

**ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕОРЕШІТОК ДЛЯ ЧИСЛОВОГО
МОДЕЛЮВАННЯ В PLAXIS 2D**

**DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF GEOGRIDS FOR NUMERICAL
MODELLING IN PLAXIS 2D**



Савенко В'ячеслав Якович, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету, e-mail: svi1310@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>.



Усиченко Олена Юрївна, кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача 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>



Плитус Ростислав Михайлович, доктор філософії, інженер за напрямом проектування та інжинірингу, ТОВ «Уніпром», Київ, Україна, e-mail: rostmuh@gmail.com, тел. +380683023326

<https://orcid.org/0000-0001-7319-4094>



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>

Анотація: У статті представлено дослідження числового моделювання полімерних жорстких георіток у програмному комплексі Plaxis 2D з метою оцінки їх впливу на стійкість і деформаційні характеристики армованих ґрунтових конструкцій. Розглянуто методику визначення ключових параметрів георіток, таких як короткострокова і довгострокова міцність, осьова жорсткість та деформаційні властивості під дією очікуваних навантажень. Проведено аналіз впливу температурних

режимів, терміну служби матеріалу та умов експлуатації на міцність і деформаційну поведінку геораток серії Tensar RE.

Особлива увага приділена налаштуванню контактних зон між геораткою та ґрунтом, що дозволяє врахувати тертя та зчеплення і забезпечує реалістичне відтворення механіки взаємодії матеріалів у армованих ґрунтах. Використання як еластичних, так і еластопластичних моделей дає змогу більш точно оцінити поведінку армованих ґрунтових систем під різними типами навантажень. Проведений аналіз дозволяє прогнозувати розподіл напружень і переміщень у конструкції, оцінювати ефективність армування та визначати критичні ділянки для інженерного проектування.

Результати дослідження демонструють, що числове моделювання в Plaxis 2D є потужним інструментом для оптимізації проектування інженерних споруд із армованих ґрунтів, забезпечення їх довговічності та мінімізації ризику деформацій. Використання розробленої методики дозволяє інженерам приймати обґрунтовані рішення при виборі геораток, налаштуванні параметрів конструкцій та прогнозуванні поведінки системи «ґрунт–георатка» в реальних експлуатаційних умовах.

Ключові слова: георатка, армований ґрунт, числове моделювання, Plaxis 2D, короткострокова міцність, довгострокова міцність, контактна зона георатка-ґрунт, еластичні та еластопластичні моделі, армоґрунтові підпирні стінки, земляне полотно автомобільних доріг

Вступ. У сучасних геотехнічних дослідженнях особливу увагу приділяють застосуванню геосинтетичних матеріалів, серед яких ключову роль для підвищення стійкості та довговічності ґрунтових конструкцій відіграють георатки. Георатки широко застосовують у дорожньому будівництві для армування ґрунтів у насипах, в армоґрунтових підпирних стінках та інших інженерних спорудах з метою зменшення деформацій та зміцнення основи в умовах залягання слабких ґрунтів. Ефективність використання таких матеріалів значною мірою залежить від правильно підібраних фізико-механічних характеристик. Такі матеріали забезпечують оптимальну взаємодію з ґрунтом та запобігають надмірним осіданням і зсувам.

Розв’язання інженерних задач у геотехніці передбачає поєднання експериментальних методів із числовим моделюванням поведінки армоґрунтових систем. В такому контексті програмний комплекс Plaxis 2D є ефективним інструментом для більш точного моделювання таких конструкцій. Застосування цього інструменту дозволяє задавати ключові параметри геораток, а саме відносне видовження при розтягу, міцність на розрив, модуль пружності та враховувати їх взаємодію з ґрунтом за рахунок встановлення параметрів контактної зони. Це дозволяє змоделювати взаємодію шляхом тертя та адгезії на межі «ґрунт–георатка». Такий підхід забезпечує більш реалістичне відображення поведінки конструкцій під статичними та динамічними навантаженнями (зовнішні навантаження від рухомого складу та від власної ваги ґрунтової конструкції).

Метою проведеного дослідження є визначення розрахункових параметрів та деформаційних характеристик геораток для адекватного моделювання в Plaxis 2D, а також обґрунтування оптимальних параметрів їх застосування з урахуванням реальних інженерних умов. Отримані результати сприятимуть підвищенню точності числового моделювання, зменшенню ризиків деформацій та руйнувань конструкцій та забезпеченню їх надійності протягом усього терміну служби.

Виклад основного матеріалу. Моделювання геораток у програмному комплексі Plaxis 2D є важливою складовою аналізу армоґрунтових конструкцій. Георатки широко застосовуються для підсилення ґрунтів, підвищення їх стійкості, зменшення деформацій та забезпечення більш рівномірного розподілу навантажень у ґрунтовому масиві. Використання геораток дозволяє ефективно підвищити несну здатність основ і зменшити ризик розвитку надмірних осідань та зсувних деформацій, особливо в умовах слабких або неоднорідних ґрунтів.

Аналіз наукових досліджень, зокрема робіт [1] та [2], свідчить про те, що під час моделювання геораток у Plaxis 2D часто використовуються стандартні характеристики міцності матеріалу без урахування його еластопластичної або пластичної поведінки. Такий підхід не завжди дозволяє

адекватно відобразити реальну роботу армогрунтових систем, що є суттєвим аспектом з точки зору об'єктивності та правильності інженерних розрахунків, особливо при аналізі довготривалої експлуатації конструкцій.

Процес числового моделювання геораток у Plaxis 2D зазвичай включає такі основні етапи: вибір типу елемента армування, введення фізико-механічних властивостей матеріалу, налаштування контактної зони між ґрунтом і геораткою, позиціонування армувальних елементів у розрахунковій схемі, задання навантажень і граничних умов, а також аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

Моделювання георатки в програмному комплексі Plaxis 2D починається з вибору відповідного типу матеріалу та визначення його фізико-механічних характеристик. Насамперед визначаються основні параметри георатки, зокрема відносне видовження при розтягу, міцність на розрив і січний модуль пружності. Саме ці параметри є визначальними для коректного відтворення взаємодії між геораткою та ґрунтом, оскільки від них залежить напружено-деформований стан армованої конструкції та її загальна стійкість.

На наступному етапі задаються граничні умови та навантаження, які повинні відповідати реальним умовам експлуатації інженерного об'єкта. Для підпірних стінок і дорожніх насипів, зокрема, необхідно враховувати як динамічні навантаження, зумовлені рухом транспорту, так і статичні навантаження від власної ваги споруди. Коректне визначення граничних умов забезпечує отримання результатів числового моделювання, що є максимально наближеними до реальної роботи конструкції.

У процесі моделювання також необхідно враховувати фізико-механічні характеристики ґрунту, з яким взаємодіє георатка. До таких параметрів належать щільність ґрунту, кут внутрішнього тертя, коефіцієнт тертя та зчеплення. Урахування цих характеристик дозволяє адекватно змодельовати армогрунтову систему, в якій георатка виконує роль елемента підсилення, сприяючи рівномірному перерозподілу навантажень і зменшенню вертикальних та горизонтальних переміщень.

Ключовим етапом числового моделювання є налаштування контактної зони між ґрунтом і геораткою. У Plaxis 2D контактна зона реалізується за допомогою спеціальних контактних елементів, які дозволяють моделювати тертя та адгезію на межі «георатка–ґрунт». Урахування контактної взаємодії є особливо важливим у випадках можливого ковзання або відносних зміщень між матеріалами, оскільки ці процеси можуть суттєво впливати на загальну стійкість армованої конструкції.

Наступним кроком є проведення числового аналізу моделі. У ході розрахунків визначаються осідання, напружено-деформований стан конструкції, а також оцінюється загальна стійкість системи «ґрунт–георатка». Порівняння результатів, отриманих із застосуванням еластичних та еластопластичних моделей, дозволяє більш повно оцінити поведінку армогрунтової конструкції під різними видами навантажень.

Особливу увагу в даному дослідженні приділено аналізу короткострокової та довгострокової міцності геораток. Георатки Tensar RE досліджувалися з урахуванням впливу температурних умов і тривалості навантаження. Зокрема, проаналізовано вплив 120-річного розрахункового терміну служби матеріалу на його міцнісні та деформаційні характеристики. Згідно з результатами досліджень [3], температурні режими суттєво впливають на пружні властивості полімерних матеріалів, що безпосередньо відображається на стійкості армогрунтових конструкцій.

На початковому етапі моделювання георатки в Plaxis 2D як правило задаються у вигляді геотекстильних або армувальних лінійних елементів із відповідними механічними властивостями, основною з яких є жорсткість на розтяг. Такий підхід до моделювання взаємодії між армованим ґрунтом і георатками наведено в [5]. Значення розрахункових параметрів залежать від температури експлуатації, умов взаємодії з ґрунтом та розрахункового терміну служби георатки.

У подальшому всі розрахункові дані приймаються для регіону з температурним режимом 20 °C та розрахунковим терміном служби георатки 120 років, що відповідає типовому строку експлуатації поліпропіленових геосинтетичних матеріалів.

У даній роботі розглядається визначення розрахункових міцнісних характеристик геораток Tensar RE, які можуть бути використані для числового моделювання в програмному комплексі

Plaxis 2D. Вихідні механічні характеристики геораток наведено в таблиці 1. Однак для коректного числового аналізу необхідно перейти від номінальних значень міцності до розрахункової довготривалої міцності, що враховує вплив часу навантаження та температурних умов експлуатації.

Розрахункова міцність георатки визначається на основі оцінки її повзучості з використанням логарифмічної залежності між часом дії навантаження та допустимим рівнем напружень. Для цього спочатку визначається параметр x , який характеризує тривалість навантаження з урахуванням коефіцієнта зсуву за температурою:

$$x = \lg(120 \cdot 365 \cdot 24 \cdot P_{sf}), \quad (1)$$

де $120 \cdot 365 \cdot 24$ — розрахунковий термін служби георатки в годинах (120 років);

P_{sf} — коефіцієнт зсуву, що враховує вплив температури експлуатації матеріалу.

Наступним етапом є визначення нижньої межі міцності на розрив при повзучості, яка описується емпіричною регресійною залежністю другого порядку

$$y = Ax^2 + Bx + C \quad (2)$$

де $x = \lg(t)$ — логарифм часу дії навантаження;

$y = \lg(\sigma)$ — логарифм допустимого нормального навантаження (міцності при розтягненні);

A, B, C — коефіцієнти регресії, отримані за результатами експериментальних випробувань геораток виробника.

Отримане значення у використується для визначення допустимої довготривалої міцності георатки, яка надалі застосовується як розрахунковий параметр при моделюванні армованих ґрунтових конструкцій у Plaxis 2D.

Таблиця 1 – Характеристики полімерних жорстких одновісноорієнтованих георешіток лінійки Tensar RE

Table 1 – Properties of polymer rigid uniaxially oriented geogrids of the Tensar RE series

Лінійка георешіток	P_c	RF_{CR}	f_s	RF_{ID}	RF_W	RF_{CH}	N_p	Q_C	P_{des}
RE510	19,01	2,104	1,00	1,01	1,00	1,00	18,83	40,00	39,60
RE520	25,10	2,104	1,00	1,00	1,00	1,00	25,10	52,80	52,80
RE540	30,66	2,104	1,00	1,00	1,00	1,00	30,66	64,50	64,50
RE560	42,16	2,104	1,00	1,00	1,00	1,00	42,16	88,70	88,70
RE570	56,28	2,104	1,00	1,00	1,00	1,00	56,28	118,40	118,40
RE580	65,27	2,104	1,00	1,00	1,00	1,00	65,27	137,30	137,30

Значення P_c це міцність георатки заалежно від нижньої межі міцності на розрив, визначається за формулою:

Короткострокова міцність георатки, приведена з урахуванням повзучості, визначається за формулою:

$$P_c = Q_c \cdot 10^y \quad (3)$$

де Q_c — номінальна короткострокова міцність георатки;

y — логарифмічне значення нижньої межі міцності на розрив при повзучості.

Для врахування впливу умов експлуатації та запасу надійності вводяться відповідні коефіцієнти редукації та безпеки [9]:

RF_{CR} — коефіцієнт редукції, що враховує відношення короткострокової міцності геогратки до її довготривалої міцності з урахуванням повзучості;

F_s — коефіцієнт запасу стійкості;

RF_{ID} — коефіцієнт, що враховує механічні пошкодження геогратки під час монтажу;

RF_W — коефіцієнт впливу ультрафіолетового випромінювання;

RF_{CH} — коефіцієнт хімічного впливу та впливу зовнішнього середовища.

Розрахункова довготривала міцність геогратки з урахуванням усіх коефіцієнтів (нижньої межі міцності на розрив та експлуатаційних факторів) визначається за формулою:

$$N_p = P_c \cdot F_s \cdot RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH}. \quad (4)$$

Розрахункове значення короткострокової міцності геогратки, приведене з урахуванням коефіцієнтів запасу та умов експлуатації, визначається як:

$$P_{des} = Q_c \cdot F_s \cdot RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH}, \quad (5)$$

де P_{des} — розрахункова короткострокова міцність геогратки.

Короткострокова та довгострокова міцність геогратки є двома ключовими показниками, що характеризують поведінку матеріалу під різними типами навантажень і в різних умовах експлуатації. Урахування обох характеристик є необхідним для коректного прогнозування роботи армогрунтових конструкцій протягом усього терміну їх служби.

Короткострокова міцність відображає здатність геогратки сприймати значні навантаження протягом обмеженого проміжку часу. Цей параметр має особливе значення на етапі будівництва, коли конструкція зазнає інтенсивних впливів, пов'язаних із монтажем, ущільненням ґрунту та прикладанням початкових навантажень. До короткострокових впливів також належать тимчасові навантаження від будівельної техніки та транспортних засобів.

Довгострокова міцність характеризує поведінку геогратки за умов тривалого впливу постійних навантажень, таких як власна вага насипу, конструкції або споруди. У довгостроковій перспективі визначальним чинником є повзучість полімерного матеріалу, тобто його поступове деформування під дією сталого навантаження. Окрім цього, на довгострокову міцність істотно впливають температурний режим експлуатації та хімічні властивості навколишнього середовища.

Під час числового моделювання в програмному комплексі Plaxis 2D урахування як короткострокової, так і довгострокової міцності дозволяє оцінити поведінку геогратки на всіх етапах експлуатації конструкції. Використання лише короткострокових характеристик може призвести до недооцінки ефектів повзучості та, як наслідок, до прогнозування занижених деформацій у майбутньому. Довгострокова міцність є критично важливою для оцінки стабільності конструкцій з тривалим терміном служби, зокрема насипів і підпірних стінок. Комплексний підхід до врахування обох типів міцності дозволяє підвищити надійність і довговічність інженерних рішень та мінімізувати ризик розвитку надмірних деформацій або руйнувань з часом.

Визначення зазначених характеристик є необхідним для приведення базових параметрів геогратки, що використовуються при числовому моделюванні, зокрема:

- ЕА (осьова жорсткість) — параметр, що визначає здатність геогратки сприймати розтягувальні зусилля;
- модуль пружності, який застосовується для опису деформаційних властивостей матеріалу;
- адгезія та тертя між геограткою і ґрунтом, що враховуються через параметри контактної зони.

Для визначення осьової жорсткості ЕА необхідно враховувати, що вона має як короткострокові, так і довгострокові значення [4], які залежать від температурного режиму експлуатації геогратки.

Детальний розрахунок виконано на прикладі геогратки марки Tensar RE580. Для визначення значень EA прийнято тривалість короткострокових випробувань $t_{short} = 730$ год, а довгострокових — $t_{long} = 1\,051\,920$ год, відповідно до [6].

Температурний режим прийнято рівним $20\text{ }^\circ\text{C}$. Номінальна короткострокова міцність геогратки становить $Q_c = 137,30$ кН/м (таблиця 1).

Фактичний рівень робочого навантаження для визначення деформаційних характеристик прийнято на рівні 15 % від короткострокової міцності геогратки:

$$AC_{lv} = Q_c \cdot \frac{15}{100}, \quad (6)$$

На основі цього навантаження визначаються короткострокове та довгострокове значення осьової жорсткості геогратки залежно від відповідного видовження. Вихідними даними для геогратки RE580 є: температура випробувань — $20\text{ }^\circ\text{C}$, максимальна крупність частинок заповнювача — 6 мм, ступінь покриття геограткою — 100 %, розрахунковий термін служби — 120 років, тривалість короткострокових випробувань — 730 год, а також нормоване навантаження — 15 %.

Короткострокова та довгострокова осьова жорсткість визначається за залежністю:

$$EA_{short/long} = Q_c \cdot \frac{15}{100} \cdot \frac{1}{STR}, \quad (7)$$

де STR — видовження геогратки, яке визначається за формулою:

$$STR = A_{par} \cdot \ln(t_{short/long}) + B_{par}, \quad (8)$$

де $A_{par} = 0,12393$ — коефіцієнт, що враховує вплив рівня навантаження;

$B_{par} = 1,3023888$ — емпіричний коефіцієнт;

$t_{short/long}$ — тривалість випробування, год.

Наведені коефіцієнти видовження є емпіричними та отримані шляхом статистичної обробки результатів довготривалих випробувань полімерних геограток Tensar RE за температури $20\text{ }^\circ\text{C}$ відповідно до вимог стандарту ISO 13431. Застосована регресійна модель забезпечує безперервний опис деформаційної поведінки геогратки як у короткостроковому, так і в довгостроковому режимах навантаження, що дозволяє коректно визначати осьову жорсткість матеріалу з урахуванням фізичної природи повзучості полімерних геосинтетиків.

Нормоване навантаження на рівні 15 % від короткострокової міцності Q_c є загальноприйнятим у міжнародній практиці випробувань геосинтетичних матеріалів на повзучість (ISO 13431:1999). Такий рівень напружень відповідає типовим умовам роботи армованих ґрунтових конструкцій і водночас забезпечує отримання репрезентативних деформаційних характеристик без передчасного руйнування зразка. Значення 10–30 % від Q_c вважається стандартним діапазоном для аналізу довгострокової поведінки полімерних матеріалів, а вибір 15 % дозволяє найбільш коректно описати експлуатаційні умови насипів і підпірних стінок.

Для виконання числових розрахунків у режимах Elastic та Elastoplastic як вихідні міцнісні характеристики геогратки використовуються значення осьової жорсткості, визначені за залежністю (7). За результатами розрахунку отримано такі значення: $EA_{short} = 972$ кН/м — для короткострокового режиму; $EA_{long} = 682$ кН/м — для довгострокового режиму експлуатації.

Для визначення параметрів геогратки в еластопластичній моделі типу N-ε (Elastoplastic) необхідно змоделювати її поведінку за умов змінної частки очікуваного навантаження. З цієї метою використовується формула (6), яка дозволяє визначати рівень прикладеного навантаження як частку від короткострокової міцності геогратки. Такий підхід забезпечує можливість побудови нелінійної діаграми деформування матеріалу та коректного опису його пластичної поведінки.

На основі виконаних розрахунків сформовано зведену таблицю вихідних параметрів для моделювання характеристик EA та N_p георатки в програмному комплексі Plaxis 2D у режимі Elastoplastic (N- ϵ).

Таблиця 2 – Значення параметрів для числового моделювання георатки в еластопластичній моделі (N- ϵ)

Table 2 – Input parameters for numerical modelling of geogrid behaviour using the elastoplastic (N- ϵ) model

Навантаження (%)	Видовження (-)	N (kN/m)	EA ₁ (kN/m)
0	0,000000	0,000	0,00
0,5	0,000675	0,687	1017,8
1	0,001375	1,373	998,4
2	0,002854	2,746	962,3
5	0,007880	6,865	871,2
10	0,018064	13,730	760,1
20	0,043968	27,460	624,5
40	0,108287	54,920	507,2

Аналогічний підхід до визначення розрахункових параметрів застосовано для решти геораток лінійки Tensar RE510–RE570. Для виконання числових розрахунків у режимах Elastic та Elastoplastic як вихідні міцнісні характеристики використовуються значення осьової жорсткості, визначені за залежністю (7). Зазначена формула застосовується для визначення відповідних характеристик усієї лінійки геораток серії RE.

На основі отриманих результатів сформовано зведену таблицю розрахункових параметрів, що використовуються для числового моделювання геораток серії RE у програмному комплексі Plaxis 2D.

Таблиця 3 – Характеристики геораток серії RE, прийняті для числового розрахунку в програмному комплексі Plaxis 2D

Table 3 – Properties of Tensar RE geogrids adopted for numerical analysis in PLAXIS 2D

Лінійка геораток	EA _{short}	EA _{long}	N _{p,1}
RE510	283,1	198,6	18,83
RE520	373,7	262,2	25,10
RE540	456,5	320,3	30,66
RE560	627,8	440,4	42,16
RE570	837,9	587,9	56,28
RE580	971,7	681,8	65,27

Наступним етапом моделювання є налаштування контактних зон між геораткою та ґрунтом, що є критично важливим для точного відтворення взаємодії матеріалів у армованих конструкціях.

Контактні зони дозволяють моделювати реальний контакт між геораткою і ґрунтом з урахуванням таких фізичних параметрів, як коефіцієнт тертя та адгезія. Вони визначають, наскільки матеріали можуть ковзати відносно один одного або, навпаки, утримуватися на місці завдяки зчепленню. Це забезпечує більш реалістичне відтворення механізму передачі навантаження від ґрунту до георатки і навпаки.

Налаштування контактних зон включає визначення таких параметрів як коефіцієнт тертя, що характеризує опір ковзанню між геораткою та ґрунтом; коефіцієнт зчеплення, який визначає силу, що протидіє початковому зриву контакту; можливість обмеженого або повного зсуву, що дозволяє моделювати локальні переміщення та деформації.

Використання контактних зон є особливо важливим у випадках, коли армовані конструкції піддаються динамічним або нерівномірним навантаженням, а саме:

- дорожні насипи, що експлуатуються під рухом транспорту;
- підпірні стінки, які зазнають нерівномірного тиску ґрунту та сезонних коливань вологи;
- споруди на слабких ґрунтах, де локальні зсуви можуть впливати на загальну стійкість системи.

Правильне визначення контактних зон дозволяє інженерам оцінювати вплив різних сценаріїв навантаження на конструкцію, проводити чутливісний аналіз та прогнозувати поведінку армованих ґрунтів у коротко- та довгостроковій перспективі. Крім того, це дає змогу виявляти потенційні проблемні ділянки, де можливе виникнення локальних деформацій або втрати стійкості.

Таким чином, застосування контактних зон у Plaxis 2D підвищує точність числового моделювання, дозволяє враховувати складні механізми взаємодії ґрунту і георатки та забезпечує основу для обґрунтованого проєктного рішення, що гарантує надійність і довговічність армованих конструкцій.

Висновки

Використання геораток є ефективним засобом підвищення стабільності ґрунтових конструкцій, зокрема дорожніх насипів, підпірних стінок та слабких основ. Георатки забезпечують більш рівномірний розподіл навантажень, зменшують деформації та підвищують загальну стійкість системи «ґрунт–георатка».

Моделювання полімерної жорсткої георатки в програмному комплексі Plaxis 2D дозволяє більш точно оцінити її вплив на стійкість і деформаційні характеристики ґрунтових конструкцій. Застосування контактних зон для врахування взаємодії між ґрунтом і геораткою є ключовим для реалістичного моделювання армованих систем, оскільки це дає змогу адекватно відтворити тертя та адгезію між матеріалами. Правильне налаштування цих параметрів дозволяє відобразити реальну поведінку георатки у складних інженерних умовах. Числове моделювання в Plaxis 2D дозволяє враховувати фізико-механічні характеристики матеріалу, граничні умови, параметри контактних зон і властивості ґрунту, що забезпечує реалістичну оцінку поведінки конструкцій у різних умовах експлуатації.

Для адекватного моделювання важливо враховувати як короткострокову, так і довгострокову міцність геораток: перша відображає здатність матеріалу витримувати інтенсивні тимчасові навантаження, а друга дозволяє оцінити вплив повзучості, тривалого постійного навантаження, температури та хімічного середовища. Аналіз геораток серії Tensar RE показав, що їх ефективність значною мірою залежить від таких параметрів, як короткострокова та довгострокова міцність, осьова жорсткість та температурні умови експлуатації. Врахування температурних режимів та терміну служби дозволяє робити обґрунтовані прогнози щодо довговічності конструкцій. Визначення осьової жорсткості EA на основі вихідної міцності та допустимого навантаження дає змогу коректно моделювати поведінку геораток у коротко- та довгостроковій перспективі. Застосування регресійних моделей та емпіричних коефіцієнтів видовження забезпечує узгодженість числової моделі з фізичною природою повзучості полімерних матеріалів.

Моделювання контактних зон між геораткою та ґрунтом дозволяє враховувати тертя та адгезію, обмежувати або допустити зсув, що істотно впливає на стійкість конструкцій. Використання як еластичних, так і еластопластичних моделей дає змогу повніше оцінити поведінку армованих ґрунтів під навантаженням, що сприяє прийняттю більш зважених інженерних рішень.

Отримані розрахункові параметри для лінійки геораток Tensar RE можуть бути використані для оптимізації проєктування армованих ґрунтових конструкцій, що дозволяє інженерам приймати обґрунтовані рішення, мінімізувати ризики деформацій і забезпечити довговічність споруд.

Перелік посилань

1. 2D Modelling of Geosynthetically Reinforced Piled Embankments: Calibration Methods in PLAXIS 2D & Review of Analytical Guidelines, TRITA-ABE-MBT 2120, 2021, p. 118.
2. Evaluation of the Efficiency of the Standardized Norrland Method, Validerat 20160225, 2016, p. 124.
3. Geogrids in cold climate: Temperature controlled tensile tests & Half-scale installation tests at different temperatures, Trafikverket, 2017, p. 115.
4. ISO 10318-1:2015 — Geosynthetics. Part 1: Terms and definitions.
5. ISO 25619-1:2008 — Geosynthetics. Determination of tensile properties. Part 1: Single tensile test.
6. ISO 13431:1999 — Geotextiles and geotextile-related products. Determination of tensile creep and creep rupture behaviour.
7. EN 13251:2016 — Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in earthworks, foundations and retaining structures.
8. EN 14475:2006 — Execution of special geotechnical works. Reinforced fill.
9. Analysis of Strength Parameters of Polymer Geogrids in Reinforced Soil Structures of Roads and Highways, UDC 625.7/.8, DOI: 10.33744/2308-6645-2022-3-53-370-377.

DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF GEOGRIDS FOR NUMERICAL MODELLING IN PLAXIS 2D

Savenko Vyacheslav Ya, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Construction and Property Management at the National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: svi1310@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>.

Usychenko Olena Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: fbk@ukr.net, tel. +380442803942, <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>

Plytus Rostyslav M., Doctor of Philosophy, Engineer in Design and Engineering, Uniprom LLC, Kyiv, Ukraine, e-mail: rostmuh@gmail.com, tel. +380683023326, <https://orcid.org/0000-0001-7319-4094>

Kharin Pavlo L. Director of Design and Engineering, Uniprom LLC, Kyiv, Ukraine, e-mail: kxarin@ukr.net, tel. +380504135950, <https://orcid.org/0000-0001-7858-0912>

Summary. The article presents a study on the numerical modeling of polymer rigid geogrids in the Plaxis 2D software package, aimed at evaluating their influence on the stability and deformation characteristics of reinforced soil structures. The methodology for determining the key parameters of geogrids, such as short-term and long-term strength, axial stiffness, and deformation properties under expected loads, is considered. The study analyzes the effects of temperature conditions, material service life, and operating conditions on the strength and deformation behavior of Tensar RE geogrids.

Particular attention is given to the configuration of contact zones between the geogrid and soil, which allows accounting for friction and adhesion, ensuring a realistic representation of the interaction mechanics between materials in reinforced soils. The use of both elastic and elastoplastic models enables a more accurate assessment of the behavior of reinforced soil systems under various types of loads. The conducted analysis allows predicting stress and displacement distributions within the structure, evaluating reinforcement effectiveness, and identifying critical areas for engineering design.

The results demonstrate that numerical modeling in Plaxis 2D is a powerful tool for optimizing the design of engineered structures with reinforced soils, ensuring their durability and minimizing the risk of deformations. The developed methodology allows engineers to make informed decisions when selecting geogrids, configuring structural parameters, and predicting the behavior of the soil–geogrid system under real operating conditions.

Keywords: geogrid, reinforced soil, numerical modeling, Plaxis 2D, short-term strength, long-term strength, geogrid–soil contact zone, elastic and elastoplastic models, reinforced soil retaining walls, road embankments

References

1. 2D Modelling of Geosynthetically Reinforced Piled Embankments: Calibration Methods in PLAXIS 2D & Review of Analytical Guidelines, TRITA-ABE-MBT 2120, 2021, p. 118.
2. Evaluation of the Efficiency of the Standardized Norrland Method, Validerat 20160225, 2016, p. 124.
3. Geogrids in cold climate: Temperature controlled tensile tests & Half-scale installation tests at different temperatures, Trafikverket, 2017, p. 115.
4. ISO 10318-1:2015 — Geosynthetics. Part 1: Terms and definitions.
5. ISO 25619-1:2008 — Geosynthetics. Determination of tensile properties. Part 1: Single tensile test.
6. ISO 13431:1999 — Geotextiles and geotextile-related products. Determination of tensile creep and creep rupture behaviour.
7. EN 13251:2016 — Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in earthworks, foundations and retaining structures.
8. EN 14475:2006 — Execution of special geotechnical works. Reinforced fill.
9. Analysis of Strength Parameters of Polymer Geogrids in Reinforced Soil Structures of Roads and Highways, UDC 625.7/.8, DOI: 10.33744/2308-6645-2022-3-53-370-377.

Дата надходження до редакції 26.01.2026.

Дата прийняття статті після рецензування 17.02.2026.