

УДК 624.138.29

Н.В. Зуєвська (д-р техн. наук, проф.), **С.О. Лозовий** (асп.)
Національний технічний університет України «КПІ», м.Київ

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРМУВАННЯМ ЩЕБЕНЕМ ЛЕСОВОГО ГРУНТОВОГО МАСИВУ ЕНЕРГІЄЮ ВИБУХУ

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 щебенем, 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 ґрунтовані на штучному зволоженні масиву з наступним його механічним ущільненням шляхом трамбування чи вибуху системи внутрішніх або зовнішніх зарядів.

В роботі розглядається дослідження технології вибуху циліндричного заряду хімічної вибухової речовини (ВР), поміщеної в свердловину, заповнену щебенем, яка пробурена в ґрунтовому масиві. Таким чином виконується підвищення несучої здатності лесового ґрунтового масиву для здійснення придатної даної території для зведення основ будинків чи споруд.

Вибух – це не лише інтенсивна динаміка та надвисокі напруження в масиві, але й на додаток - генерація потужного теплового імпульсу. Сумарна дія цих двох факторів справляє позитивні деформаційні наслідки вибухового ущільнення, які найбільш відчутні і тривалі особливо в ближній зоні дії вибуху в ґрунтовому масиві. Оскільки під дією порівняно невисокого рів-

ня динамічних навантажень (наприклад, удару трамбівки) зруйновані або пошкоджені сольватні оболонки, що оточують ґрунтові частки, схильні відновлюватись, механічний ефект вибуху відрізняється тим, що крім високої інтенсивності навантаження масиву в ближній зоні дії вибуху в числі його переваг проявляється механізм незворотного руйнування сольватних оболонок, який виключає відновлення вихідного фізичного стану ґрунту, що є перевагою вибуху.

Метою роботи є дослідження можливостей підвищення несучої здатності лесового ґрунтового масиву вибухом ВР, поміщеної в свердловину, заповнену щебенем в залежності від використання еталонних та нових сумішевих 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, що базуються на кінцево-елементному методі та дозволяє моделювати динамічні процеси в ґрунтах.

Постановка задачі про ущільнення ґрунту щебенем за допомогою вибуху циліндричного заряду ВР здійснювалася таким чином. По осі циліндричної порожнини розташовується циліндричний заряд. Після вибуху заряду ВР продукти детонації (ПД) розширюються і захоплюють за собою 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.

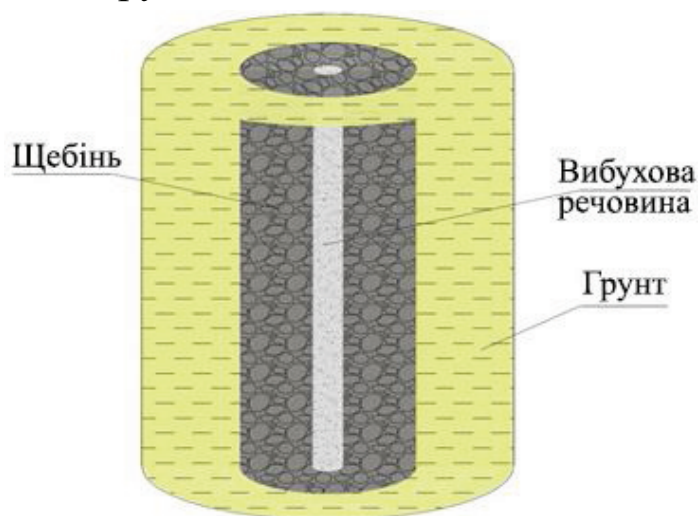


Рис. 1. Комбінована схема розташування циліндричного заряду хімічної вибухової речовини

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

Схема розміщення масиву ґрунту, свердловини заповненої щебенем та заряду ВР показано на рис.1, фізико-механічні показники замоченого лесового ґрунту, щебеню та інвентарної плити наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні показники матеріалів

№	Матеріал	Модель	γ_{unsab} кН/м ³	γ_{sab} кН/м ³	k_x	k_y	ν	E_{50}^{ref} кН/м ²	E_{oeb}^{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	Linear Elastic	25	25	0	0	0,18	3E+10	-	-	-	-

Інвентарна плита встановлюється зверху свердловини і запобігає випучуванню ґрунту в вертикальному напрямку.

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 змоделювати необоротне ущільнення ґрунту при першому навантаженні стиском. Це модель другого порядку, яка дозволяє моделювати поведінку пісків, гравійно-піщаних сумішей, а також більш м'яких ґрунтів, наприклад, глин і суглинків.

Hardening Soil Model(HS) – поліпшена модель для моделювання 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 жорсткість ґрунту описано більш точно, з використанням трьох різних складових жорсткості: жорсткості триосьового навантаження E_{50} , жорсткості триосьового розвантаження E_{ur} , жорсткості навантаження при одо-

метричному випробуванні E_{oed} . Як середнє значення для різних типів ґрунтів ми маємо $E_{ur} \approx 3E_{50}$ і $E_{oed} \approx E_{50}$, але обидва типи ґрунтів, дуже м'які (пластичні) і дуже жорсткі, мають тенденцію використовувати інше відношення E_{oed} / E_{50} .

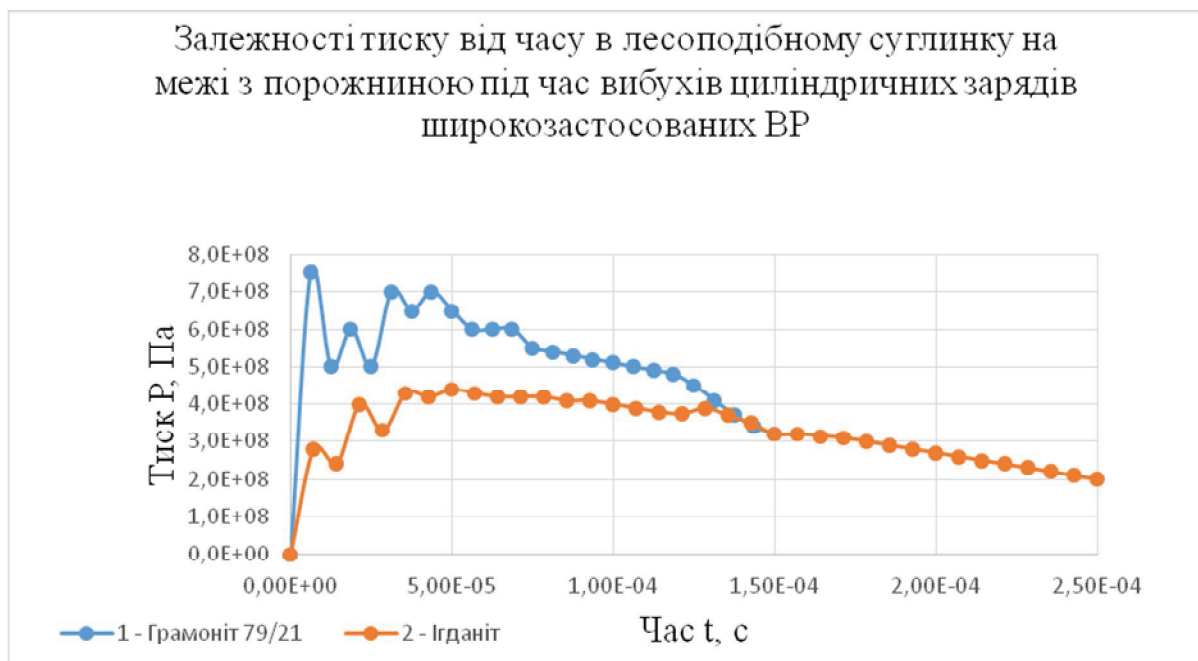
Саме тому для уточнення показників жорсткості даного замоченого лесового ґрунту E_{ur} , E_{50} , і E_{oed} були проведені експериментальні дослідження. Порівнювалася осадка штампу в моделі Кулона-Мора та моделі HS. Визначено що: $E_{oed} \approx E_{50} = 5400$ кН/м² та $E_{ur}^{ref} = 30000$ кН/м².

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 тротиловмісною ВР і в перспективі вона повинна бути замінена іншими ВР. Застосування ігданіту, через нестабільність з часом його складу, не гарантує стовідсотковість спрацювання заряду, через це він не рекомендується для підривних робіт.

Вихідні дані для моделювання вибухів представлених вище ВР взято із джерела [1]. Залежності тиску від часу в лесоподібному суглинку на межі з порожниною під час вибухів циліндричних зарядів широкозастосованих ВР(1, 2) танових сумішевих ВР(3, 4) представлено на діаграмах 1-2.

Оскільки досліджується вибух в одній свердловині, використовується плоска осесиметрична задача. Розрахункова схема зображена на рис. 2.



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

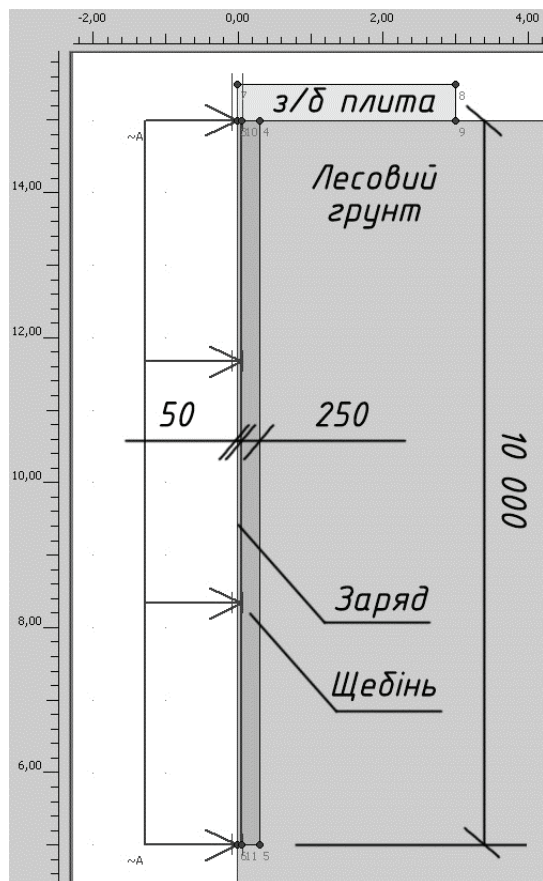


Рис. 2. Розрахункова схема імітаційного моделювання

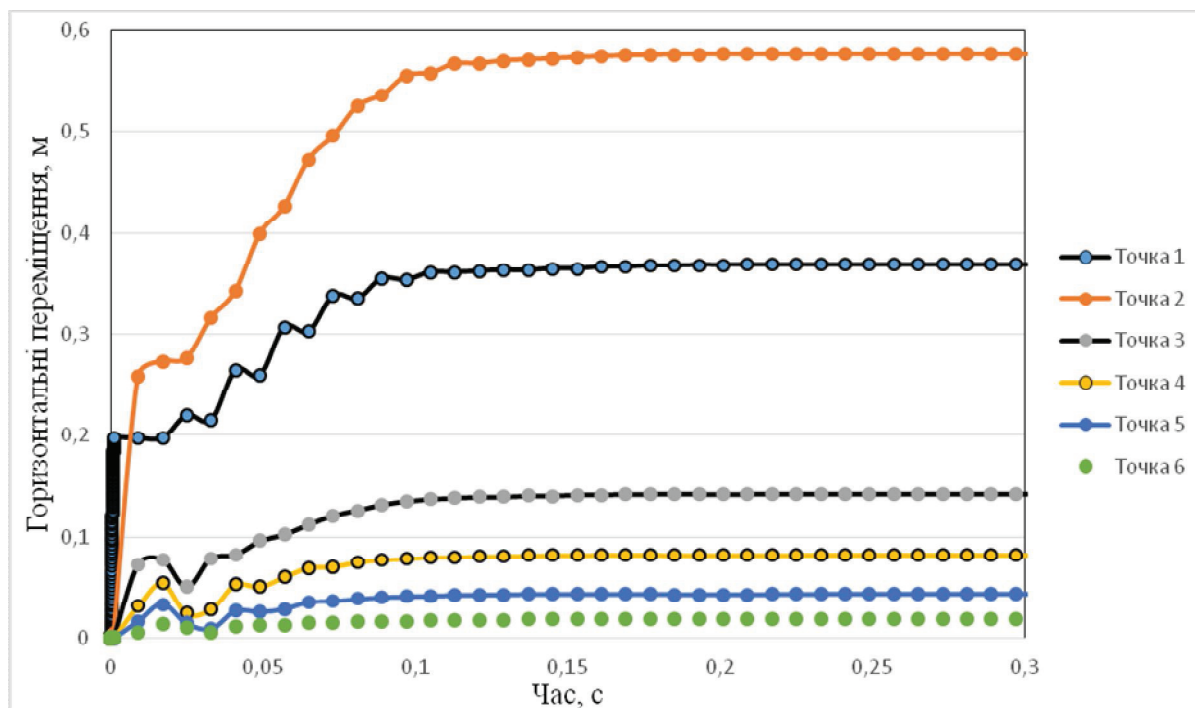
Діаметр зарядної свердловини – 100мм. Діаметр свердловини, що заповнена щебенем фракції 20-40 мм дорівнює 600мм. Глибина свердловини 10 м.

Динамічне навантаження $\sim A$ - $\sim A$ прикладається до грані контакту між зарядною свердловиною та щебенем. Це є перша активна фаза навантаження, вона триває 0,01с. Друга динамічна фаза – це розрахунок переміщень від заданого навантаження у першій фазі, тут спостерігаються максимальні переміщення та згасання деформацій в часі.

За допомогою програмного забезпечення Plaxis можна дослідити переміщення в різних точках моделі. Було обрано ряд точок на глибині 5 м:

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

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



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

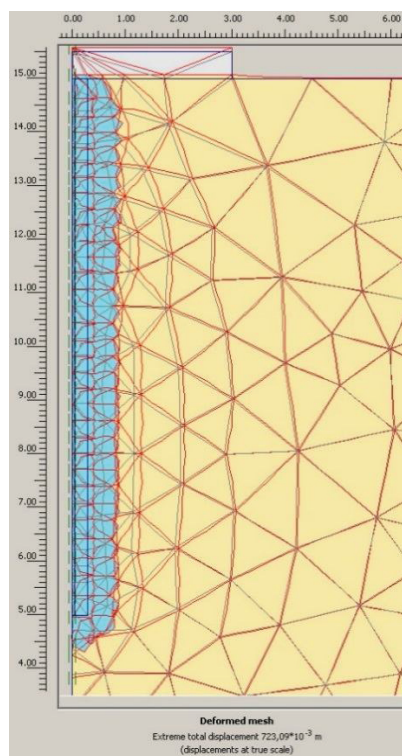


Рис. 3. Деформаційна сітка після імітаційного моделювання вибуху

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

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

Результати для інших ВР зведено у табл. 2.

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

досліджуваних ВР.

Таблиця 2

Зведені дані по величині армованих щебенем зон та зон ущільненого ґрунту для широко застосованих ВР середньої потужності і нових промислових сумішевих ВР

Назва ВР	Грамоніт 79/21	Ігданіт	Полімікс ГР4-Т10	Полімікс ГР1/8(74%) + КРУК2(26%)
№	1	2	3	4
Діаметр зон армованих щебенем, 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 щебених до \varnothing зарядної свердловини	3-8	3-7	4-8	7-13

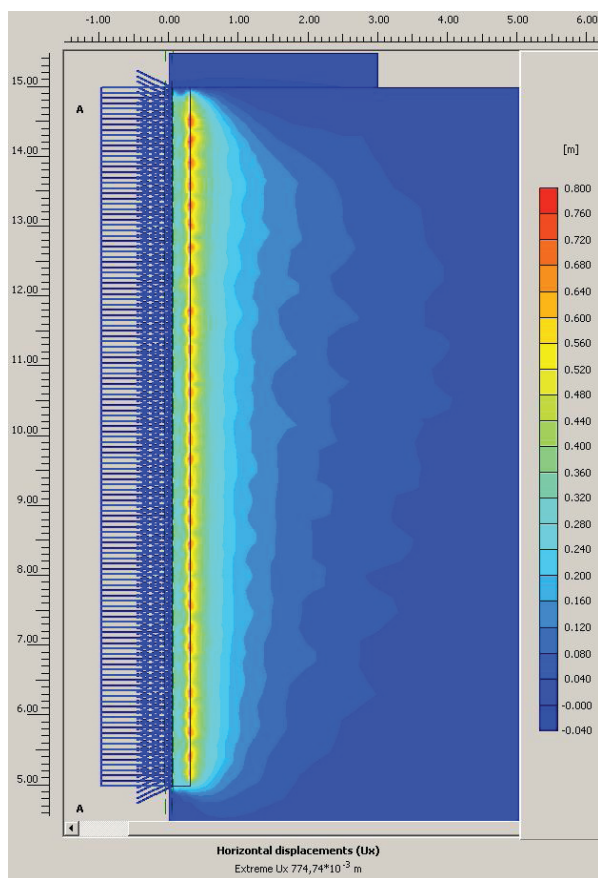


Рис. 4.а. Епюри переміщень при моделюванні дії грамоніту 79/21

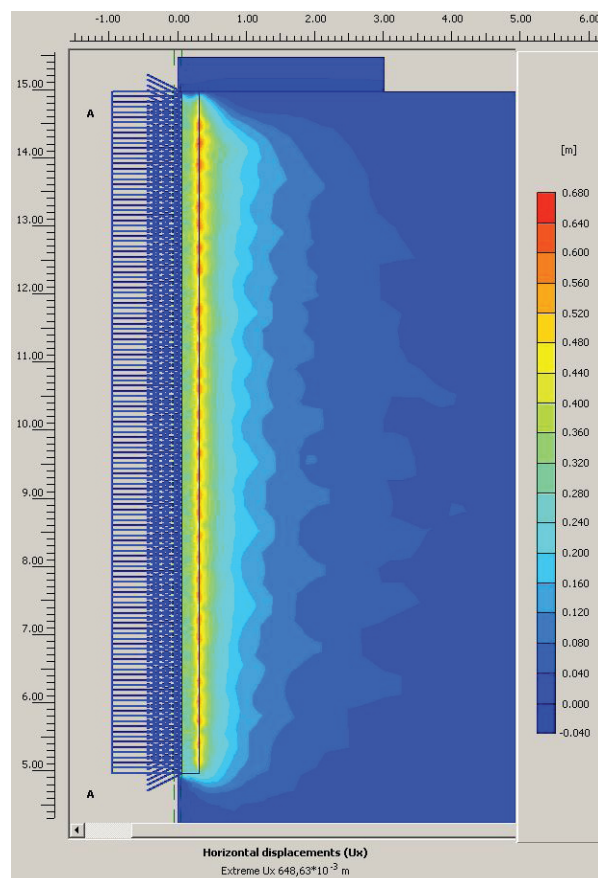


Рис. 4.б. Епюри переміщень при моделюванні дії ігданіту

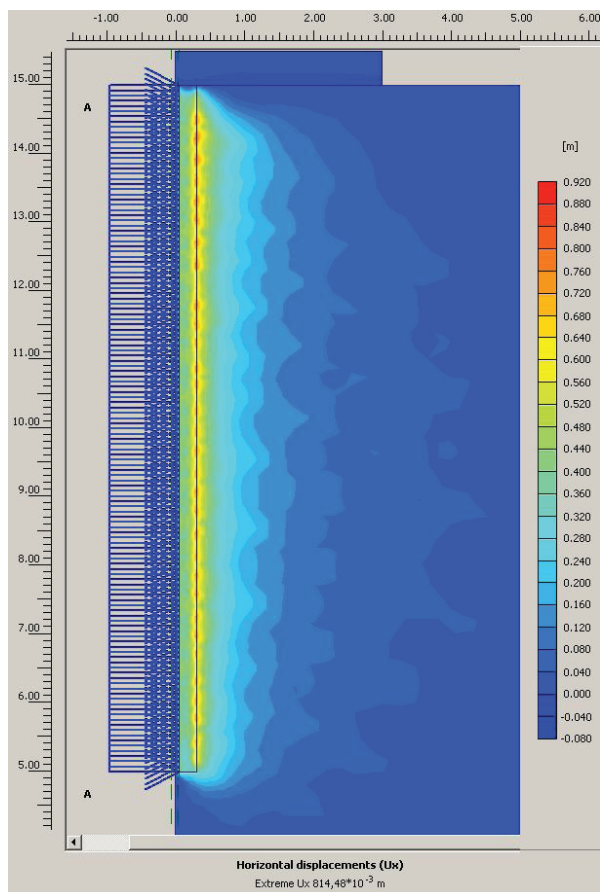


Рис. 4.в. Епюри переміщень при моделюванні дії Полімікс ГР4-Т10

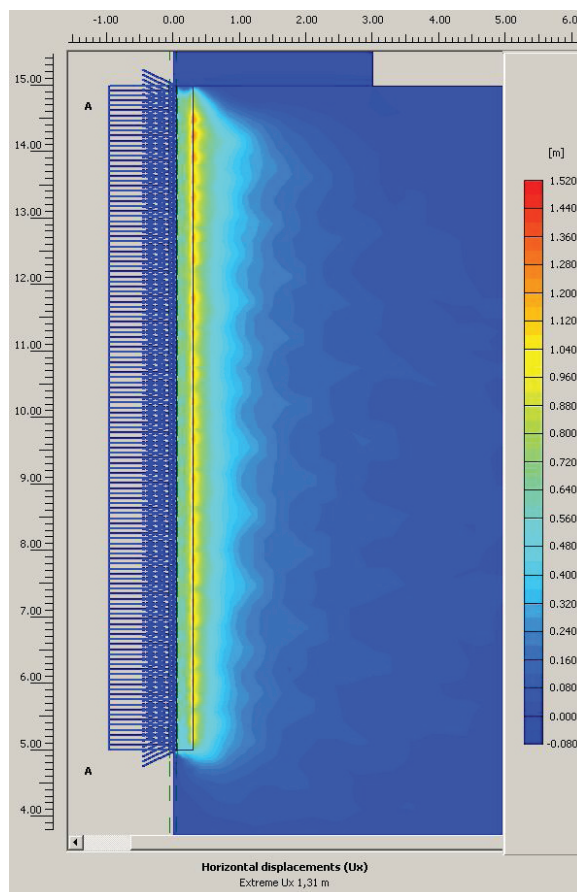


Рис. 4.г. Епюри переміщень при моделюванні дії Полімікс ГР1/8(74%) + КРУК2(26%)

Також ще однією важливою частиною дослідження крім визначення укріпленої щебенем зони є врахування зон ущільненого ґрунту, що утворилися навколо в результаті динамічної дії вибуху на них. Такою будемо вважати зону в якій деформації ≥ 80 мм.

Дані зони ущільненого ґрунту зображено на рис. 4.а-г, а числові дані зведено у табл. 2.

Висновки. В результаті дослідження – імітаційного моделювання підвищення несучої здатності лесового ґрунтового масиву енергією вибуху циліндричного заряду хімічної ВР поміщеної в свердловину, заповнену щебенем, яка пробурена в даному лесовому масиві, що проводилося за допомогою програмного комплексу Plaxis, можна зробити такі висновки:

1) Максимальні переміщення виконують частки щебеню, які знаходяться на межі контакту свердловини з ґрунтом. Менші, але досить значні переміщення виконують частки щебеню, що конта-

ктували із ВР. По мірі віддалення моніторингових точок від осі симетрії в лесовому ґрунті переміщення затухають;

2) 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 при моделюванні в Plaxis максимальне переміщення щебеневої зони становить для еталонного грамоніту 79/21 від 3 до 8 діаметрів зарядної свердловини.

3) 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 відзначається швидкістю та простотою виконання робіт і відсутністю складного обладнання.

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

Список 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 ґрунтах / Г. М. Ляхов, Г. И. Покровский. – М.: Осгортехиздат, 1962.
3. Brinkgreve R.B.J. Plaxis 2D – Version 8. Dynamics manual / R.B.J. Brinkgreve // Delft University of Technology and Plaxis b.v. - The Netherlands, 2002.

4. Brinkgreve R.B.J. Plaxis 2D – Version 8. Material models manual / R.B.J. Brinkgreve // Delft University of Technology and Plaxis b.v. - The Netherlands, 2002.

5. Зуєвська Н. В. Наукові основи формування геотехнічних властивостей просідних масивів з урахуванням гідротермального фактора / Н. В. Зуєвська. – К.: НТУУ «КПІ», 2011.

Стаття надійшла до редакції 05.06.2013.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук М.Р. Шевцовим

Н.В. Зуевская, С.А. Лозовой

Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АРМИРОВАНИЯ ЩЕБНЕМ ЛЕССОВОГО ГРУНТОВОГО МАССИВА ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА

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. Zuievskia, S. O. Lozovyi

National Technical University of Ukraine, Kiev
SIMULATION OF REINFORCING A LOESS SOIL WITH MACADAM BY EXPLOSION ENERGY

The paper considers the possibility of increasing the bearing capacity of loess soil massif by implantation into it a hard aggregate with explosion energy of extended charges. We compare widely used explosive substances and new mixed explosives.

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