході до ділянки 1 переходить в спуск де в основі ґрунти у стані природного залягання – суглинок легкий пілуватий, ділянка 3 – сполучає в собі слабку заболочену основу, будівельне сміття, наливний пісок та ґрунти у стані природного залягання.

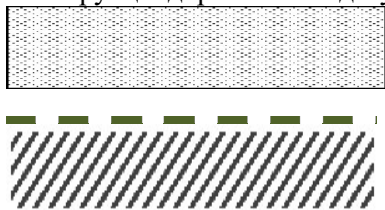


Рисунок 1 – План об'єкту досліджень у 2014-2017 р.р., Київська обл., Обухівський р-н, с. Плюти (50°10'29.7"N 30°42'37.3"E)

Figure 1 – A plan of research object in 2014-2017, Kyiv region, Obuchivskiy district, Plyty (50°10'29.7"N 30°42'37.3"E)

У табл. 1 наведено технічні характеристики жорсткої ґратки GG1, що застосовувалась в якості конструктивного елемента конструкції дорожнього одягу, та ґратки GG2 для порівняння. Порівняння залежності «напруження – деформація» для них наведено на рис. 2.

Конструкція дорожнього одягу перехідного типу влаштована на дослідних ділянках:



- щебінь фр.20-40 мм по способу заклинки важким катком –  $h = 22$  см;
- жорстка геогратка GG1 (табл. 1);
- ущільнений ґрунт земляного полотна – пісок дрібнозернистий з характеристиками: щільність  $\gamma = 16,5$  кН/м<sup>3</sup>, кут внутрішнього тертя  $\varphi = 24^\circ$ , питоме зчеплення  $c = 1$  кПа, модуль пружності  $E_{zp} = 30 - 45$  МПа.

Таблиця 1 – Технічні характеристики жорстких ґраток GG1 та GG2  
 Table 1 – Technical characteristics of rigid grids GG1 and GG2

Умовне позначення	GG1	GG2
Фото		
Тип	двоосні еструдовані жорсткі геогратки	ткані гнучкі геогратки
Матеріал	PP	PET з PVC-покриттям
Межа міцності на розрив, вздовж/поперек, кН/м	40/40	60/60
Міцність при видовженні 2% вздовж/поперек кН/м	15/15	11,5/10
Міцність при видовженні 5% вздовж/поперек кН/м	30/30	19/16
Відносне видовження при розриві, вздовж/поперек %	11/11	12,5/12
Модуль пружності при видовженні 2%, вздовж/поперек кН/м	750/750	575/500
Модуль пружності при видовженні 5%, вздовж/поперек кН/м	600/600	380/320

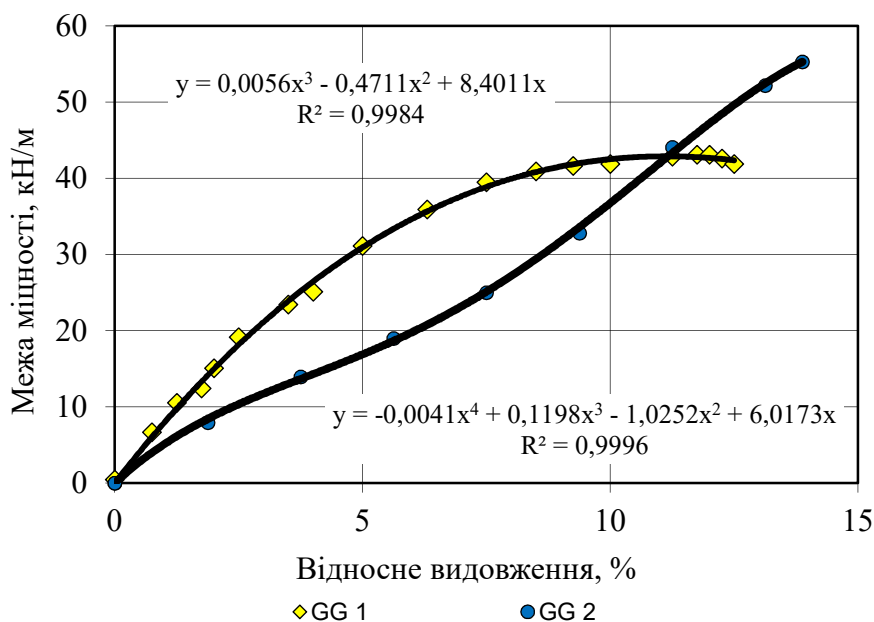


Рисунок 2 – Залежності міцності при розтягу від відносного видовження жорстких геораток GG1 та GG2

Figure 2 – Dependence of tensile strength on relative elongation of geogrids GG1 and GG2

У ході випробувань використовувався прилад для визначення динамічного модуля пружності FWD INSPECTOR 3-го та 4-го покоління (рис. 3-4), що дало можливість отримувати вибірки даних необхідного об'єму в умовах обмеженого часу (згідно методики [10]). Вимірювання виконувались поетапно починаючи з вимірювань на поверхні шару основи земляного полотна безпосередньо перед будівництвом, а також на поверхні шару ущільненого щебню після влаштування та в процесі експлуатації в різні періоди – періоди накопичення вологи та періоди просихання. Методикою передбачено три умовні етапи робіт:

1. Етап планування – підготовка до випробувань із визначенням способу та встановленням об'єму випробувань за [10];
2. Етап випробувань – проведення випробувань згідно першого етапу;
3. Етап статистичної обробки та аналізу результатів – отримані результати випробувань статистично обробляються, визначаються параметри розподілу та фактичні значення несної здатності на поверхнях випробувань.



Рисунок 3 – Проведення випробувань по вимірюванню динамічного модуля пружності (ділянка 1, INSPECTOR 3)

Figure 3 – Dynamic elasticity modulus measurements (site 1, INSPECTOR 3)



Рисунок 4 – Панорама випробувань на 3-й ділянці  
 Figure 4 – Panorama of tests on the 3rd site

У процесі вказаних випробувань методика пройшла практичну апробацію та може використовуватись при плануванні та здійсненні випробувань на основі інших інструментальних засобів. Результати вимірювань зафіксовано в наступних документах:

Акт № 1-14 від 10.10.2014 р. – досліджувались ділянки 1 та 2 після влаштування КДО;

Акт № 2-15 від 01.08.2015 р. – ділянка 2 повторно та ділянка 3 при спорудженні КДО;

Акт № 3-17 від 20.04.2017 р. – повторні випробування на ділянках 2 та 3 в період весняного акумулювання вологи в шарах основи (за участю інж. Ніколайчука А.В).

Результати статистичної обробки отриманих вибірок вимірювань по рокам наведено в табл. 2.

На рис. 5 наведено приклад розподілу значень вимірюваного модуля пружності по довжині ділянки випробування відносно його середнього значення.

Таблиця 2 – Узагальнення результатів випробувань по ділянкам 1-3 у 2014-2017 роках  
 Table 2 – Test results generalization by sites 1-3, 2014-2017

№ ділянки	Показник	10.2014	08.2015		04.2017
		по покриттю	на основі	по покриттю	по покриттю
Ділянка 1	Середнє	229,7 МПа	-	-	-
	Ст. відхилення	44,16	-	-	-
	Коеф. варіації	19,2 %	-	-	-
Ділянка 2	Середнє	212,6 МПа	-	210 МПа	199 МПа ↓
	Ст. відхилення	28,97	-	63,6	47,4
	Коеф. варіації	13,6 %	-	30,2 %	23,8 % ↑
Ділянка 3	Середнє	-	49 МПа	72,8 МПа	216 МПа
	Ст. відхилення	-	22,95	18,3	32,1
	Коеф. варіації	-	46,8 %	25,1 %	14,9 %

Армуючий ефект проявляється тільки через деякий період експлуатації КДО при заклинюванні зерен щебеню у вічках георатки і включенні її в роботу.

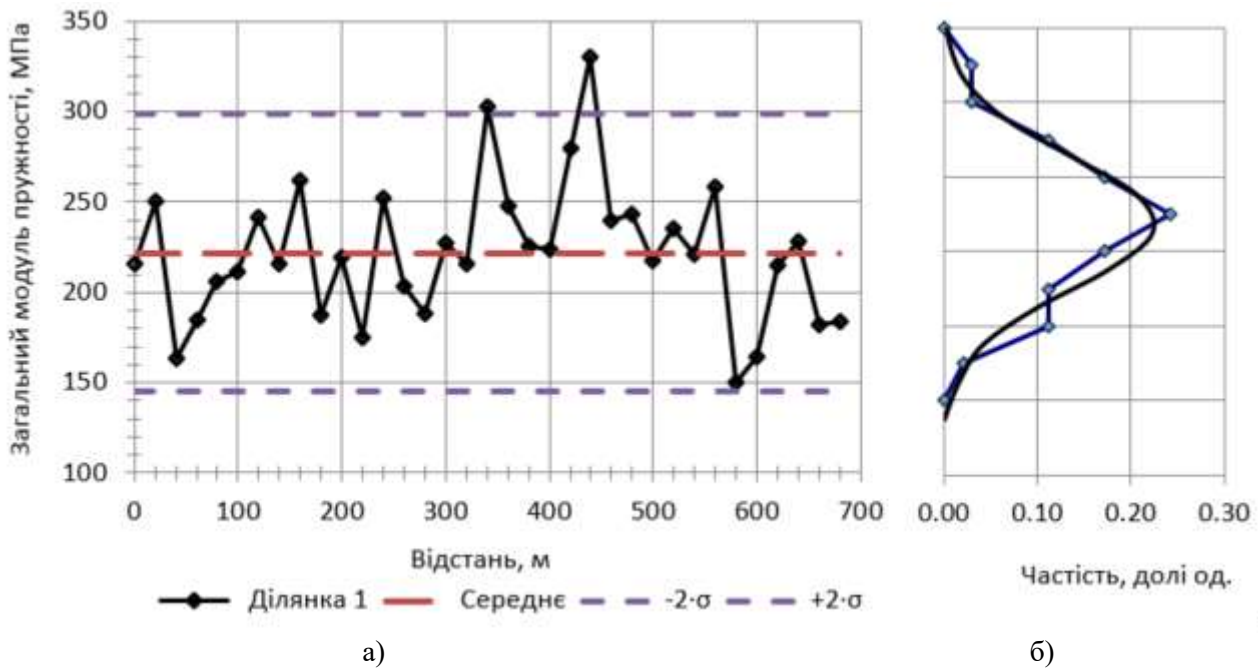


Рисунок 5 – Зміна загального модуля пружності та його полігон частот (а) і щільність розподілу (б)  
 Figure 5 – Change and frequency of overall elasticity modulus (a) and its distribution density (b)

Ключова ідея статті, при аналізі табл. 2, добре простежується на ділянках 2 і 3, яким характерні вищі показники несної здатності при високій неоднорідності в період мінімальної кількості вологи в основі конструкції та зниження показників несної здатності на фоні збільшення однорідності їх розподілу в весняний період накопичення вологи.

Загальний модуль пружності неармованого шару щебеню по способу заклинки з модулем шару 250 МПа становить 148,7 МПа.

Шляхом рішення трансцендентного рівняння (10) знайдено, що для досягнення загального модуля пружності армованої конструкції 209 МПа, як встановлено за результатами випробувань, модуль армованого шару щебеню повинен становити 700 МПа. Збільшення загального модуля пружності армованої конструкції у порівнянні із неармованою становить  $209 \text{ МПа} / 148,7 \text{ МПа} = 1.41$  рази.

Результати випробувань вказують на вплив природної та штучної основи на роботу прошарку із жорсткої ґратки та загальну несучу здатність конструкції – природні структурні зв'язки основи на другій ділянці дають більшу однорідність несної здатності основи, при цьому штучно влаштована основа на болотистих ґрунтах дає більше можливостей для розкриття властивостей жорсткої ґратки.

$$\text{root} \left[ 209 - \frac{\left[ 1.05 - 0.1 \cdot \frac{h^4 \cdot \left( 1 - \frac{3 \sqrt[3]{Eg}}{\sqrt{x}} \right)}{D} \right] \cdot x}{0.71 \cdot \sqrt[3]{\frac{Eg}{x}} \cdot \text{atan} \left( 1.35 \cdot \frac{2 \cdot h^4 \cdot \sqrt[3]{\frac{x}{6 \cdot Eg}}}{D} \right) + \frac{x}{Eg} \cdot \frac{2 \cdot \text{atan} \left( \frac{D}{2 \cdot h^4 \cdot \sqrt[3]{\frac{x}{6 \cdot Eg}}} \right)}{\pi}} \right], x, E_{\min}, E_{\max} = 468.766 \quad (10)$$

Коефіцієнт збільшення несної здатності щебеню по способу заклинки при армуванні жорсткою ґраткою становить  $468,8 \text{ МПа} / 250 \text{ МПа} = 1,88$ .

На основі отриманих результатів вимірювань несної здатності здійснено порівняння коефіцієнтів запасу міцності,  $K_m$ , рис. 6а, для армованої та неармованої конструкції. Коефіцієнт запасу міцності характеризує безвідмовність роботи при заданій інтенсивності прикладення навантажень, що підтверджує дослідження Жіру [1]. Однак, методика Жіру [1] не враховує варіацію розподілу значень несної здатності, що є не менш важливим фактором при армуванні конструкцій. На рис. 6б наведено порівняння коефіцієнтів надійності,  $K_n$ , для неармованих конструкцій при варіації 25,1 % та армованої при варіації 25,1% та 15%.

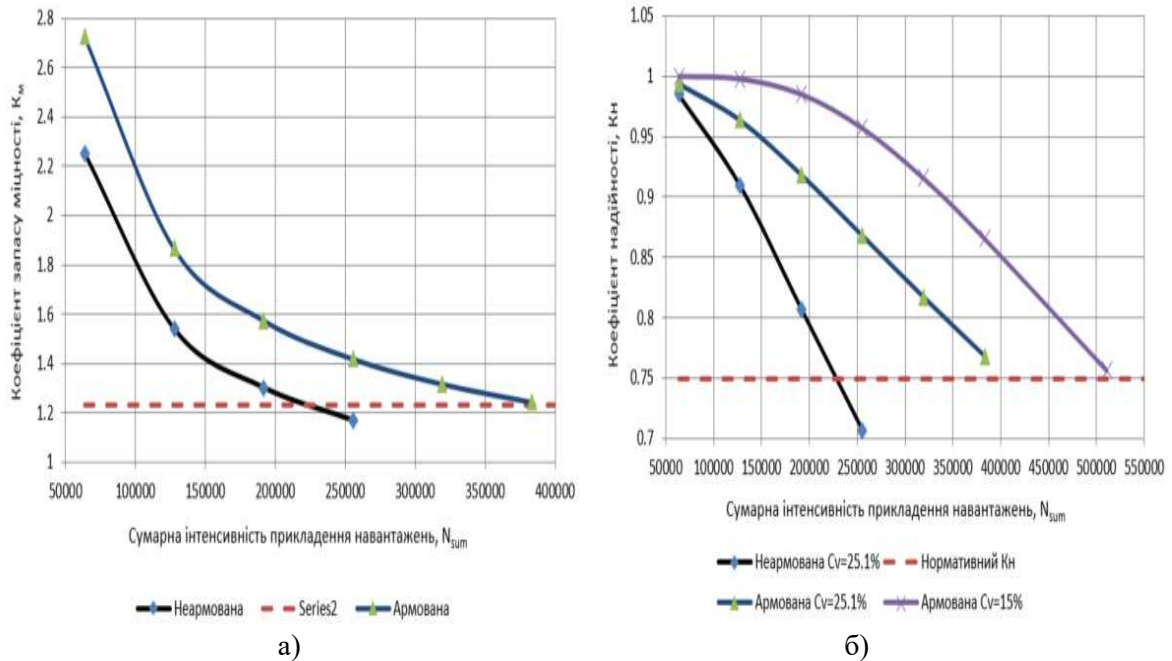


Рисунок 6 – Порівняння зміни коефіцієнту запасу міцності (а) та коефіцієнту надійності армованої та неармованої конструкції від заданої сумарної інтенсивності прикладення навантаження при різних варіаціях розподілу значень несної здатності

Figure 6 – Comparison of changes in strength factor (a) and of reliability factor (b) for reinforced and non-reinforced pavement at a certain traffic intensity

Обидва показники характеризують безвідмовність роботи при заданій інтенсивності прикладення навантажень, однак, коефіцієнт надійності, на відміну від коефіцієнта запасу міцності, враховує не лише розрахункові значення несної здатності, а й варіацію їх розподілу. З рис. 7 видно, що ефект при армуванні, який збільшує однорідність несної здатності конструкції тим самим підвищує її ресурс в перспективі росту інтенсивності прикладення навантажень.

**Висновки та рекомендації.** У результаті досліджень підтверджено ефект армування опублікований Жіру [1], та не менш важливим є встановлення факту підвищення однорідності несної здатності конструкцій. Такий ефект добре простежується при зниженні несної здатності ґрунтової основи конструкції в період весняного накопичення вологи, іншими словами армування нівелює вплив неоднорідності ґрунтової (природної) основи на загальну однорідність конструкції.

Не зважаючи на різні ділянки та роки їх влаштування для однотипних умов і однаковій конструкції отримано схожі результати. Коефіцієнт армування для жорсткої георатки GG1 отримано на рівні 1,41... 1,88, що дозволяє його рекомендувати в розрахунках армованих конструкцій. Армуючий ефект проявляється тільки через деякий період експлуатації КДО при заклинюванні зерен щебеню у вічках георатки і включенні її в роботу.

Для всіх випадків застосування геосинтетичних матеріалів спостерігається значне зменшення неоднорідності, коефіцієнт варіації зменшується з 21,7 ... 35,5% до 10... 12%. Завдяки збільшенню однорідності розрахункові значення модуля пружності зростають в 1,11... 2,24 рази.

На основі цього стає можливим визначати на яких типах ґрунтів основи які типи геосинтетичних матеріалів мають більший коефіцієнт армування та є більш ефективними.

Необхідно продовжити дослідження армуючого впливу ґраток з урахуванням товщини шару, модуля пружності ґрунту основи та величини навантаження для перевірки теоретичної моделі.

### Перелік посилань

1. Giroud, J.P.; Han, J.: Design Method for Geogrid-Reinforced unpaved Roads. I. Development of Design Method. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, August 2004 (130), pp. 775-786.
2. Giroud, J.P.; Han, J.: Design Method for Geogrid-Reinforced unpaved Roads. II. Calibration and applications. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, August 2004 (130), pp. 787-797.
3. Giroud, J.P., and L. Noiray. 1981. Geotextile-reinforced unpaved road design. *Proceedings, of the American Society of Civil Engineers Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol. 107(GT9), pp. 1233-1254.
4. Giroud J.P., Ah-Line, C. and Bonaparte, R. 1985. Design of unpaved roads and trafficked areas with geogrids. *Proc. Symp. On Polymer Grid Reinforcement in Civil engineering*, pp. 9-12.
5. Collin, J. G., Kinney, T. C., and Fu, X. ~1996!. 'Full scale highway load test of flexible pavement systems with geogrid reinforced base courses.' *Geosynthet. Int.*, 3~4!, 537-549
6. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Якименко Я.М. Надійність конструкцій дорожнього одягу / М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, І.П. Гамеляк, В.Ф. Райковський, Я.М. Якименко // - Навч. посібник. К.: НТУ. – 2012. – 206 с.
7. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон // М.: Мир. - 1980.
8. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницын // М.: Стройиздат., - 1978. - 239 с.
9. ВБН В.2.3.218-186 «Дорожній одяг нежорсткого типу».
10. Гамеляк І. П., Волощук Д. В., Коваль Т. І. Науковий твір «Методика встановлення загального модуля пружності (деформації) дорожнього одягу за результатами експериментальних випробувань». № 70301. 07.02.2017.

### RELIABILITY OF ROAD PAVEMENTS REINFORCED BY GEOGRIDS

**Gameliak Igor Pavlovich**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, National Transport University, Head of department «Airports», e-mail: [gip65n@gmail.com](mailto:gip65n@gmail.com), +380503524124, <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>.

**Voloshchuk Denys Viktorovich**, National Transport University Omelyanovich Pavlenko St. 1, Kiev, Ukraine 01010., postgraduate student of department «Airports», e-mail: [den.voloshchuk@gmail.com](mailto:den.voloshchuk@gmail.com), +380934615917, <https://orcid.org/0000-0002-7599-1123>.

**Summary.** Existing experience of unpaved road constructions reinforcement by geogrids described in article, which amended by own practical experience of reinforcement usage in unpaved road constructions.

Object of the study – reinforced and non-reinforced unpaved road constructions.

Purpose of the study – to determine influence of unpaved constructions reinforcement by rigid geogrids on overall bearing capacity and its deviation.

Method of the study – field bearing capacity dynamic tests, statistic data analysis

The article is a long-term study generalization of an unpaved road constructions, with grained layers, which were reinforced by rigid geogrids. The study was carried out between 2014 and 2017 and covers both the construction and operation stages, in the period of moisture accumulation and during the drainage period.

The results of the study could be used at design and calculation for reinforced road constructions by rigid geogrids.

Forecast assumptions about the object of study – the expansion of the experimental base, taking into account different test methods, different reinforcing materials and in different construction conditions.

**Key words:** road construction, elasticity modulus, reliability, geogrids, reinforcement.

### References

1. Giroud, J.P.; Han, J.: Design Method for Geogrid-Reinforced unpaved Roads. I. Development of Design Method. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, August 2004 (130), pp. 775-786. [in English]
2. Giroud, J.P.; Han, J.: Design Method for Geogrid-Reinforced unpaved Roads. II. Calibration and applications. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, August 2004 (130), pp. 787-797. [in English]
3. Giroud, J.P., and L. Noiray. 1981. Geotextile-reinforced unpaved road design. Proceedings, of the American Society of Civil Engineers Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 107(GT9), pp. 1233-1254. [in English]
4. Giroud J.P., Ah-Line, C. and Bonaparte, R. 1985. Design of unpaved roads and trafficked areas with geogrids. Proc. Symp. On Polymer Grid Reinforcement in Civil engineering, pp. 9-12. [in English]
5. Collin, J. G., Kinney, T. C., and Fu, X. ~1996!. "Full scale highway load test of flexible pavement systems with geogrid reinforced base courses." Geosynthet. Int., 3~4!, 537-549 [in English]
6. Dmitrichenko M.F., Dmitriev M.M., Gameliak I.P., Raikovskiy V.F., Yakimenko Y.M. (2012). Nadiynist konstrukciy dorozhniogo odiagu [Road pavements reliability]. Navchalnyi posibnyk, NTU – Tutorial, National Transport University, 206 p. [in Ukrainian]
7. Kapur K., Lamberson L. (1980). Nadezhnost i proektirovanie system [Reliability and design of systems]. Myr [in Russian]
8. Rzhaniyev A.R. (1987). Teoriya rascheta stroitelnykh konstrukciy na nadezhnost [A theory of building constructions design for reliability]. Stroyizdat, 239 p. [in Russian]
9. VBN V.2.3.218-186 Dorozhniy odiag nezhorstkogo typu [Road pavements of non-rigid type]. State standard. [in Ukrainian]
10. Gameliak I.P., Voloshchuk D.V., Koval T.I. (2017). Metodyka vstanovleniya zagalnogo modulya pruzhnosti (deformacii) dorozhniogo odiagu za rezultaty eksperimentalnykh vyprobuvan [A methodology of road pavements overall elasticity modulus establishment based on experimental measurements]. Naukoviy tvir – Scientific work. [in Ukrainian]