

УДК 624.138.29

Н.В. ЗУЄВСЬКА (д-р техн. наук, проф.)**С.О. ЛОЗОВИЙ (аспірант)**

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ ПРОСАДНОГО ЛЕСОВОГО ГРУНТУ
МЕТОДОМ ВИБУХОВОГО АРМУВАННЯ У ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ
PLAXIS DYNAMICS**

Розглядається можливість підвищення несучої здатності лесового ґрунтового масиву за допомогою впровадження в нього жорсткого заповнювача енергією вибуху системи подовжених зарядів. Виконується порівняння широко застосованих еталонних ВР та нових сумішевих ВР.

Ключові слова: підвищення несучої здатності, армування щебнем, енергія вибуху, plaxis, імітаційне моделювання.

Вступ. Понад 70% території України складають лесові ґрунти різного ступеня просадності. Здатність цих ґрунтів до раптового просідання під дією зволоження в поєднанні з побутовим тиском та зовнішнім навантаженням потребує суттєвих попереджувальних заходів та відповідних витрат з метою підготовки лесових масивів до експлуатації. Ці заходи переважно основані на штучному зволоженні масиву з наступним його механічним ущільненням шляхом трамбування чи вибуху системи внутрішніх або зовнішніх зарядів.

В роботі розглядається вибух циліндричного заряду ВР в свердловині, заповненій щебнем, в ґрунтовому масиві, який належить стабілізувати ущільненням.

Метою роботи є дослідження ефективності підвищення несучої здатності лесового ґрунтового масиву вибухом ВР в системі свердловин, заповнених щебнем, при використанні різних типів ВР.

Викладення основного матеріалу та результати досліджень. Розв'язання поставленої задачі проводилося за допомогою програмного забезпечення PLAXIS 2D DYNAMICS, що призначене для виконання точних і високоякісних геотехнічних розрахунків, які базуються на кінцево-елементному методі та дозволяють моделювати динамічні процеси в ґрунтах.

Постановка задачі про ущільнення ґрунту щебнем за допомогою вибуху циліндричного заряду ВР здійснювалась згідно наступної схеми. По осі свердловини розташовується циліндричний заряд, після чого свердловина заповнюється щебнем. При вибуху заряду продукти детонації (ПД) розширюються, переносячи частки щебеню, прискорюючи і прогріваючи їх до високої температури. Після того, як продукти вибуху досягають межі з ґрунтом, виникає відбійна ударна хвиля, яка приводить до гальмування частинок щебеню (рис.1). Зверху свердловини встановлюється Інвентарна плита, яка запобігає зпучуванню ґрунту на поверхні масиву.

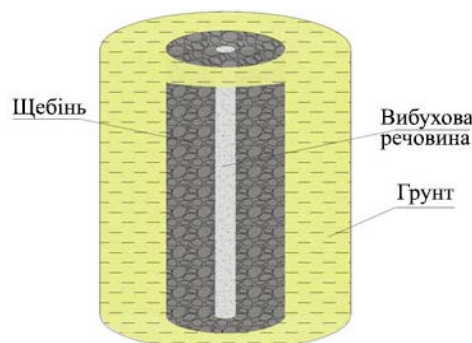


Рис. 1. Комбінована схема розташування циліндричного заряду

Версія програми, що застосовується для імітаційного моделювання вибуху та ущільнення ґрунту – PLAXIS v.8.5 DYNAMICS, двовимірний(2D).

Фізико-механічні показники замоченого лесового ґрунту, щебеню та інвентарної плити наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні показники матеріалів

№	Матеріал	Модель	γ_{unsat} , кН/м ³	γ_{sat} , кН/м ³	k_x	k_y	ν	E_{50}^{ref} , кН/м ²	E_{oed}^{ref} , кН/м ²	E_{ur}^{ref} , кН/м ²	C , кН/м ²	φ , °
1	Лесовий ґрунт	HS	15,5	18,6	0,1	0,3	0,31	5400	5400	30000	19	23
2	Щебінь фракції 20-40 мм	Кулона-Мора	19,8	27	50	50	0,29	2E+5	-	-	1	25
3	Плита	LinearElastic	25	25	0	0	0,18	3E+10	-	-	-	-

Для вирішення поставленої задачі була використана модель твердіючого (ущільненого) ґрунту (Hardening Soil Model). Це гіперболічна модель пружно-пластичного типу, яка формується в рамках пластичності з твердінням при зсуві. Крім того, ця модель враховує також тверднення при стисненні, щоб змодельовати необоротне ущільнення ґрунту при першому навантаженні стискуванням. Це модель другого порядку, яка дозволяє моделювати поведінку пісків, гравійно-піщаних сумішей, а також більш м'яких ґрунтів, наприклад, глини і суглинків.

Hardening Soil Model (HS) є поліпшеною моделлю для дослідження поведінки ґрунту. Як і для моделі Кулона-Мора, граничний стан тиску описаний за допомогою кута внутрішнього тертя ϕ , зчеплення c і кута дилатансії ψ . Однак в моделі жорсткість ґрунту описано більш точно, з використанням трьох різних складових жорсткості: жорсткості трьохосового навантаження E_{50} , жорсткості трьохосового розвантаження E_{ur} , жорсткості навантаження при одометричному випробуванні E_{oed} . Як середнє значення для різних типів ґрунтів ми маємо $E_{ur} \approx 3E_{50}$ $E_{oed} \approx E_{50}$, але обидва типи ґрунтів, дуже м'які (пластичні) і дуже жорсткі, мають тенденцію використовувати інше відношення E_{oed} / E_{50} .

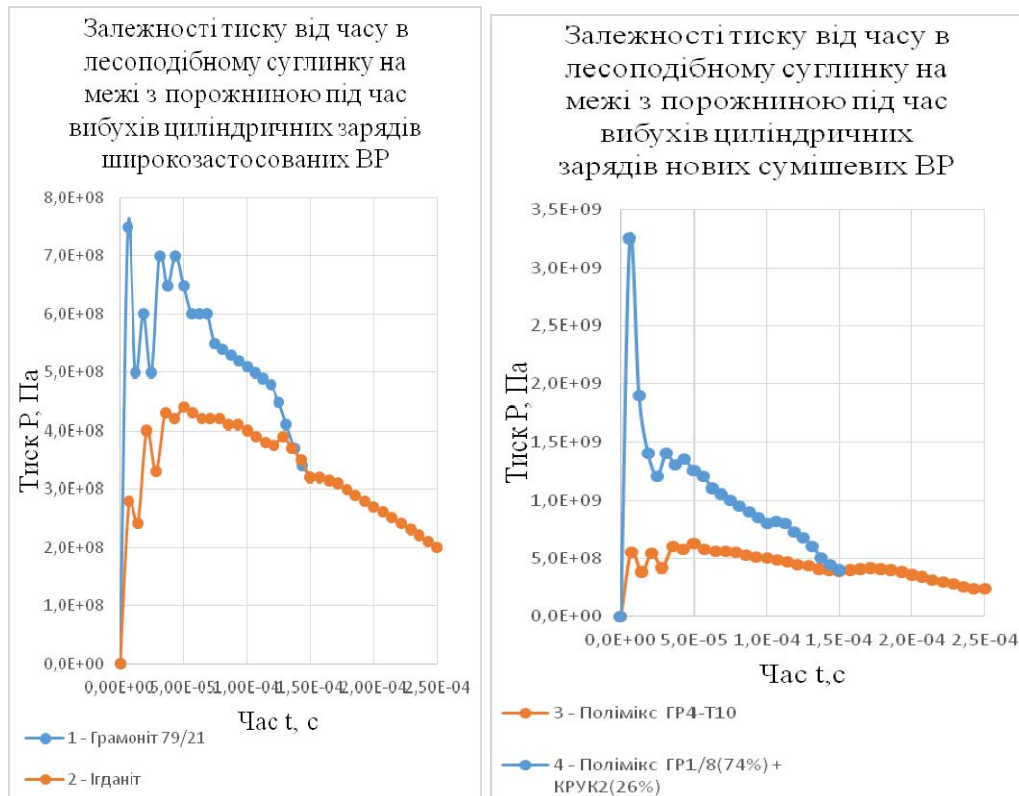
Для уточнення показників жорсткості замоченого лесового ґрунту E_{ur}, E_{50}, E_{oed} проведено експериментальні дослідження. Порівнювалось осідання штампу в моделі Кулона-Мора та моделі HS. Визначено, що $E_{oed} \approx E_{50} = 5400$ кН/м² та $E_{ur}^{ref} = 30000$ кН/м².

Необхідно дослідити дію вибуху на дану модель широко застосованої еталонної ВР середньої потужності - грамоніту 79/21(1), відомої еталонної сумішевої ВР середньої потужності - ігданіту(2) та двох нових промислових сумішевих ВР місцевого приготування: Полімікс ГР4-Т10(3) та Полімікс ГР1/8(74%) + КРУК2(26%)(4).

Дані вибухові речовини вибрані з таких міркувань. Грамоніт 79/21 та ігданіт є поширеними ВР середньої потужності і будуть слугувати еталонами для нових вибухових речовин. Грамоніт 79/21 є тротиловомісною ВР і в перспективі вона повинна бути замінена іншими ВР. Застосування ігданіту, через нестабільність з часом його складу, не гарантує стовідсотковості спрацювання заряду, через це він не завжди придатний для підричних робіт.

Вихідні дані для моделювання вибухів представлених вище ВР взято з [1]. Залежності тиску від часу в лесоподібному суглинку на межі з порожниною під час

вибухів циліндричних зарядів широкозастосованих ВР (1,2) та нових сумішевих ВР (3,4) представлено на діаграмах 1-2.



Діаграми 1-2. Дані для задання ударної хвилі чотирьох типів ВР.

Оскільки досліджується вибух в одній свердловині, використовується плоска осесиметрична задача. Розрахункову схему зображено на рис.2.

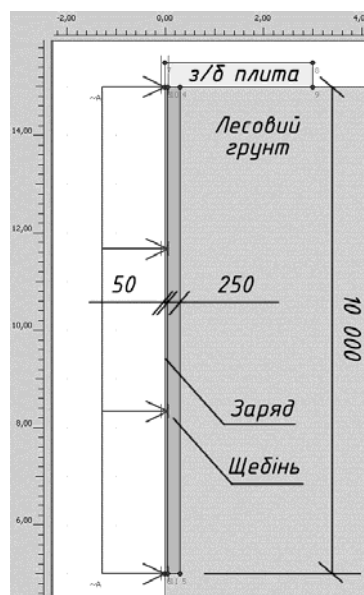


Рис. 2. Розрахункова схема імітаційного моделювання.

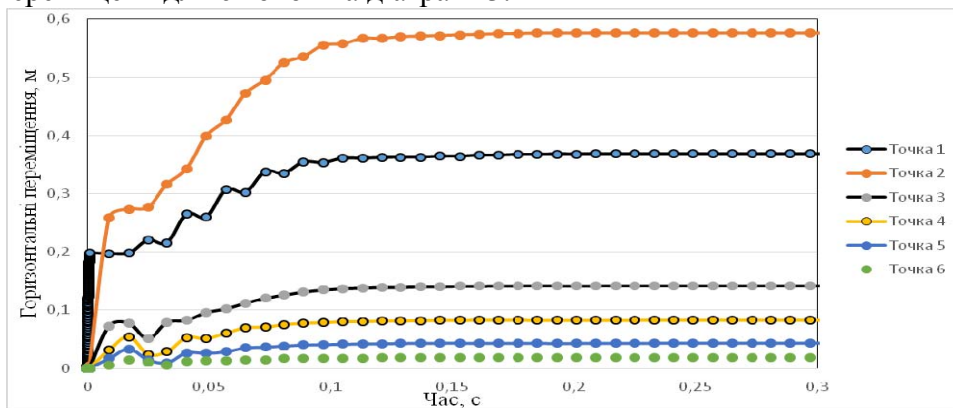
Діаметр заряду становить 100мм, діаметр свердловини, що заповнена щебе-
нем фракції 20-40 мм, складає 600мм. Глибина свердловини 10 м.

Динамічне навантаження $\sim A \sim A$ прикладається до грані контакту між зарядною свердловиною та щебенем. Це є першою активною фазою навантаження, яка триває 0,01с. Друга динамічна фаза – це розрахунок переміщень від заданого навантаження у першій фазі, де спостерігаються максимальні переміщення та затухання деформацій в часі.

За допомогою програмного забезпечення Plaxis можна дослідити переміщення в різних точках моделі. Для розрахунків обрано ряд відстаней від осі заряду на рівні -5м:

- 1 – 0,05м - контакт між зарядною свердловиною та щебенем;
- 2 – 0,3м – контакт між щебенем та ґрунтом; 3 – 1м; 4 – 2м; 5 – 3м; 6 – 5м.

Після проведення моделювання на прикладі розрахунку для ігданіту побудовано графіки переміщень для 6 точок на діаграмі 3.



Діаграма 3. Залежності переміщень від часу в точках на різній відстані від осі для імітаційного моделювання вибуху заряду ігданіту.

З графіків можна зробити висновок, що максимальні переміщення мають частки щебеню, які знаходяться на межі контакту свердловини з ґрунтом. Менші, але досить значні переміщення мають частки щебеню, що контактували із ВР. По мірі віддалення точок від осі симетрії в лесовому ґрунті переміщення затухають.

Максимальна величина переміщень для ігданіту склала 723 мм (рис.3). Максимальна величина горизонтальних переміщень склала 649 мм, тобто діаметр укріпленої щебенем зони складає близько 1,9м.

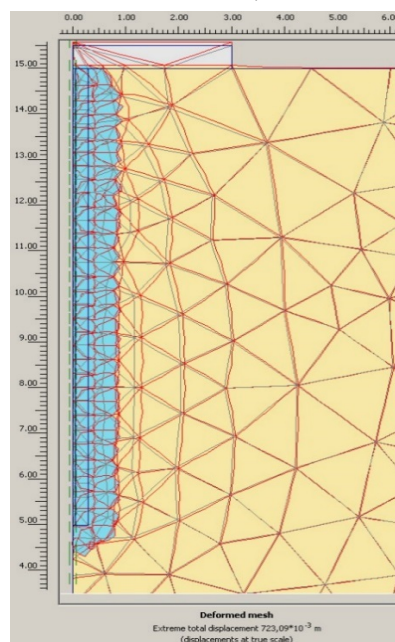


Рис. 3. Деформаційна сітка після імітаційного моделювання вибуху.

Результати для інших ВР зведено у табл.2.

На рис. 4.а-г зображено епюри переміщень при моделюванні дії зарядів чотирьох досліджуваних ВР.

Важливою частиною досліджень, крім визначення параметрів укріпленої щепенем зони, є встановлення розмірів зон ущільненого ґрунту, що утворились навколо в результаті динамічної дії вибуху. Такою будемо вважати зону, в якій переміщення перевищують 80 мм (рис. 4.а-г, табл.2).

Таблиця 2 – Зведені дані по величині армованих щепенем зон та зон ущільненого ґрунту для широко застосовуваних ВР середньої потужності і нових промислових сумішевих ВР

Тип ВР	Грамоніт 79/21	Ігданіт	Полімікс ГР4-Т10	Полімікс ГР1/8(74%) + КРУК2(26%)
№	1	2	3	4
Діаметр зон, армованих щепенем, м	2,15	1,9	2,23	3,2
Діаметр зон ущільненого ґрунту, м	5-8	4-6	5-8	6-10
Відношення глибини проникнення щепеню до \varnothing зарядної свердловини	3-8	3-7	4-8	7-13

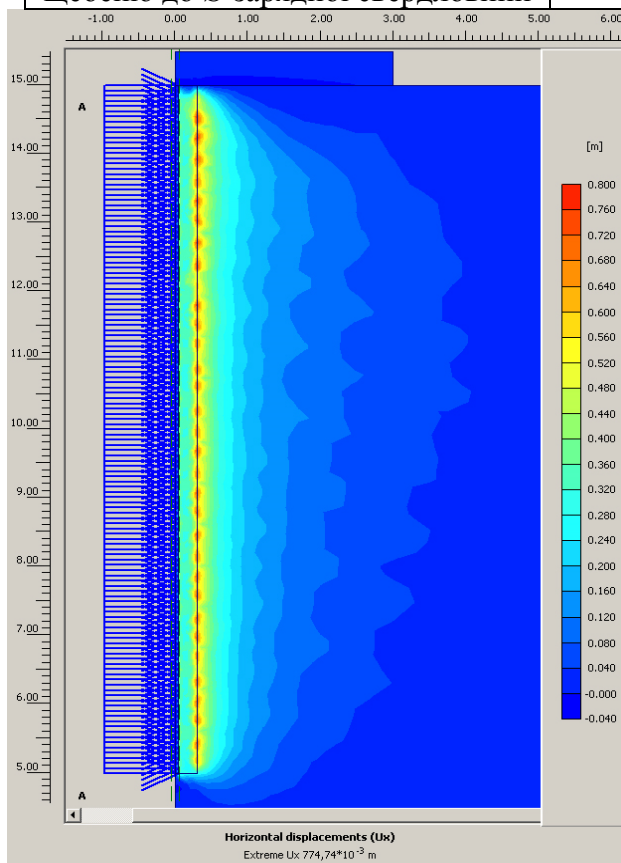


Рис. 4.а. Епюри переміщень при моделюванні дії грамоніту 79/21.

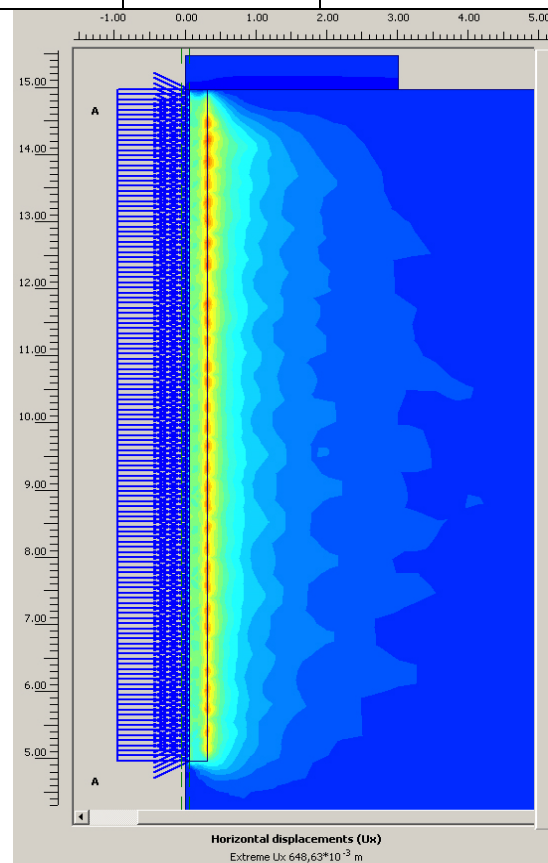


Рис. 4.б. Епюри переміщень при моделюванні дії ігданіту.

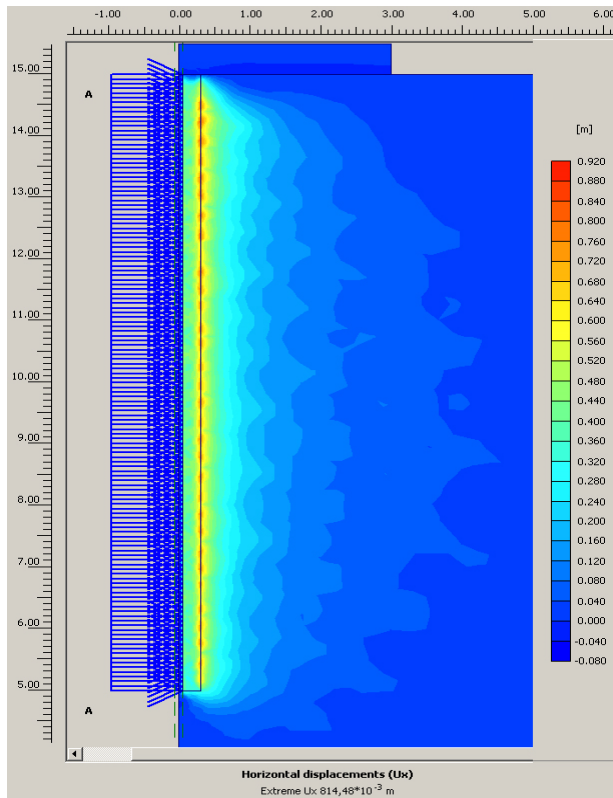


Рис. 4.в. Епюри переміщень при моделюванні дії Полімікс ГР4-Т10.

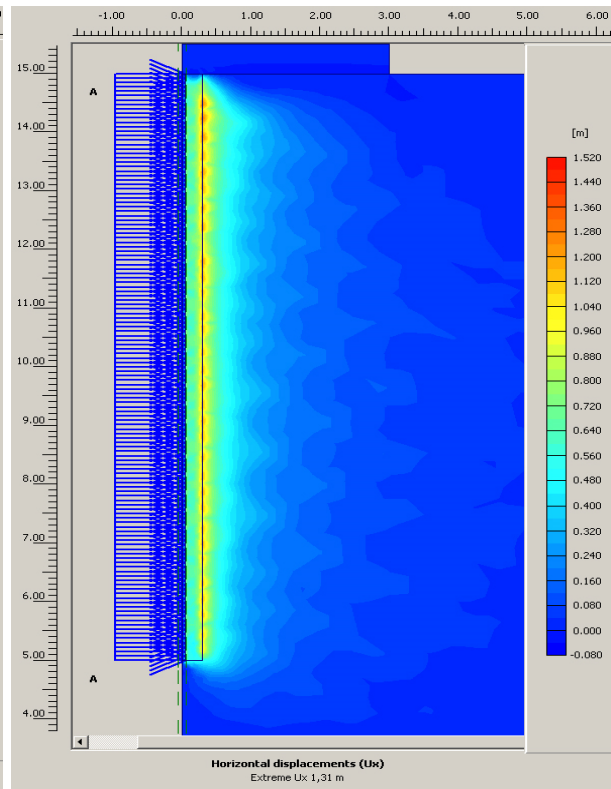


Рис. 4.г. Епюри переміщень при моделюванні дії Полімікс ГР1/8(74%) + КРУК2(26%)

Висновки

В результаті імітаційного моделювання підвищення несучої здатності лесового ґрунтового масиву енергією вибуху циліндричного заряду ВР в свердловині, заповненій щебенем, в лесовому масиві, що проводилося за допомогою програмного комплексу Plaxis, можна зробити такі висновки:

– максимальні переміщення мають частки щебеню, що знаходяться на межі контакту свердловини з ґрунтом. Менші, але досить значні переміщення мають частки щебеню, що контактували із ВР. По мірі віддалення моніторингових точок від осі симетрії в лесовому ґрунті переміщення затухають;

– порівнюючи результати теоретичних досліджень на основі класичного математичного апарату теорії вибуху для визначення глибини проникнення щебеню у зволожений лесовий ґрунт [5] з результатами даного розрахунку у комплексі Plaxis, спостерігаємо збіг отриманих значень. Згідно з розрахунками на основі класичного математичного апарату теорії вибуху значення глибини проникнення щебеневої частинки лежить в діапазоні від 3 до 7,5 діаметрів зарядної свердловини, а максимальне переміщення щебеневої зони становить для еталонного грамоніту 79/21 від 3 до 8 діаметрів зарядної свердловини.

– найбільш ефективною ВР для даних робіт є Полімікс ГР1/8(74%) + КРУК2(26%). Максимальна величина горизонтальних переміщень на межі контакту свердловини з ґрунтом склала 1310 мм. Для Полімікс ГР4-Т10 це значення дорівнює 815 мм, для класичних сумішевих ВР – 775 мм та 650 мм для грамоніту 79/21 та ігданіту відповідно.

– дана технологія закріплення лесових ґрунтів та підвищення їх несучої здатності є дуже перспективною, оскільки може принести значну економію в порівнянні з іншими механічними, хімічними чи фізичними способами укріплення ґрунтів, а також вона відзначається швидкістю та простотою виконання робіт і відсутністю складного обладнання.

Напрямок подальших досліджень полягає в проведенні натурних випробувань та оцінці ступеня підвищення несучої здатності лесових ґрунтів.

Список використаної літератури

1. Лучко І.А. Математичне моделювання дії вибуху в ґрунтах і гірських породах / І.А. Лучко, Н.С. Ремез, А.І. Лучко. – К. : НТУУ «КПІ», 2011.
2. Ляхов Г. М. Взрывные волны в грунтах / Г. М. Ляхов, Г. И. Покровский. – М.: Остротехиздат, 1962.
3. R.B.J. Brinkgreve Plaxis 2D – Version 8. Dynamics manual. Delft University of Technology and Plaxisb.v., The Netherlands, 2002.
4. R.B.J. Brinkgreve Plaxis 2D – Version 8. Material models manual. Delft University of Technology and Plaxisb.v., The Netherlands, 2002.
5. Зуевська Н.В. Наукові основи формування геотехнічних властивостей просідних масивів з урахуванням гідротермального фактора. (Автореферат). – К. : НТУУ «КПІ», 2011.

Надійшла до редакції 20.03.2014

Н.В. Зуевская, С.А. Лозовой

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ПРОСАДОЧНОГО ЛЕССОВОГО ГРУНТА МЕТОДОМ ВЗРЫВНОГО АРМИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ PLAXIS DYNAMICS

Рассматривается возможность повышения несущей способности лессового грунтового массива с помощью внедрения в него жесткого заполнителя энергией взрыва системы удлиненных зарядов. Выполняется сравнение широко применяемых эталонных ВВ и новых смесевых ВВ.

Ключевые слова: повышение несущей способности, армирование щебнем, энергия взрыва, plaxis, имитационное моделирование.

N.V. Zuiyevska, S.O. Lozovyi

STUDY OF THE PROCESS OF REINFORCING LOESS SOILS BY METHODS OF EXPLOSIVE REINFORCEMENT IN PLAXIS DYNAMICS

Performing contemplation of the possibility of increasing the bearing capacity of the array loess soil by implantation into it the hard aggregate by the explosion energy of elongated charges. Performing comparisons of standard widely used explosive and new mixed explosives.

Keywords: increasing of bearing capacity, reinforced with gravel, the energy of the explosion, plaxis, simulation.