

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-284-291

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ
ПОСИЛЕНИХ ЖОРСТКИМИ БАГАТОВІСНООРІЄНТОВАНИМИ ПОЛІМЕРНИМИ
ГЕОРЕШІТКАМИ**

**EXPERIMENTAL STUDIES ON STRENGTHENING OF ROAD PAVEMENTS WITH
POLYMER RIGID MULTI-AXIAL ORIENTED GEOGRIDS**



Усиченко Олена Юрїївна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: fbbk@ukr.net, тел. +380442803942

<https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>



Харін Павло Леонідович, директор за напрямом проектування та інжинірингу, ТОВ «Уніпром», Київ, Україна, e-mail: kxarin@ukr.net, тел. +380504135950

<https://orcid.org/0000-0001-7858-0912>



Зарічний Антон Олександрович, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: antohazarich@gmail.com, тел. +380442803942

<https://orcid.org/0009-0004-5723-3443>

Анотація: Авторами статті на основі отриманих результатів проведених експериментальних досліджень на різних типах конструкцій нежорсткого дорожнього одягу розглянуто особливості роботи незв'язного матеріалу посиленого георешіткою. В процесі досліджень виконано серію статичних штампових випробувань і визначені величини модуля деформації традиційних та посилених конструкцій дорожнього одягу. Досліджено вплив георешітки, влаштованої в основі незв'язного шару конструкції дорожнього одягу, на його модуль деформації. Встановлено, що використання георешіток значно підвищує еквівалентний модуль деформації дорожнього одягу, залежно від товщини шару інертного матеріалу та деформаційних характеристик ґрунту основи. Встановлено, що ефективність посилення залежить від співвідношення деформаційних характеристик дорожнього одягу і ґрунтів основи, а також відносної глибини закладення георешітки. Найбільший ефект досягається на слабких ґрунтах при великих деформаціях. Отримані результати мають важливе значення для подальших досліджень і практичного застосування технології посилення дорожніх конструкцій геосинтетичними матеріалами.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня конструкція, багатовісноорієнтована георешітка, геосинтетичне армування, штампові випробування, деформаційні характеристики, навантаження, коефіцієнт армування, натурний експеримент

Вступ. Недовговічність несних шарів з ґрунтів і кам'яних матеріалів традиційно є однією з найбільш гострих проблем при будівництві. Більш низький термін служби таких основ, в порівнянні з розрахунковим, обумовлений наявністю цілого ряду причин, до числа яких, разом з технологічними, слід віднести і недосконалість розрахункових схем і методів, прийнятих в практиці конструювання.

В першу чергу це відноситься до конструкцій, в яких застосовуються нові матеріали. Адже, як правило, впровадження сучасних конструкцій відбувається за відсутності нормативних документів.

Однією з причин передчасного руйнування дорожнього одягу автомобільних доріг є недостатня міцність і малий термін служби основ, що споруджуються з незв'язних матеріалів (щебеню, щебеневопіщаних сумішей, гравію тощо). Досить велика товщина шару із незв'язних матеріалів в основі призводить до накопичення залишкових деформацій і як наслідок - утворення колійності на покритті. Одним з найбільш перспективних методів підвищення міцності таких основ є застосування георешіток. В Україні георешітки полімерні жорсткі багатовісноорієнтовані знайшли своє застосування, для посилення конструкції дорожніх одягів. Георешітка полімерна жорстка багатовісноорієнтована – це високоміцна полімерна структура з фіксованими чарунками, які утворені шляхом перфорування листів поліпропілену з додаванням сажі (не менше 2 % за масою), з послідовним витягуванням у декількох напрямках, що забезпечує багатовісну орієнтацію молекулярних зв'язків. Комірка забезпечує оптимальне співвідношення структурної стійкості та ефективного використання матеріалу, а жорстка (ізометрична) структура рівномірно сприймає зусилля розтягу за усіма напрямками на 360 °. Застосування такої технології дозволяє отримати економію витрачених затрат на будівництво конструкції дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу.

Для підтвердження гіпотези про ефективність застосування багатовісноорієнтованої георешітки Tensar TX 160 у якості посилення конструкцій нежорстких дорожніх одягів у листопаді 2020 р. проектною організацією ТОВ «Уніпром» спільно з фахівцями Національного транспортного університету був проведений натурний експеримент. Досліджувались різні конструкції дорожніх одягів, в тому числі з використанням геосинтетичного армування. Дослідження проводились на ділянці автомобільної дороги М-22 Полтава – Олександрія, км 58 в Полтавській області.

Мета досліджень:

- встановити якісну та кількісну картину роботи підсилення дорожнього одягу в умовах штампових навантажень;
- оцінити ефективність посилення георешітками незв'язних шарів нежорстких дорожніх одягів.

Завдання досліджень:

- отримати графічні залежності осідання штампів від величини тиску який прикладається;
- визначити деформаційні характеристики - еквівалентний модуль деформації ($E_{екв}$) дорожніх одягів, посиленних георешітками;
- встановити вплив георешіток на величину еквівалентного модуля деформації дорожнього одягу;
- встановити оптимальний тип георешітки, з точки зору підвищення міцності дорожнього одягу;
- на основі кореляційно-регресійного аналізу отримати регресійні рівняння залежності $E_{екв. пос.} / E_{екв} = f(h_{од} / D, E_{гр} / E_{до})$.

Обладнання, методика і техніка проведення експерименту

Вимірювання модуля деформації проводилися статичним штампом марки Infracore 130 kN із круглим жорстким штампом діаметром 300 мм, рисунок 1. За методикою згідно DIN 18134 виконувалося 6 ступенів навантаження і 3 ступені розвантаження при першому етапі і 5 ступенів навантаження при другому етапі, разом зафіксовано 11 значень повної і 3 значення залишкової деформації.

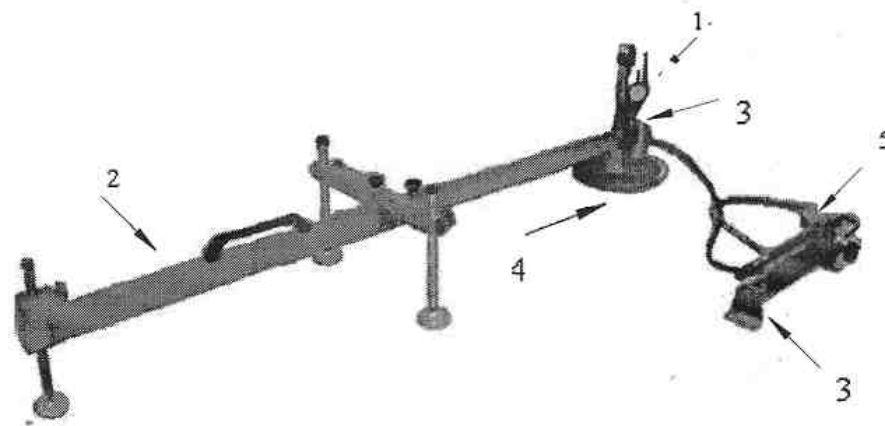


Рисунок 1 – Статичний штамп марки Infratest 130 kN
Figure 1 – Static stamp of the Infratest brand 130 kN

Навантаження на поверхню вимірювальної конструкції передавалась через круглий жорсткий штамп і домкрат, що впирався в раму навантаженого автомобіля. Навантаження на штамп вимірювалось за допомогою механічного динамометра. Вертикальне переміщення штампа фіксувалось прогиноміром важільного типу, вимірювальний стрижень якого був встановлений у центрі штампа. Вертикальне переміщення штампа вимірювалось індикатором годинникового типу. Індикатор надійно закріплювався на твердій реперній балці, опори якої були віддалені на відстань $4D$ від штампа і коліс автомобіля пригруза. Розрахункове переміщення прийняте рівним напівсумі відліків за цими індикаторами.

Навантаження при випробуванні прикладалось рівними до максимального розрахункового значення: $0,5$ МПа на поверхні основи, $0,5 - 1$ МПа.

Відліки на індикаторах знімалися після витримування заданого рівня навантаження, а також після паузи, що слідує за розвантаженням.

За різницею відліків визначено пружну деформацію конструкції. На основі цих даних наведені модулі первичного та вторинного навантаження в таблиці 1 та таблиці 2. Модуль деформації вимірювальної конструкції, дорівнює:

$$E_y = 0,25\pi p D(1 - \mu^2)/l \quad (1)$$

де p – максимальний (розрахунковий) тиск від штампу;

D – діаметр жорсткого штампу;

μ – коефіцієнт Пуассона (для ґрунтів земляного полотна $\mu = 0,35$, для матеріалів основ $\mu = 0,25$, а при обчисленні загального модуля пружності $\mu = 0,3$);

l – пружна деформація, що відповідає навантаженню E_y .

Серія експериментів включала випробування трьох типів традиційних (не підсилених) конструкцій дорожніх одягів (рисунок 2) та трьох типів конструкції посилені багатовісними георешітками Tensar TX 160 (рисунок 3). Характеристики ґрунту основи – суглинок легкий та важкий пилуватий, сірий та зеленувато-сірий, м'якопластичний, місцями з карбонатними включеннями, потужністю шару $1,3-2,4$ м. Основа конструкції мала вимірний модуль деформації E_{gr}

=5 мПа. В посиленій конструкції на ґрунт основи влаштовувалась георешітка Tensar TX 160 вироблена методом перфорації із цільного листа поліпропілена, стійка до ультрафіолету за рахунок додавання сажі не менше 2%; січний модуль пружності 390 кН/м. Залежно від типу конструкції товщина шару із щебеня фракції 20 – 40 мм змінювалась. поверх якої влаштовувався шар із гранітного щебеня, в залежності від типу конструкції товщина шару із щебеня змінювалась від 10 до 30 см. На досліджуваних конструкціях виконувалися статичні штампові випробування для визначення модуля деформації.

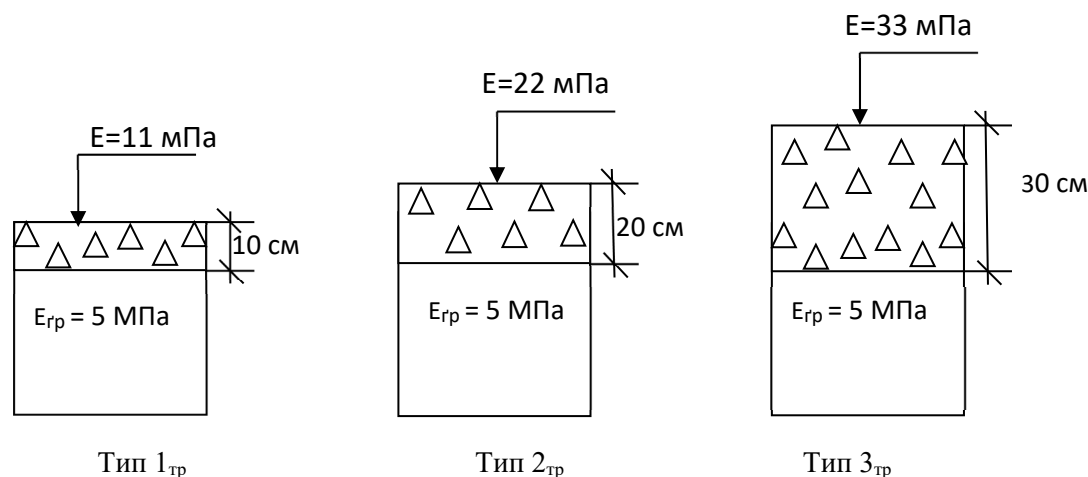


Рисунок 2 – Конструкції традиційних дорожніх одягів
Figure 2 – Designs of traditional road pavements

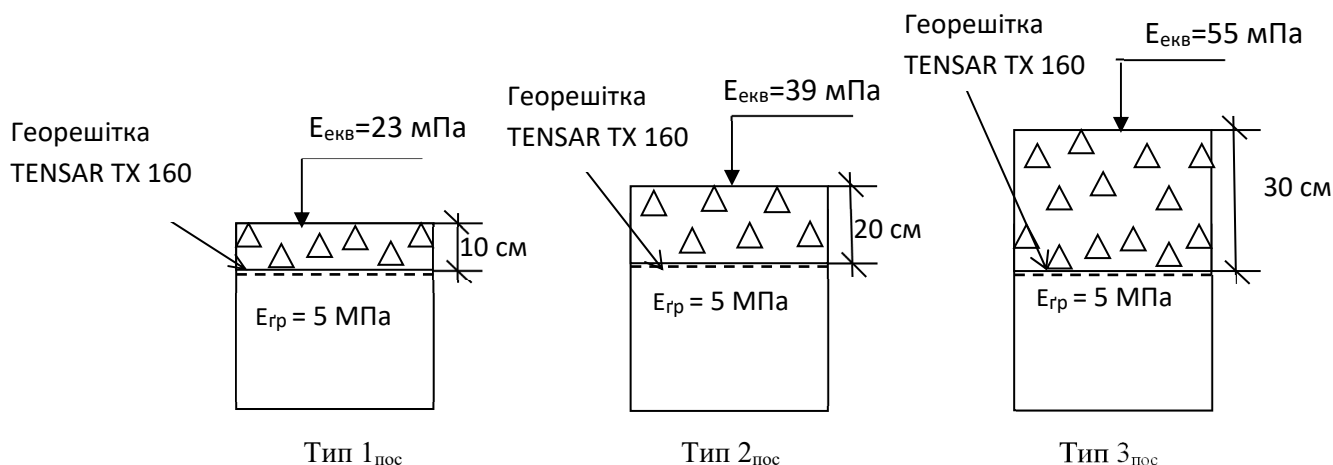


Рисунок 3 – Конструкції дорожніх одягів посилених георешіткою Tensar TX 160
Figure 3 – Structures of reinforced road clothing with Tensar TX 160 geogrid



Рисунок 4 – Улаштування георешітки Tensar та виконання статичних вимірювань
Figure 4 – Laying the Tensar geogrid and performing static measurements

Таблиця 1 – Результати вимірювання модуля деформації конструкції традиційних дорожніх одягів

Table 1 – Results of measuring deformation modulus the construction of traditional road

Випробування статичним навантаженням на штамп			
Серія випробувань	$E_{v1}, \text{МН/м}^2$	$E_{v2}, \text{МН/м}^2$	E_{v2}/ E_{v1}
Тип 1 _{тр}	5,1	10,8	2,11
Тип 2 _{тр}	7,6	21,9	2,88
Тип 3 _{тр}	11,2	33,4	2,97

Таблиця 2 – Результати вимірювання модуля деформації конструкції посиленого дорожнього одягу георешіткою Tensar TX 160

Table 2 – Results of measurement deformation modulus of the construction of reinforced road clothing with the Tensar TX 160 geogrid

Випробування статичним навантаженням на штамп			
Серія випробувань	$E_{v1}, \text{МН/м}^2$	$E_{v2}, \text{МН/м}^2$	E_{v2}/ E_{v1}
Тип 1 _{пос}	10,4	23,2	2,23
Тип 2 _{пос}	18,5	38,9	2,10
Тип 3 _{пос}	21,9	55,3	2,52

Аналіз проведених випробувань посилених конструкцій дорожніх одягів

Результати дослідів порівнювали за двома критеріями:

- за величиною, яка характеризує збільшення еквівалентного модуля деформації конструкції дорожнього одягу (K_n – коефіцієнт посилення).

$$K_n = \frac{E_{\text{екв.пос}}}{E_{\text{екв}}}, \quad (2)$$

де $E_{\text{екв.пос}}$ – модуль деформації посиленої конструкції дорожнього одягу;

$E_{\text{екв}}$ – модуль деформації традиційної (непосиленої) конструкції дорожнього одягу.

– за величиною відносної несної здатності конструкції дорожнього одягу (\bar{P})

$$\bar{P} = \frac{P_a}{P_0}, \quad (3)$$

де P_a – питомий тиск при якому зберігається лінійна залежність між тиском і осадкою (посилена конструкція дорожнього одягу);

P_0 – питомий тиск при якому зберігається лінійна залежність між тиском і осадкою (без посилення).

При посиленні конструкцій георешітками відбувається значне збільшення еквівалентного модуля деформації в порівнянні з традиційними непосиленими конструкціями. Причому явно виражена тенденція збільшення коефіцієнта посилення від «міцних» ґрунтів до більш «слабких».

У посиленій конструкції швидкість збільшення осідань значно знижується зі збільшенням тиску, що прикладається. Це свідчить про збільшення абсолютного значення визначеного еквівалентного модуля деформації зі збільшенням ступеня навантаження.

Розбирання конструкцій після випробувань показало, що включення в конструкцію дорожнього одягу георешіток призводить до значного збільшення чаші прогину на ґрунтовій основі (більше 2 діаметрів штамп), що свідчить про значний перерозподіл тисків на ґрунтову основу. Безпосередньо це можна інтерпретувати як поява нового шару, що має згинальну жорсткість. Цей шар утворюється при спільній роботі щебеню і георешітки, перешкоджає випору ґрунту і володіє новими, власними фізико-механічними характеристиками.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що включення в конструкцію дорожнього одягу георешіток збільшує кут розподілу тиску під штампом на ґрунтову основу. Так кут розподілу тиску для традиційної конструкції становить 38° , тоді як у конструкції з посиленням георешіткою TX 160 він складає 53° . Відповідно відбувається збільшення чаші прогину під штампом з $R = 36$ см (в традиційній конструкції) до $R = 52$ см (конструкція посилена георешіткою TX 160), тобто збільшується радіус чаші прогину більш, ніж в 1,4 рази.

Крім цього, під час проведення експерименту (в момент розвантаження), візуально спостерігалось моментальне відновлення деформацій посилених конструкцій, що підтверджувалось відліком прогинуміра. Проте на ґрунтовій основі спостерігалось накопичення залишкових деформацій. Це явище, вказує на те, що посилена георешіткою конструкція працювала в пружній стадії (за рахунок міцних властивостей георешітки, сил тертя і зчеплення щебеневого шару з георешіткою).

Висновок.

Згідно з результатами проведених серій експериментальних досліджень отримано наступні висновки:

1. Посилення конструкцій нежорстких дорожніх одягів, георешітками є досить ефективним при цьому досягається збільшення еквівалентного модуля деформації дорожнього одягу (в залежності від товщини шару інертного матеріалу та деформативних характеристик ґрунту основи) від 1,6 до 2,2 раз.
2. Ефективність посилення залежить від співвідношення деформативних характеристик дорожнього одягу і ґрунтів основи ($E_{гр}/E_{до}$) та відносної глибини закладення георешітки ($h_{до}/D$).
3. Оптимальна глибина закладення георешіток ($h_{до}/D$) залежить від співвідношення деформативних характеристик ($E_{гр}/E_{до}$). Причому більшому значенню співвідношення ($E_{гр}/E_{до}$) відповідає менше значення ($h_{до}/D$).
4. Ефективність роботи георешітки найбільше проявляється при великих деформаціях тобто ефект найбільший на більш «слабких» ґрунтах.
5. Ефект посилення залежить від міцності і деформативних характеристик георешіток.
6. Георешітки дозволяють розподілити тиск на ґрунтову основу на значну площу до двох діаметрів штамп. При цьому кут розподілу тиску збільшується в 1,5 рази.

Ці висновки демонструють значення отриманих результатів та їх вплив на проведення подальших досліджень.

Перелік посилань

1. ДСТУ 8888:2019 Георешітки полімерні жорсткі тривісноорієнтовані. Загальні технічні вимоги
2. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги
3. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування
4. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво
5. Георешітки Tensar TriAx® (TX) URL: <https://www.tensarcorp.com/solutions/geogrids/triax>
6. DIN 18134:2012 Soil - Testing procedures and testing equipment. Plate load test
7. Кушнір О.В., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Клімов Ю.М. Проектування конструкції дорожнього одягу для перевезення великогазових та великогабаритних вантажів дорогами України. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII(30), Issue: 244, 2020 Dec. С 53-58..
8. Батракова А.Г., Урдзик С.Н. Постановка задачі оцінки состояния нежесткой дорожной одежды. *Вісник ХНАДУ: зб. наук. пр.*, 2020. Вип. 90. С. 125-134. (категорія «Б» <https://openscience.in.ua/ab-journals>, Index Copernicus).
9. Dahou, a L., Savenko, V., Hadji, R. Mathematical approach to estimation of the stabilizing effect of geosynthetic floats for the stability of hands. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2020. Вип. 107. С. 23-33..

SUBSTANTIATION OF THE ROAD CONSTRUCTION UNBOUND MATERIALS CALCULATION MODEL WITH GEOGRIDS STABILIZATION

Olena Usychenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Road Construction and Property Management Department, National Transport University, fbk@ukr.net, tel. +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Pavlo Kharin, Uniprom LLC, Director of Design and Engineering, e-mail: kxarin@ukr.net, tel. +38 050 413 59 50, Ukraine, 03150, Kyiv, street Predslavynska 37, office 303, orcid.org/0000-0001-7858-0912

Anton Zarichniy, postgraduate student, Road Construction and Property Management Department of National Transport University, antohazarich@gmail.com, tel. +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138, orcid.org/0009-0004-5723-3443

Summary.

Based on the results of experimental studies conducted on different types of flexible pavement structures, the authors of the article examined the behavior of unbound material reinforced with geogrid. A series of static plate load tests were carried out, and the deformation modulus values of traditional and reinforced pavement structures were determined. The impact of the geogrid, installed at the base of the unbound layer of the pavement structure, on its deformation modulus was investigated. It was found that the use of geogrids significantly increases the equivalent deformation modulus of the pavement, depending on the thickness of the inert material layer and the deformation characteristics of the subgrade soil. The effectiveness of the reinforcement depends on the ratio of the deformation characteristics of the pavement and the subgrade soil, as well as the relative depth of the geogrid installation. The greatest effect is achieved on weak soils under large deformations. The results obtained are significant for further research and practical application of pavement reinforcement technology using geosynthetic materials.

Keywords: highway, pavement structure, biaxially oriented geogrid, geosynthetic reinforcement, plate load tests, deformation characteristics, loading, reinforcement coefficient, field experiment

References

1. DSTU 8888:2019 Rigid polymer geogrids triaxially oriented. General technical requirements [in Ukrainian].
2. GBN V.2.3-37641918-544:2014 Motor roads. Application of geosynthetic materials in road structures. Basic requirements[in Ukrainian].
3. GBN V.2.3-37641918-559:2019 Motor roads. Road clothes are not stiff. Designing [in Ukrainian].

4. DBN V.2.3-4:2015 Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction [in Ukrainian].
5. Geogrids Tensar TriAx® (TX)
URL: <https://www.tensarcorp.com/solutions/geogrids/triax>
6. DIN 18134:2012 Soil - Testing procedures and testing equipment Plate load test
7. Kushnir O.V., Gamelyak I.P., Raikovsky V.F., Klimov Yu.M. Designing the design of road clothing for the transportation of heavy and oversized cargo on the roads of Ukraine. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII(30), Issue: 244, 2020 Dec. С 53-58. [in Ukrainian]
8. Batrakova A.G., Urdzyk S.N. Setting the task of assessing the condition of non-rigid road clothing. *Bulletin of the Khnadu: coll. of science pr.*, 2020. Issue 90. P. 125-134. (category "B" <https://openscience.in.ua/ab-journals>, Index Copernicus). [in Ukrainian]
9. Dahou,a L., Savenko, V., Hadji, R. Mathematical approach to estimation of the stabilizing effect of geosynthetic floats for the stability of hands. *Roads and road construction*. 2020. Issue 107. P. 23-33.