

Єрмакова І.А., канд. техн. наук

ЕКОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ПРИ БУДІВНИЦТВІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД НА НАСИПАХ

Анотація. Розглядається способи використання «хвостів», як відходів при збагаченні залізної руди на гірничозбагачувальних комбінатах. Запропоновано для влаштування земляних споруд новий матеріал, який складається із 70% «хвостів» і 30% середнього суглинку. Показано, як з використанням цього матеріалу вирішуються екологічні, технічні і економічні проблеми промисловості.

Ключові слова: суглинок, «хвости», насип, автомобільна дорога, вологість ґрунту, укіс.

Аннотация. Рассматриваются способы использования «хвостов», как отходов при обогащении железной руды на горнообогатительных комбинатах. Предложен для устройства земляных сооружений новый материал, который состоит из 70% «хвостов» и 30% среднего суглинка. Показано, как с использованием этого материала решаются экологические, технические и экономические проблемы промышленности.

Ключевые слова: суглинок, «хвосты», насыпь, автомобильная дорога, влажность ґрунта, откос.

Annotation. The ways of using „tails” as departure at enrichment of iron ore on ore mining and processing enterprise are considered. New materials for devise of the earth buildings, consisting of 70% «tails» and 30% average loams, are offered. Using of this material, which helps with ecological, technical and economic problems of industry is shown.

Keywords: loam, «tails», embankment, highway, humidity of soil, slope.

Значна частина будівель та споруд влаштовується на насипах. Це перш за все автомобільні дороги, а також будівлі та споруди на слабких ґрунтах – ґрунтові подушки. Для утворення насипів та ґрунтових подушок необхідна велика кількість ґрунтів, які звичайно забирають із спеціальних кар’єрів. Влаштування кар’єрів приводить до втрати родючих земель, що суперечить

вирішенню екологічних питань конкретних територій. У зв'язку з цим постає питання про повну чи часткову заміну ґрунтів насипів іншим матеріалом.

З іншої сторони, значні площі родючих земель України знищуються тим, що засипаються відходами гірничозбагачувальної промисловості («хвости», шлам тощо). Доцільним було б знайти спосіб використання таких відходів для влаштування земляних споруд. Таким шляхом можна ефективно вирішити екологічні проблеми багатьох промислових регіонів.

Значний об'єм видобутку і збагачення залізної руди на Україні привів до того, що утворилися великі об'єми відходів цієї промисловості, які накопичуються у відвалах, виводять із використання значні площі земельних угідь і створюють небезпечні екологічні обставини внаслідок попадання у атмосферу значної кількості пилу. Головним чином, відходи гірничозбагачувальної промисловості («хвости») представлені дрібними частинками ($0,1 \div 0,001$ мм) кварцу та польових шпатів і у природному стані майже не мають питомого зчеплення. У зв'язку з цим безпосереднє використання відходів гірничозбагачувальної промисловості в елементах насипів та зворотних засипок ускладнюється, особливо у межах робочого шару і укосів.

Для забезпечення довгострокової міцності та поліпшення будівельних властивостей бажано надати інертним відходам характеристик зв'язного ґрунту, що можливо вирішити шляхом додавання дозованої кількості місцевих глинистих ґрунтів.

Інженерно-геологічні умови України характерні тим, що у більшості районів з поверхні залягають чорноземи, гумусовані та покривні суглинки із значним вмістом органічних речовин. Чорноземи і частково гумусовані суглинки з вмістом органіки більше ніж 5% використовують під час рекультивації для відновлення сільськогосподарських угідь, але значна частина з вмістом органіки меншим за 5% використовується при зведенні насипів та зворотних засипок. Зведення відповідальних елементів насипів та зворотних засипок з гумусованих ґрунтів також небажане, оскільки значний вміст органіки за рахунок мінералізації може з часом привести до нерівномірних деформацій. Таким чином, окреме використання відходів гірничозбагачувальної промисловості і гумусованих ґрунтів небажане. Позитивний ефект можливо досягти, коли для поліпшення властивостей

інертних відходів ввести домішку гумусованого ґрунту у кількості, яка залежить від властивостей вихідних компонентів. Отриманий матеріал для зведення земляних споруд вільний від вад вихідних компонентів: має незначний вміст органіки, потрібне питоме зчеплення і необхідні механічні характеристики.

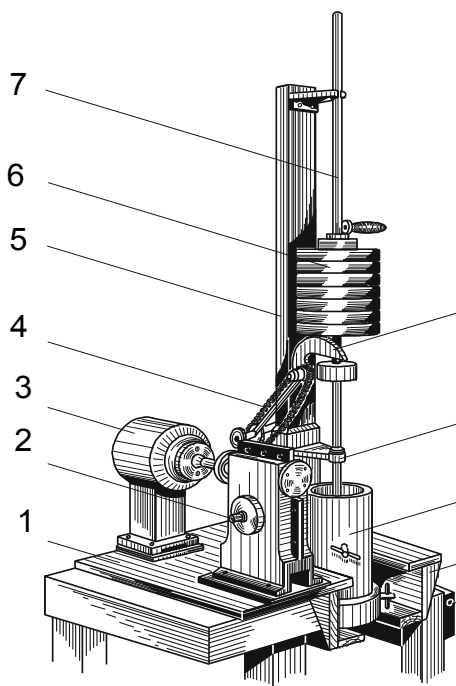


Рисунок 1 – Загальний вигляд стаціонарного механізованого приладу для динамічного ущільнення ґрунтів МДУ-1:

- 1 – опорна плита; 2 – редуктор;
- 3 – електродвигун; 4 – привід; 5 – стійка;
- 6 – гирі; 7 – напрямний стержень;
- 8 – ексцентрик; 9 – кронштейн;
- 10 – змінна форма; 11 – стіл;
- 12 – пускова кнопка

До теперішнього часу існуючі нормативні документи рекомендують визначати оптимальні характеристики ущільнення відповідно до ГОСТ 22733-

77 [1], тобто методом стандартного ущільнення. Дослідження, зроблені раніше В.Ф. Разорьоновим, В.Г. Хілобоком і В.І. Коваленком [2], показали, що стандартний метод не враховує особливості дії окремих ущільнювачів і не дозволяє отримати результати, які відповідають реальним можливостям використаних механізмів.

При динамічному ущільненні, на відміну від стандартного методу, у процесі ущільнення визначають зміну висоти зразка ґрунту, що дозволяє дослідити залежність між кількістю ударів трамбівки і зміною щільності при різних значеннях вологості ґрунту. В лабораторних умовах для цього використовують розроблений за участю фахівців Полтавського НТУ механізований прилад МДУ-1 (рис. 1), який дозволяє проводити ущільнення ґрунту при різних ударних імпульсах за рахунок зміни висоти падіння трамбівки і її ваги.

У лабораторії кафедри основ і фундаментів під керівництвом професора, д.т.н. М.Л. Зоценка та доцента, к.т.н. В.І. Коваленка проведені дослідження динамічного ущільнення суглинку, суміші «хвостів» Полтавського ГЗК із добавкою 10%, 20%, 30% за вагою суглинку. Також у лабораторії були проведені дослідження penetраційних, компресійних випробувань та одноплосинного зрушення суглинку та суміші «хвостів» з добавкою 30% суглинку. В результаті досліджень отримані такі характеристики для суглинку:

- об'ємна маса ґрунту $\gamma = 20,2 \text{ кН/м}^3$;
- кут внутрішнього тертя $\varphi = 20^\circ$;
- питоме зчеплення $c = 40 \text{ кПа}$;
- модуль деформації $E = 8 \text{ МПа}$;

для суміші «хвостів» з добавкою 30% суглинку:

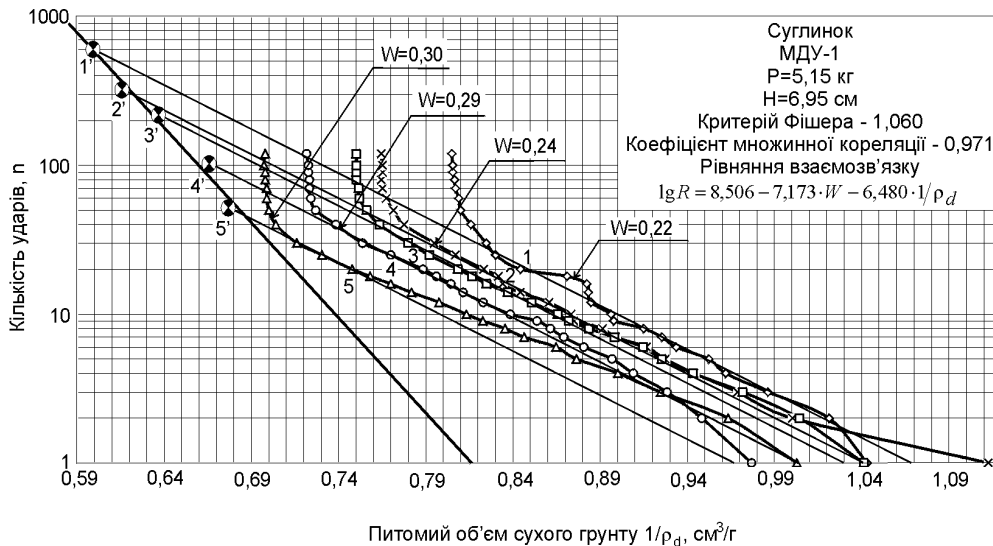
- об'ємна маса ґрунту $\gamma = 19,8 \text{ кН/м}^3$;
- кут внутрішнього тертя $\varphi = 31^\circ$;
- питоме зчеплення $c = 31 \text{ кПа}$;
- модуль деформації $E = 12 \text{ МПа}$.

На рисунку 2 показано графіки динамічного ущільнення суглинку ($W_L = 0,36$, $W_p = 0,14$), який використовувався як домішка для підвищення питомого зчеплення відходів збагачення полтавської залізної руди («хвостів») при їх використанні у елементах земляного полотна автомобільних доріг.

При динамічному ущільненні суміші «хвостів» із добавкою 10% та 20% суглинку видно, що добавка незначної кількості суглинку не надає суміші властивостей зв'язного ґрунту і процес ущільнення по суті не залежить від зміни вологості.

Як видно з рисунка 2, при різних значеннях вологості чітко встановлюється зв'язок між питомим об'ємом сухого ґрунту і логарифмом кількості ударів трамбівки. На усіх графіках при різній вологості ґрунту спостерігається момент, коли подальше ущільнення стає малоефективним. Цей факт ілюструється порушенням лінійної залежності графіків ущільнення ґрунту при постійній вологості. У даному випадку для висоти падіння трамбівки 6,95

см і її маси 5,15 кг отримано мінімальне значення питомого об'єму сухого ґрунту $1/\rho_{dmax}=0,676 \text{ см}^3/\text{г}$ (максимально можливе значення щільності сухого ґрунту $\rho_{dmax}=1,838 \text{ см}^3/\text{г}$), яке досягається для даного імпульсу при оптимальній вологості $W_{opt}=0,25$.



Рисунк 2 – Графіки динамічного ущільнення суглинку

На рисунку 3 показано графіки динамічного ущільнення суміші «хвостів» із добавкою 30% суглинку. Вихідні характеристики фізичних властивостей суміші: зерновий склад $0,1 \div 0,001 \text{ мм}$ – 89%, $< 0,001 \text{ мм}$ – 11%, показники пластичності $W_L = 0,23$, $W_p = 0,21$, щільність частинок ґрунту $\rho_s = 2,99 \text{ г/см}^3$. Суглинок використовувався як домішка для підвищення питомого зчеплення відходів збагачення полтавської залізної руди («хвостів») при їх використанні у елементах насипів та зворотних засипок.

Як видно з рисунку 3, при різних значеннях вологості чітко встановлюється зв'язок між питомим об'ємом сухого ґрунту і логарифмом кількості ударів трамбівки. На усіх графіках при різній вологості ґрунту спостерігається момент, коли подальше ущільнення стає малоефективним. Цей факт ілюструється порушенням лінійної залежності графіків ущільнення ґрунту при постійній вологості. Початок фази неефективного ущільнення показано точками 1, 2, 3, 4, 5.

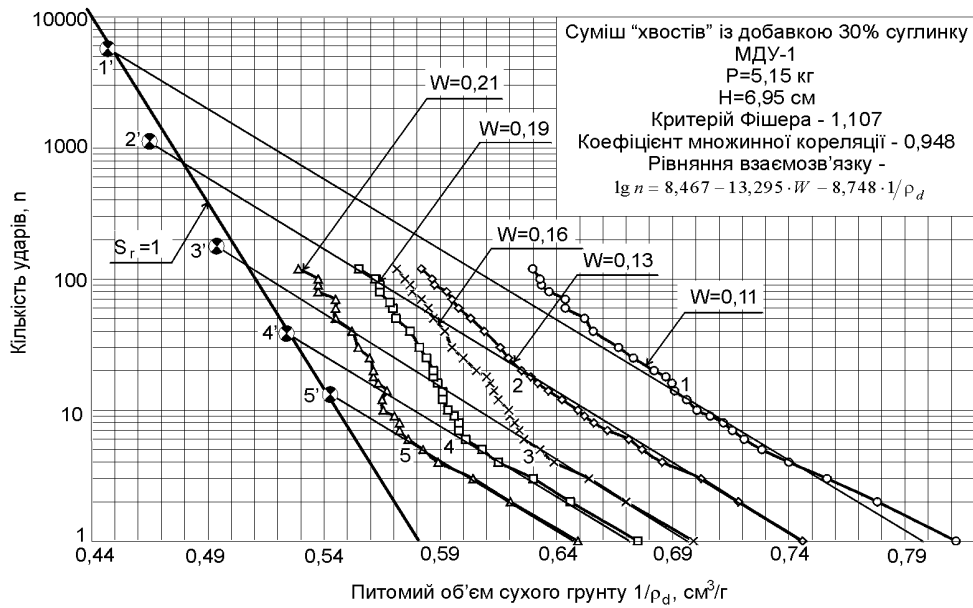


Рисунок 3 – Графіки динамічного ущільнення суміші «хвостів» із добавкою 30% суглинку

Для 3, 4, 5 збільшення щільності ускладнюється наближенням ґрунту до стану повного насичення водою (точки 3', 4', 5'), тобто переходом ґрунту з трьохфазного стану до двофазного. За цими даними побудовано графік на рисунку 4, який ілюструє залежність між вологістю ґрунту та мінімально можливим за умови ефективного ущільнення питомого об'єму сухого ґрунту ($1/\rho_d$). У даному випадку для висоти падіння трамбівки 6,95 см і її маси 5,15 кг отримано мінімальне значення питомого об'єму сухого ґрунту $1/\rho_{dmax}=0,544$ см³/г (максимально можливе значення щільності сухого ґрунту $\rho_{dmax}=1,838$ см³/г), яке досягається для даного імпульсу при оптимальній вологості $W_{opt}=0,15$.

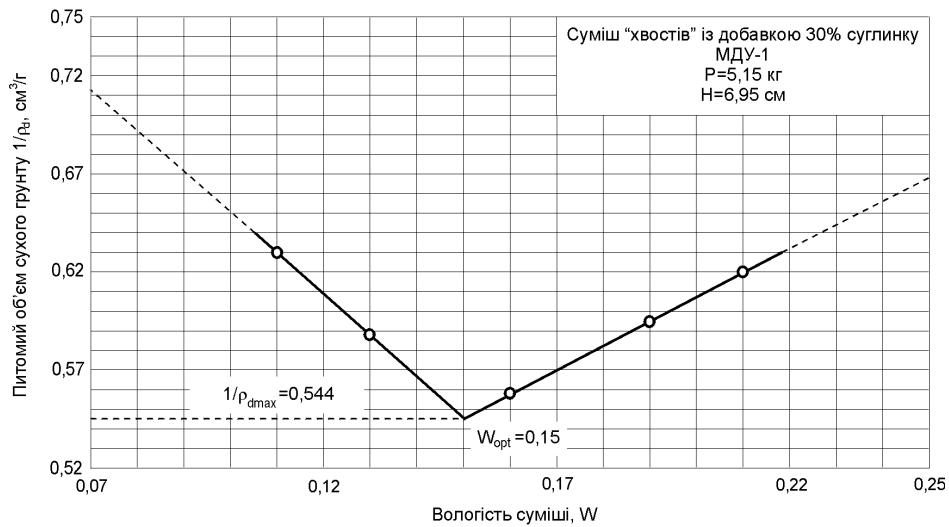


Рисунок 4 – Графік визначення оптимальних характеристик для одного імпульсу

Запропонований екологічний підхід при влаштуванні земляних споруд показав свою ефективність і з конструктивної точки зору. Основою цієї ефективності є той факт, що суміш суглинку і хвостів при оптимальних щільності-вологості має більші механічні характеристики ніж суглинок, який теж ущільнено до оптимальних параметрів. Наведемо кілька прикладів.

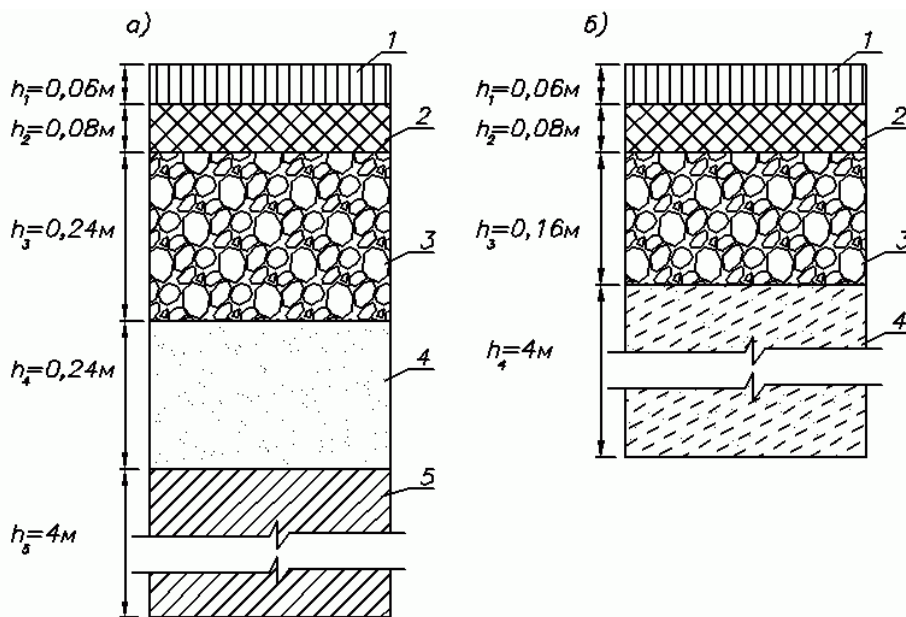


Рисунок 5 – Деталь конструкції дорожнього одягу:

а) 1 – щільний асфальтобетон; 2 – пористий асфальтобетон;

3 – відсортований щебінь з вивержених міцних порід; 4 – середньозернистий пісок; 5 – суглинок

б) 1 – щільний асфальтобетон; 2 – пористий асфальтобетон;

3 – відсортований щебінь з вивержених міцних порід; 4 – суміш «хвостів» з добавкою 30% суглинку

Товщину шару дорожнього одягу призначають з урахуванням процесу формування стійкості структури шару та його з'єднання з існуючою конструкцією [3].

Визначимо економію матеріалів (відсортований щебінь з вивержених міцних порід, пісок) при влаштуванні дорожнього одягу нежорсткого типу для II категорії дороги Комсомольськ-Кременчук (рис. 5):

1. Верхній шар покриття – щільний асфальтобетон товщиною $h_1 = 0,06$ м; нижній шар покриття – пористий асфальтобетон товщиною $h_2 = 0,08$ м; верхній шар основи – відсортований щебінь з вивержених міцних порід товщиною $h_3 = 0,24$ м; нижній шар основи – середньозернистий пісок товщиною $h_4 = 0,24$ м; основою земляного полотна є суглинок товщиною $h_5 = 4$ м.

Верхній шар покриття – щільний асфальтобетон товщиною $h_1 = 0,06$ м; нижній шар покриття – пористий асфальтобетон товщиною $h_2 = 0,08$ м; верхній шар основи – відсортований щебінь з вивержених міцних порід товщиною $h_3 = 0,16$ м; нижній шар основи – суміш «хвостів» з добавкою 30% суглинку товщиною $h_4 = 4$ м.

При використанні для насипу дороги суглинку додаткові витрати відсортованого щебеню з вивержених міцних порід на 1 км автомобільної дороги складають 640 м^3 , а середньозернистого піску – 1920 м^3 .

Порівняємо витрати бетону і арматури при влаштуванні фундаментів неглибокого закладання на ґрунтових подушках, що складаються: – із суміші «хвостів» з добавкою 30% суглинку; і – суглинку. Для цього запроєтуємо фундамент під металеву колону виробничої будівлі при таких геологічних умовах ділянки (рис. 6):

1. Основу фундаменту складає суглинок до глибини 4 м від підшви, а глибше залягає пісок середньої крупності.

2. Основу фундаменту складає суміш «хвостів» та суглинка до глибини 4 м від підшви, а далі, як і в попередньому випадку залягає пісок середньої крупності.

Вихідними даними для проектування є:

конструктивна схема будівлі – гнучка;

розрахункове навантаження на фундамент – 3000 кН;

співвідношення сторін підшви фундаменту – 1;

глибина закладання фундаменту від рівня планування поверхні землі – 1,5 м;

висота фундаменту – 1,5 м;

розрахункові характеристики ущільнених суглинка та суміші наведені вище.

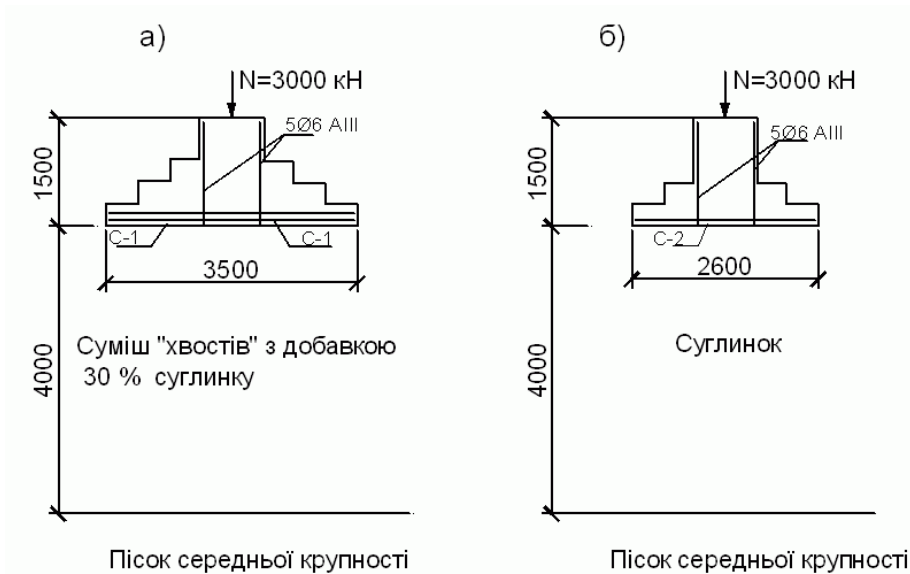


Рисунок 6 – Розрахункові схеми фундаментів

Отже, загальна витрата арматури та бетону у випадку, коли основа фундаменту складена суглинком (випадок а) складає: арматури – 199,6 кг; бетону 7,06 м³, а у випадку використання суміші «хвостів» з добавкою 30% суглинка у якості основи: арматури – 144,0 кг; бетону 3,63 м³.

Відповідно до цього витрата арматури при використанні «хвостів» зменшилася на 27,9%, а бетону – на 48,6%.

Як бачимо застосування в будівництві в якості ґрунтової подушки «хвостів» призводить до досить значної економії головних конструкційних матеріалів, що в кінцевому випадку здешевлює все будівництво.

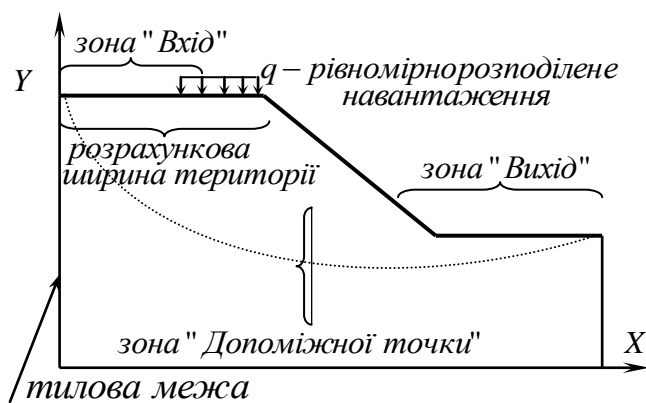


Рисунок 7 – Розрахункова схема програмного комплексу «Prust-2»

Розглянемо геометрію укосів насипів, виконаних із суглинку і суміші хвостів і суглинку. Розрахунок стійкості виконано за допомогою програмного комплексу «Prust-2», що розроблений в ОДАБА під керівництвом проф. Школи О.В. і призначений для оцінки загальної стійкості ґрунтових основ гідротехнічних споруд укісного та вертикального типів, а також інших споруд, які взаємодіють із ґрунтом і реалізує алгоритм методу круглоциліндричних поверхонь ковзання. У розрахунках розглядається ґрунтовий масив, обмежений поверхнею довільної форми, враховуються вертикальні рівномірно розподілені навантаження, які діють по його поверхні.

Програмним комплексом передбачене врахування впливу конструктивних елементів і виконаних спеціальних заходів: анкерна система з гнучкими тяжами, пальове поле і окремо стоячі пальові ряди протизсувного захисту, фільтраційний тиск, що встановився чи не встановився, сейсмічна дія.

Варіанти положення поверхонь ковзання задаються автоматично шляхом генерування випадкових чисел в трьох інтервалах характерних точок (рис. 7), які розташовані:

- на денній поверхні (точка входу);
- на позначці підошви чи укосу (точка виходу);
- допоміжна точка, що призначається із конструктивних міркувань.

Перший інтервал, умовно називається “вхід”, характеризує зону входу поверхні кривої ковзання. Цей інтервал назначається на умовній

горизонтальній площині з позначкою, яка відповідає рівню самої верхньої точки описання покрівлі першого шару ґрунтового масиву.

Другий інтервал, називається умовно “вихід”, характеризує зону виходу поверхні ковзання та задається прямолінійним відрізком, розташованим за розрахунковою шириною території, починаючи від підшови укосу ґрунтового масиву, що розглядається.

Положення третього інтервалу – «на допоміжній вертикалі» – приймається виходячи з особливостей споруди. В розрахункових схемах він задається приблизно посередині укосу та характеризує розвиненість поверхні ковзання по глибині ґрунтового масиву.

Алгоритм програми передбачає виконання розрахунку в три етапи:

- на першому етапі розрахунок виконується до умовної вірогідності $P = 0,7$. При цьому визначаються межі фактичних інтервалів (за отриманими у процесі розрахунку п'ятьма мінімальних коефіцієнтах надійності по стійкості), які, по закінченню етапу, виводяться на екран для корегування;

- на другому етапі виконується розрахунок у відкоригованих межах інтервалів при тій же кількості поверхонь ковзання, що і на першому етапі;

- на третьому етапі виконується розрахунок у відкоригованих на другому етапі межах інтервалів до отримання необхідної умовної вірогідності розрахунку.

В результаті розрахунку для одержання коефіцієнта стійкості укосу $k_y = 1,3$ необхідно для насипу з суглинку встановити укіс 1:2, а для суміші – 1:1,5. Використання суміші «хвостів» для влаштування насипу висотою 4 м заощаджує 800 м^3 ущільненого матеріалу на 100 її погонних метрів.

Таким чином, використання суміші із “хвостів”, які утворюються при збагаченні залізної руди, дозволяє вирішити кілька задач:

- екологічні – збереження родючих земель і утилізацію відходів гірничої промисловості;
- технічні – забезпечення підвищеної міцності земляних споруд;

- економічні – заощадження будівельних матеріалів при влаштуванні доріг, фундаментів тощо на основі з ущільненої суміші.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 22733-77. Грунты. Методы лабораторного определения максимальной плотности. – М.: ГСИ, 1978. – 23 с.
2. Коваленко В.И., Разорёнов В.Ф., Хилобок В.Г. Исследование уплотняемости связных грунтов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. – 193 с.
3. Бойчук В.С. Довідник дорожника. – К.: Урожай, 2002. – 560 с.
4. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений /Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1995. – 48 с.
5. Зоценко М.Л. Використання «хвостів» Полтавського ГЗК при влаштуванні земляних споруд / М.Л. Зоценко // Світ геотехніки, № 4. – Київ, 2005. – С. 7 – 11.
6. Винников Ю.Л. Використання відходів гірничозбагачувальної промисловості для влаштування штучних основ / Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, Р.М. Лопан, П.М. Омельченко // Вісник ОДАБА. – Одеса: ОДАБА, 2009. – Вип. 36 – С. 75 – 83.
7. Alonso E., Lloret A., Gens A., Rodriguez R. Geomechanical behaviour of Aznalcóllar tailings deposits // Proceedings of the XIIIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering Prague. – Prague, 2003.– P. 11 – 16.
8. Bozo L., Goga K. The problems related to the construction and exploitation of the tailings dams in Albania // Proceedings of the XIIIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering Prague. – Prague, 2003. – P. 37 – 44.