

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра геоінженерії



**«ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ
ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ»**

IV міжнародна науково-технічна конференція

**КПІ імені Ігоря Сікорського
Кафедра геоінженерії**

10-11 червня 2021 р.

Київ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра геоінженерії



***«ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ
ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ»***

**Матеріали міжнародної
науково-технічної конференції**

**КПІ імені Ігоря Сікорського
Кафедра геоінженерії**

Випуск № 4

Київ - 2021

Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики. Зб. наук. праць. Вип. 4. – [Електронний ресурс], 2021. – 52 с.

В збірці наведені результати наукових розробок студентів, аспірантів, магістрантів і молодих вчених, які подані на міжнародну конференцію 10-11 червня 2021 року, що організувала кафедра «Геоінженерії» Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського».

Збірник призначений для фахівців і будівельників підземних споруд, а також для студентів вузів гірничих спеціальностей.

Збірник рекомендовано Вченою радою інституту енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 12 від 31.05.2021 р.).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова — *Стовпник Станіслав Миколайович*, к.т.н, доц. кафедри геоінженерії ІЕЕ.

Заступник голови — *Кравець Віктор Георгійович*, д.т.н., проф., професор кафедри геоінженерії ІЕЕ.

Члени оргкомітету:

Анджей Тадеуш Воєводка, д.т.н., професор Сілезького технічного університету, м. Глівіце, Польща.

Портнов Василь Сергійович, д.т.н., проф., професор Карагандинського державного технічного університету, м. Караганда, Казахстан.

Юрай Дюрове, доктор-інженер, доцент, Технічний університет, м. Кошиці, Словаччина.

Ганєєв Сергій Миколайович, д.т.н., проф., зав. кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Національного технічного університету "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна.

Соболевський Руслан Вадимович, д.т.н., проф., зав. кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

Каменець Вячеслав Ігорович, к.т.н., доц., зав. кафедри геодезії та будівництва підземних споруд Донецького національного технічного університету, м. Покровськ, Україна

Коробійчук Валентин Вацлавович, д.т.н., доц., доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

Бойко Віктор Вікторович, д.т.н., проф., завідувач лабораторії Інституту гідромеханіки НАН України.

Зуєвська Наталія Валеріївна, д.т.н., проф., професор кафедри ГІ ІЕЕ.

Гайко Геннадій Іванович, д.т.н., проф., професор кафедри ГІ ІЕЕ.

Фролов Олександр Олександрович, д.т.н., доц., проф. кафедри ГІ ІЕЕ.

Вапнічна Вікторія Вікторівна, к.т.н., доц., доцент кафедри ГІ ІЕЕ.

Шайдецька Любов Валентинівна, к.т.н., ст. викладач кафедри ГІ ІЕЕ.

Комп'ютерна верстка *Ган Олена Валеріївна*, інж. кафедри ГІ ІЕЕ

За довідками звертатися за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», кафедра «Геоінженерії», тел. 044-204-80-08 E-mail: v.vapnichna@kpi.ua

ЗМІСТ

І.К. Бабичев, О.О. Фролов	
МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ВІДВАЛУ ПРИ СУМІСНОМУ РОЗМІЩЕННІ РОЗКРИВНИХ ПОРІД КАР'ЄРУ ТА ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ	5
Р.Ф. Харченко, О.С. Самусь, О.О. Фролов	
ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ SLAB LIFTING ПРИ ВИРІВНЮВАННІ ФУНДАМЕНТІВ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД, ЩО ЗАЗНАЛИ НЕРІВНОМІРНИХ ОСІДАНЬ	9
І.Д. Литвинчук, О.О. Фролов	
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ ВАПНЯКІВ ГУМЕНЕЦЬКОГО РОДОВИЩА	14
О. Kofanov, O. Kofanova	
ENVIRONMENTAL RISK EVALUATION FROM DIESELS FOR MINING ENTERPRISES WORKERS	18
М.Ю. Мусихін, С.М. Стовпник	
ЗАСТОСУВАННЯ ЕКРАНУ З БУРОВИХ ТРУБ, ЯК МЕТОДУ БОРОТЬБИ З ОСІДАННЯМ МЕТРОТУНЕЛЮ	22
Д.І. Пилипчук, Т.В. Косенко	
ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ МАЛИШЕВСЬКОГО РОДОВИЩА	24
Б. Сагало, Л. Марчук, М.А. Шукюров, В.Г. Кравець	
ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗОНИ ПОДРІБНЕННЯ НА РІВНІ НАБІЙКИ В УМОВАХ МАСОВИХ ВИБУХІВ НА ГІРСЬКИХ СХИЛАХ	29
М.А. Бовкунович, Г.І. Гайко	
АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ТИПІВ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ ДЛЯ УМОВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО КИСВА	34
Д.В. Юденко, М. Стовпник	
ПРОХОДЖЕННЯ ЩИТА В МЕГАПОЛІСІ І ЙОГО ВЛПИВ НА ПРОСІДАННЯ ҐРУНТУ	38
А.В. Кисель, В.В. Вапнічна	
ТЕХНОЛОГІЯ ШТУЧНОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ҐРУНТІВ	42
Hyrei Tuhanov, Stanislav Stovpnyk	
GEOTECHNICAL EVALUATION OF DISPLACEMENTS OF A TUNNEL-SHAFT CONNECTION DUE TO REGIONAL SUBSIDENCE CONSIDERING RIGID AND FLEXIBLE COUPLING IN STRUCTURES PROJECTED IN UKRAINE DIFFICULT SOFT SOIL CONDITIONS USING 3D NUMERICAL MODELING	46
А.І. Купін, О.А. Темченко, Г.В. Шиповський	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ З ВИКОРИСТАННЯМ МОЖЛИВОСТЕЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	48
В.В. Коробійчук, І.В. Леонець	
ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ КАМЕНЕОБРОБКИ ДЛЯ ВИБНИЦТВА КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ	52

УДК 622.271

І.К. Бабичев, аспірант, О.О. Фролов, д.т.н., доц. проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ВІДВАЛУ ПРИ СУМІСНОМУ РОЗМІЩЕННІ РОЗКРИВНИХ ПОРІД КАР'ЄРУ ТА ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ

Представлено результати моделювання сумісного розміщення пустих порід з кар'єру та відходів збагачення залізної руди у відвалі. Проаналізована поведінка відвалу в процесі його формування та на кінець будівництва. Визначено максимальні деформації, що утворюються при його спорудженні за умови поярусного формування.

The results of modeling the joint placement of waste rocks from an open pit and iron ore dressing waste in a dump are presented. The behavior of the dump during its formation and at the end of construction is analyzed. The maximum deformations formed during its construction during belt formation have been determined.

Вступ. Видобування залізної руди відкритим способом зазвичай пов'язане з переміщенням значних об'ємів розкривних порід у відвал. Також після збагачення руди залишаються суттєві об'єми пустих порід (хвостів), які переміщують у хвостосховище. Таким чином, навколо гірничо-збагачувальних підприємств необхідно розміщувати, як мінімум, два відвали пустих порід, у яких різні вимоги до зберігання. З кожним роком проблема вибору найбільш раціонального способу складування відходів збагачення набуває все більшої актуальності, оскільки необхідно залучати додаткові площі під складування [1]. Одним з методів вирішення цієї проблеми є розміщення продуктів збагачення залізної руди разом з розкривними породами кар'єру. Однак, проектування та безпосереднє будівництво таких сумісних відвалів є складним і пов'язано з багатьма факторами. Це, зокрема, неоднорідність та мінливість фізико-механічних характеристик порід розкриву і хвостів, що розміщуються разом у одному відвалі, неможливість точного прогнозування фізико-механічних показників змішаної гірничої маси через гідростатичний тиск вище розташованих ярусів відвалів та ін.

Не зважаючи на значну кількість наукових досліджень однозначної методології, яка всебічно охоплювала і вирішувала усі питання процесів будівництва і поведінки відвалів сумісного розміщення продуктів збагачення та розкривних порід після їх формування досі не має. Тому проблемі сумісного розміщення розкривних порід та хвостів у відвали при різних гірничо-геологічних та гідрогеологічних умовах приділяється значна увага.

Аналіз літературних джерел. Аналіз наукових досліджень дозволив певною мірою узагальнити технології складування відходів збагачення залізної руди, що зазвичай представлені тонкодисперсним породим матеріалом, який складається сухим або мокрим способом. Мокрий спосіб передбачає влаштування дамб по периметру гідровідвалу, подача відходів здійснюється у вигляді пульпи або пастоподібної консистенції [2]. Сухе складування використовують за умови безводної технології збагачення руди або, якщо при збагаченні руди з залученням води, використовують сушильні установки, що досушують шлам до внутрішньої вологості 10-15%. Це надає змогу складувати продукти збагачення у сухому стані. Також, при сухому складуванні відходів можливе додавання в'язучих речовин або хімічних реагентів, що зменшують пиління від сухого шламового відвалу [3].

Найбільш поширеними способами складування відходів збагачення є складування пульпоподібних відходів [4], складування відходів гідроциклонів [1, 3], складування пастоподібних відходів [5] та складування сухих відходів. Складування сухих відходів від збагачення здійснюється зазвичай автомобільним або конвеєрним транспортом. Даний спосіб характеризується підвищеною енергоємністю, високими експлуатаційними витратами, пилінням та залежністю від метеорологічних умов [6].

Щодо сумісного розміщення розкривних порід кар'єру та відходів збагачення, то аналіз наукових досліджень показує, що задача зменшення площ під відвали зазвичай вирішу-

ється для конкретних умов підприємства з урахуванням його можливостей і особливостей. Зокрема, можливі варіанти перемішування порід розкриву з хвостами збагачення та окремого розміщення хвостів в межах відвалу.

Мета роботи. На підставі аналізу наукових досліджень з проблем складування відходів збагачення руд сформульовано мету роботи, яка полягає у встановленні найбільш ефективної технології та визначенні параметрів сумісного складування розкривних порід та відходів збагачення залізної руди на відвалі кар'єру ПрАТ «Полтавський ГЗК». Актуальність вирішення даного питання обумовлена виробничою потребою підприємства та дефіцитом ємкісних об'ємів шламового господарства.

Матеріали і результати досліджень. На підставі аналізу світового досвіду та враховуючи особливості процесу збагачення на фабриці ПрАТ «Полтавський ГЗК» обрано спосіб складування відходів збагачення у сухому стані з вологістю в межах 10-15%. Не зважаючи на свою енергоємність запропонований спосіб є найбільш простим у реалізації та в найбільшій мірі здатен вирішити проблему розміщення об'ємів відходів збагачення.

Сумісне розміщення на одному відвалі відходів збагачення у сухому стані з породами розкриву розглянуто за двома варіантами [6]:

- 1) складування відходів збагачення бульдозерним відвалоутворенням (рис. 1).
- 2) складування сухих відходів від збагачення у воронки на відвалах (рис. 2).

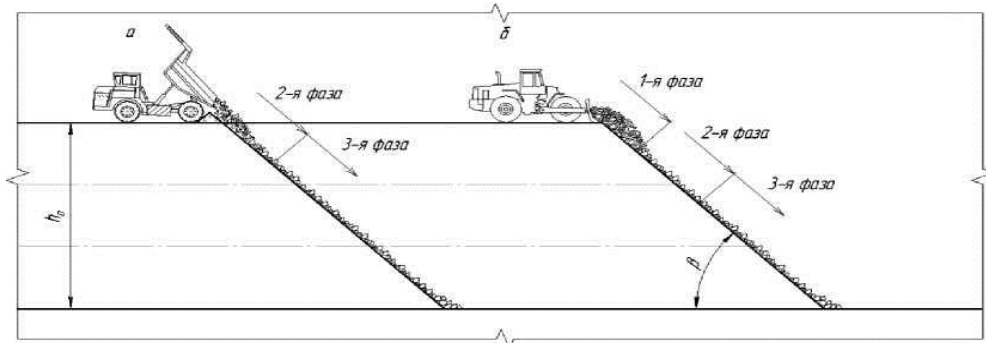


Рис. 1. Схема бульдозерного відвалоутворення при автотранспорті [6]

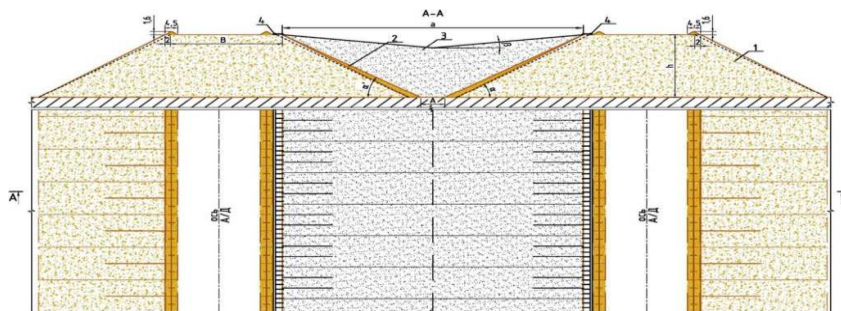


Рис. 2. Технологічна схема складування у воронку [6]

Сумісне складування бульдозерним відвалоутворенням передбачає змішування порід розкриву і зневодненого шламу в процесі їхнього зштовхування бульдозером з майданчику розвантаження автотранспорту на укіс. Завдяки силам гравітації розкривні породи кар'єру, гранулометричний склад яких більший, будуть скочуватися донизу ярусу, а більш дрібні фракції шламу будуть розміщуватися ближче до верхньої частини ярусу відвалу. Дослідженнями встановлено, що зневоднений шлам буде зосереджений лише у верхній частині ярусу відвалу і на нижню чверть ярусу шлам від збагачення не розповсюдиться [7]. Це враховано при геомеханічному моделюванні відвалу сумісного розміщення розкривних порід кар'єру і продуктів збагачення.

Складування відходів збагачення у воронки передбачає початкову відсіпку по кінцевому периметру відвалу (колу) смуги розкритих скельних порід з кар'єру шириною 100,0 м (по верху). Вона одночасно також буде слугувати транспортною бермою, а в подальшому контрфорсом і виконувати функцію дренажу по всьому схилу ярусу відвалу. Після цього всередині утвореної воронки відсіпають смугу гірничої маси для пересування конвеєрного обладнання. Ширина смуги відсіпки становить 40 м по верху для забезпечення розвороту автосамоскидів. Смуги відсіпки будуть слугувати також в якості армуючої сітки для відвалу, тобто складати єдину геомеханічну конструкцію.

Геомеханічне моделювання поведінки відвалу виконано в програмному комплексі Plaxis 3D, за допомогою якого, методом кінцевих елементів, можна визначити деформації як природного, так і штучно створеного гірського масиву, а також встановлювати його стійкість [8]. Для розгляду обрано переріз по середині відвалу з урахуванням проектного положення відвалу на кінець будівництва з урахуванням вищезазначених параметрів відвалоутворення (рис. 3).

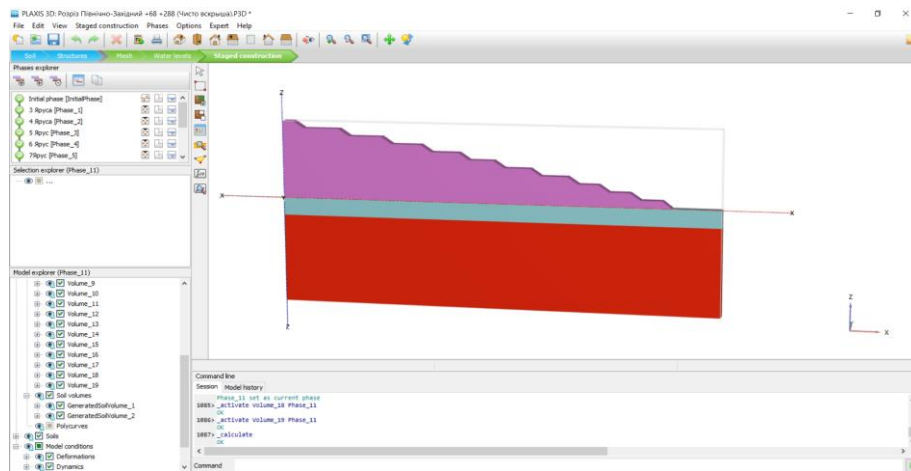
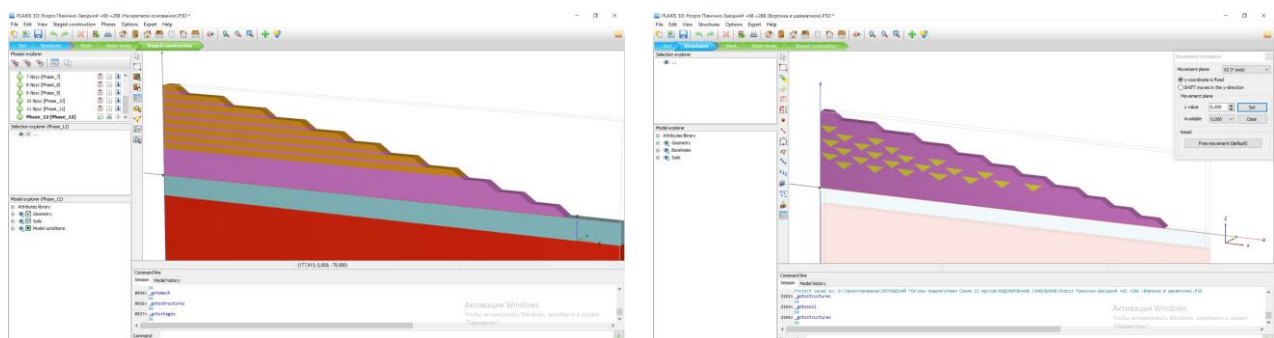


Рис. 3. Геомеханічна модель розрізу відвалу в Plaxis 3D

Для кожного із запропонованих варіантів сумісного розміщення відходів збагачення у сухому стані і розкритих гірських порід кар'єру побудовано геомеханічні моделі поведінки відвалу в процесі його будівництва та на кінець формування (рис. 4).

З метою встановлення максимальних деформацій та коефіцієнту запасу стійкості відвалу при його відсіпанні, геомеханічне моделювання виконувалось за умови поярусного його будівництва. Встановлено, що коефіцієнт запасу стійкості відвалу кожного з варіантів розміщення шламу від збагачення більший за 1,3, що є мінімально припустимим коефіцієнтом згідно нормативних вимог [9].



а)

б)

Рис. 4. Геомеханічні моделі в Plaxis 3D: а – модель відвалу з урахуванням сегрегації; б – модель відвалу з воронками зневодненого шламу

За результатами моделювання отримані закономірності розвитку деформаційних процесів у відвалі по мірі будівництва кожного ярусу при сумісному складуванні порід розкриття та відходів збагачення (рис. 5) [10].

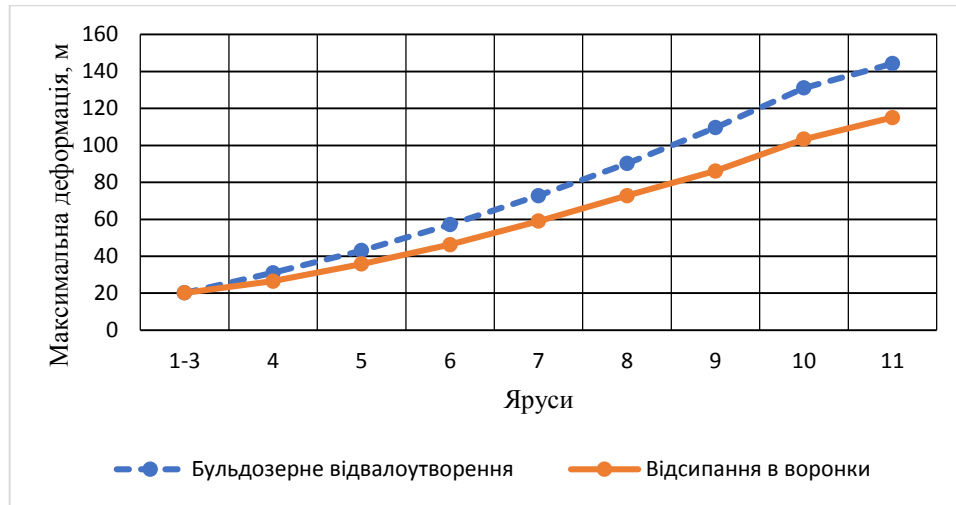


Рис. 5. Діаграма деформації відвалу по ярусам

Висновки. В результаті геомеханічного моделювання отримано моделі, які прогнозують поведінку відвалу протягом всього терміну його експлуатації для двох варіантів сумісного складування розкритих порід кар'єру та відходів збагачення. Визначено об'єми складування і встановлено, що при бульдозерному відвалоутворенні за умови сегрегації і втирання зневоднених відходів збагачення в укуси відвалу, можна досягти підвищення ємності відвалу на 8,7% зі збереженням його початково запроєктованого об'єму [10]. При складуванні зневоднених відходів збагачення у воронки доведено, що їх вміст у загальному об'ємі відвалу в середньому складатиме 21,9% за даних умов проектування. В цьому випадку кількість воронок зі шламом пропорційно буде зменшуватися по мірі будівництва відвалу, що пов'язано зі зменшенням площі кожного вище розташованого ярусу.

Бібліографічний список

1. Медведева О.А. Обґрунтування технологій спільного складування відходів збагачення з різними степенями згущення / О.А. Медведева, С.М. Киричко // Геомеханічна механіка. – 2013. – Вип. №109. – С.134–141.
2. Виноградский Э.Б. Технично-экономическое обоснование сгущения хвостовых пульп в горнорудной промышленности / Э.Б. Виноградский // Обогащение руд. – 2010. – Т.2 – С.39–43.
3. Гапонов Ю. С. Геомеханическое обоснование устойчивости породных отвалов с учетом влияния характеристик разрушенной горной массы / Дис. ... канд.техн.наук: 25.00.20 – Санкт-Петербург, 2015. – 198 с.
4. Васильева А. Д. Инженерно-геологическое обоснование устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса / Дис. ...канд.техн.наук: 25.00.16 – С-Петербург, 2020.–186 с.
5. Кисляков В.Е. О возможности пастового сгущения хвостов обогатительного передела / В.Е. Кисляков, А.В. Никитин, А.А. Шершнев // Маркшейдерия и недропользование. – 2012. – №4(60). –С.21–24.
6. Шершнев А.А. Технологические схемы складирования хвостов обогащения в подготовленные отвалы вскрышных пород, / А.А. Шершнев, С.П. Бахаева // Весник Кузбасского ГТУ – 2020. – №3. – С.46–49.

7. Цирель С. В. Гранулометрический состав, сдвиговая прочность разрушенных горных пород их влияние на устойчивость отвалов / С.В. Цирель, Ю.С. Гапонов, А.А. Павлович // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №12. – С.80–83.

8. Бабичев І.К. Моделювання пружно-пластичного деформування бортів кар'єру під час виймання прибортових запасів вугілля / О.О. Фролов, І.К. Бабичев, І.В. Стецьків, О.М. Клеван // Вісник ЖДТУ/Технічні науки. – 2015. – №3(74). – С. 148–155.

9. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Ч. 1 та 2. Гірничі роботи. Ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко-економічна оцінка та показники. СОУ-МПП 73.020-078-1:2007. – К.: Міністерство промислової політики України, 2007. – 224 с.

10. Бабичев І.К. Науково-дослідна робота «Сумісне складування розкритих порід з кар'єру та осушених відходів від збагачення у відвалах ПРАТ «Полтавський ГЗК»/ ТОВ «ДЮІС». – К. – 2021. – 79 с.

УДК 624.15

*Р.Ф. Харченко, студент, О.С. Самусь, студент, О.О. Фролов, д т.н., доц. проф.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»*

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ SLAB LIFTING ПРИ ВИРІВНЮВАННІ ФУНДАМЕНТІВ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД, ЩО ЗАЗНАЛИ НЕРІВНОМІРНИХ ОСІДАНЬ

Представлено результати досліджень з доцільності застосування методу SLAB LIFTING при вирівнюванні фундаментів підземних споруд. Описана технологія методу SLAB LIFTING та виконаний порівняльний аналіз методів відновлення експлуатаційної придатності будівлі шляхом вибурування основи горизонтальними свердловинами з менш осілого боку та за допомогою технології SLAB LIFTING.

The results of studies on the feasibility of using the SLAB LIFTING method for leveling the foundations of underground structures are presented. The technology of the SLAB LIFTING method is described and a comparative analysis of methods for restoring the operational ability of a building by drilling out the base with horizontal wells from a less settled side and using the SLAB LIFTING technology is carried out.

Вступ. Будинки і споруди, що збудовані на стисливій основі, найчастіше схильні до впливу нерівномірних осідань, які розвиваються з часом. Причини їх виникнення можуть бути різними залежно від різноманітних факторів. З одного боку можуть бути грубі помилки в процесі виконання вишукувальних робіт, проектування, будівництва та експлуатації будівель. З іншого боку це обумовлено об'єктивною обмеженістю отримання наукових знань реальних процесів, що відбуваються в гірських масивах, схильних до нерівномірних деформацій. Тому обґрунтування застосування сучасних технологій вирівнювання підземних споруд, які зазнали нерівномірних осідань, обумовлено необхідністю впровадження в практику процесу коригування геометричного положення споруд шляхом застосування найбільш доцільних методів вирівнювання та є важливою актуальною задачею.

Аналіз літературних джерел. Нерівномірні деформації основи експлуатованих будівель і пов'язані з ними наслідки створюють виникнення аварійних ситуацій. У країнах найближчого зарубіжжя в аварійному стані знаходяться велика кількість будівельних об'єктів, зокрема в Грузії їх понад 300, в Польщі їх більше 500. Значна кількість житлових будинків і пам'яток архітектури потребують підйому і вирівнюванні в Німеччині, Франції, Італії, Чехії, США та інших країнах [1].

Дослідники виділяють три основні методи коригування положення будівлі у просторі:

опускання споруди або його частини; підйом споруди або його частини; комбінований метод [2].

Як показує практика, основною причиною деформацій будівельних об'єктів є нерівномірні деформації основ, які відбуваються з різних причин, але найчастіше через нерівномірне замочування лесових просідаючих ґрунтів, поширених на території України більше ніж на 80% площі [3].

Аналіз відомих рішень показав, що найбільш перевіреними методами вирівнювання будівель, що мають крен, є: піддомкращування, часткове видалення ґрунтів з-під фундаментів горизонтальним бурінням; регульоване замочування просадних основ. Кожен метод має переваги і недоліки, свою сферу і умови застосування [4]. Метод піддомкращування обумовлює додавання істотних зосереджених сил до конструкцій будівель, що вимагає пристосування будівлі до сприйняття цих зусиль, крім того, при застосуванні цього методу необхідно відокремити надземну частину будівлі від фундаментів [5]. Найбільш часто застосовується метод усунення кренів горизонтальним вибурюванням ґрунтів з-під фундаментів. Обмежене застосування методу замочування ґрунтів просідаючої товщі пояснюється небезпекою замочування ґрунтових основ суміжних будівель і споруд.

Мета роботи. Зважаючи на проведений аналіз літературних джерел, визначена мета роботи, яка полягає у обґрунтуванні можливості застосування методу SLAB LIFTING для вирівнювання підземних споруд, які зазнали нерівномірних осідань.

Матеріали і результати досліджень. Метод ін'єкцій SLAB LIFTING був розроблений в 1980 році. Однак він став відомий світу лише в 1996, коли були винайдені спеціальні ін'єкційні матеріали, які здатні розширюватися і миттєво зміцнюватися, потрапляючи в ґрунт. Основним виробником таких сумішей є компанія PolyLEVEL™. В основі ін'єкційної суміші даної компанії лежить пінополіуретан. Усі роботи на території споруди, яка відновлюється методом ін'єктування можуть бути продовжені через 30 хв після закінчення робіт. Плити зазвичай можуть бути повторно підтримуватися, перенастроюватися і зберігати свої несучі властивості після проведення робіт, якщо вони не зламані.

Підйом плити, спричинений розширенням матеріалу, виникає в результаті хімічної реакції його компонентів, а не в результаті тиску, за рахунок якого відбувається закачування, даний тиск необхідний лише для введення речовини. Потрапляючи в ґрунт, матеріал розширюється і швидко твердіє (90% міцності досягаються протягом півгодини). Несуча здатність при цьому значно збільшується (до 10,6 МПа). Коли досягається необхідна щільність ґрунту, створюється вертикальний тиск, завдяки якому можна підняти фундамент будівлі на висоту до 20 см.

Процес відновлення осадженого фундаменту починається з зондування ґрунту під фундаментом. Потім в підшві будівлі пробурюються кілька отворів, в які вводять ін'єкційні кондуктори (рис. 1).



Рис 1. Використання технології «SLAB LIFTING»

Кількість отворів, які повинні бути зроблені, їх розміри і відстань між ними розраховують відповідно до зусиль, які потрібно подолати для підняття конструкції, тобто відпо-

відно з вагою конструкції і розподілом зазначеної ваги на ґрунті, який повинен бути оброблений. Отвори можуть проходити вертикально або можуть бути нахиленими. Через них в ґрунт під тиском 2 атмосфер подається спеціальний матеріал, який заповнює порожнечі в основі [4, 6].

З використанням технології SLAB LIFTING вирішуються наступні проблеми, які виникають у промисловому та цивільному будівництві:

1) Стабілізація і запобігання осідання фундаментів. Усувається осадка фундаментів різних типів будівель за допомогою технології глибинного ін'єктування Deep Injection. Після проведення необхідних досліджень геополімерний склад закачується в товщу ґрунту, в результаті чого відбувається його ущільнення витіснення вологи і заповнення пустот. Несуча здатність ґрунтів і фундаменту відновлюється.

2) Підвищення несучої здатності ґрунтів основи. За допомогою технології глибинного ін'єктування Deep Injection виконується як зміцнення розущільнених ґрунтів основи під майбутнє будівництво, так і посилення ґрунтів під фундаментом вже існуючої будівлі при його реконструкції (рис. 2). В результаті робіт створюється укріплений масив ґрунту з витісненою вологою, заповненими порожнечами і порами.



Рис. 2. Підвищення несучої здатності ґрунтів

3) Підйом і вирівнювання бетонних підлог і плит перекриття. Використання технології Slab Lifting, яка передбачає ін'єктування геополімерного матеріалу безпосередньо під плиту підлоги або бетонного покриття. В результаті відбувається підйом і вирівнювання підлог і плит покриття до проектної позначки (рис. 3).

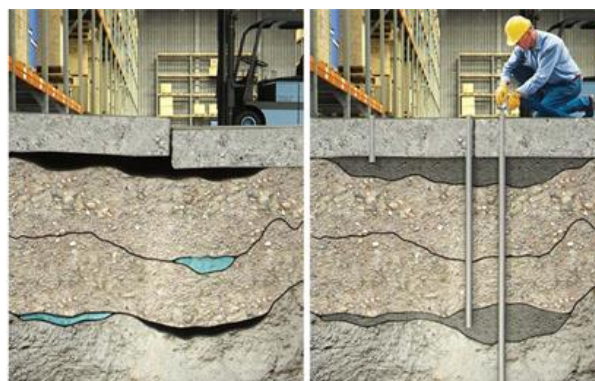


Рис. 3. Підйом і вирівнювання бетонних підлог і плит перекриття

4) Заповнення порожнин в товщі ґрунту. Для ліквідації пустот в товщі ґрунту застосовується технологія глибинного ін'єктування Deep Injection. Закачування геополімерів відбувається безпосередньо в порожнину. Порожнина заповнюється, ґрунт ущільнюється, несуча здатність верхніх шарів ґрунту збільшується.

5) Гідроізоляція та герметизація підземних споруд. Технологію можна використовувати

ти для гідроізоляції і заповнення зовнішніх пустот в підземних спорудах та конструкціях (підземні паркінги, підвали) за допомогою ін'єктування геополімерного складу безпосередньо в зону контакту спорудження-грунт.

б) Легковагове заповнення пустот, просторів і ємностей. Для консервації шахт, колекторів, великогабаритних трубопроводів, експлуатація яких припинена або призупинена, застосовується технологія Venifil – заповнення пустот розширюється легковажним складом. В результаті порожнечі повністю або частково заповнюються, запобігається скупчення в них небажаної вологи і газів. Унікальна формула складу Venifil дозволяє в будь-який час зробити розконсервацію об'єкта за допомогою спеціального розчинника.

Розглянемо застосування двох конкурентоспроможних методів виправлення крену на прикладі будівлі з підземним гаражем на фундаменті у вигляді суцільної плити товщиною 0,6 м і розмірами в плані 14×14 м [7]. Припустимо, що в результаті впливу деформацій земної поверхні будинок одержав крен $i=0,015$, що істотно перевищує гранично допустиме значення для даного типу будівлі $i_u=0,002$, отже, різниця осад країв плити становить 210 мм (рис. 4, 5).

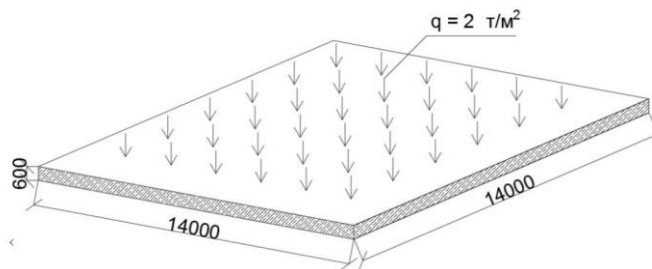


Рис. 4. Модель розрахунку

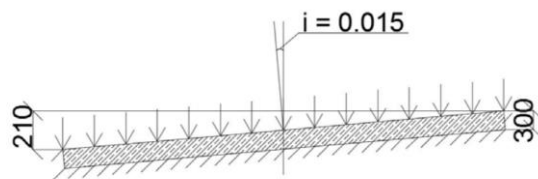


Рис. 5. Деформація обраної моделі

Відновлення експлуатаційної придатності будівлі можна виконати:

- шляхом ослаблення основи горизонтальними свердловинами з осілого боку;
- за допомогою технології SLAB LIFTING.

Вирівнювання споруди методом вибурування ґрунту з менш осілого боку виконується наступним чином. Відбувається буріння в ґрунтовій основі під підшовою фундаменту горизонтальних свердловин з боку, який менше просів. Свердловини бурять в один або кілька паралельних рядів, потім заповнюють їх гарячою водою з температурою більше $60 \text{ }^\circ\text{C}$, оскільки така температура в значній мірі збільшує осадку будівель в порівнянні з замочуванням холодною водою за рахунок збільшення пластичних деформацій ґрунтів [8].

Крок буріння становить

$$U = 1,4d = 0,35\text{м}, \quad (1)$$

d – діаметр свердловини (для даного розрахунку прийемо найпоширеніший зі стандартних діаметрів – 0,25 м).

Загальна довжина свердловин, які необхідно пробурити, щоб виправити крен споруди, згідно розрахунків, становить 350 м [7].

При вирівнюванні споруди методом SLAB LIFTING крок свердловин ін'єктування – 1-2 метра з додатковими ін'єкціями в місцях сильних прогинів плити. Підйом може бути виконаний на висоту 200 мм. В більш осілій частини плити пробурюють отвори, в які вводять

ін'єкційні пакери. Через них починається подача геополімеру в порожнечі під плитою фундаменту.

Об'єм геополімеру, який потрібно заповнити для підняття плити до проектного значення становить

$$V = \frac{l \cdot l \cdot S}{2} = 20.6 \text{ м}^3, \quad (2)$$

де l - довжина плити, м; S – товщина плити, м.

Загальна вага геополімеру

$$m = \rho \cdot V = 700.4 \text{ кг} \quad (3)$$

де $\rho = 34$ – щільність матеріалу, кг/м³.

Висновки. Таким чином, розрахунок показав, що за методом вибурювання ґрунту з менш осадженого боку потрібно вибурити свердловини загальною довжиною 350 м і діаметром 0,25 м, а за технологією SLAB LIFTING закачати під плиту фундаменту 700,4 кг геополімерного матеріалу. З прайс-листів компаній, які виконують роботи за даною технологією, відомо, що вартість геополімери становить близько 400 грн/кг, тобто вартість робіт становить приблизно 280 тис. грн. Середня вартість одного метра вибурювання ґрунту свердловини діаметром 0,25 метрів становить 700 грн., тобто вартість буріння свердловин складає близько 250 тис. грн. Але в останньому методі не були враховані підготовчі роботи по підризці фундаменту, роботи з видалення вибуреного ґрунту та ін. Отже, вартість цього методу зростає в рази.

На підставі даних розрахунків можна зробити висновок, що сучасна технологія SLAB LIFTING є найбільш вигідною в порівнянні з іншими методами усунення крену споруд.

Бібліографічний список

1. Медяник В.І. Вирівнювання споруд шляхом вибурювання ґрунту з підшви / В.І. Медяник, М.Ю. Мусихін // Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів [Текст]: матеріали V-ї всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 18–19 квітня 2018 р. – Ж.: Житомирський державний технологічний університет, 2018.
2. Самченко, Р.В. Удосконалення технології вирівнювання нахилених будівель горизонтальним вибурюванням ґрунту із основи [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук. – Дніпропетровськ, 2010. – 19 с.
3. Трегуб, А.С. Вирівнювання будинків домкратами [Текст] / А.С. Трегуб, І.Н. Москаліна, В.П. Науменко, В.П. Мілявський // Будівельні конструкції: зб.наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 71. – Кн. 2. – С.93-102.
4. Шишко Г.Ф. Устранение кренов силосных корпусов элеваторов способом выбуривания грунтов / Г.Ф. Шишко. – К.: Будівельник, 1987. – С. 35-40.
5. Скибин М.Г. Взаимодействие регулируемых фундаментов с грунтовым основанием зданий при подъеме и выравнивании домкратами: дис. канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2014. – 214 с.
6. Тугаенко Ю.Ф. Исправление крена 16-этажного жилого дома / Тугаенко Ю.Ф., Матус Ю.В, Синявский С.Д. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – К., 1979. – № 2. – С. 3-4.
7. Медяник В.І. Обґрунтування параметрів технології вирівнювання підземних споруд, схильних до нерівномірних осаджень: маг. дис. – Київ, 2018. – 87 с.
8. Кушнер С.Г. Расчет осадок оснований зданий и сооружений. К.: Будівельник, 1990. 144 с.

УДК 622.271

І.Д. Литвинчук, інженер, ТОВ "НВП "УКРГЕОЛОГСТРОМ", О.О. Фролов, д-р техн. наук, доц. проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ ВАПНЯКІВ ГУМЕНЕЦЬКОГО РОДОВИЩА

Проаналізовано існуючі технології розробки родовищ вапняку відкритим способом. Обґрунтовано ефективність впровадження невибухової технології розробки вапняків в умовах Гуменецької ділянки Гуменецького родовища. Визначено основні технологічні параметри невибухової технології розробки вапняків із застосуванням фрезерного кар'єрного комбайну.

The existing technologies of open limestone deposits development are analyzed. The efficiency of introduction of non-explosive technology of limestone development in the conditions of Humenets section of Humenets deposit is substantiated. The main technological parameters of non-explosive technology of limestone development with the use of a milling quarry combine are determined.

Вступ. На сьогоднішній день переважна більшість родовищ вапняку застосовує традиційну буро-підричну технологію видобування, проте, за рахунок постійного розвитку галузі гірничої справи, створюються перспективи щодо впровадження принципово нових технологій видобування. Невибухова технологія передбачає використання принципово нового для відкритої розробки родовищ обладнання, що здатне поєднувати в своїй роботі основні процеси гірничого виробництва, такі як: підготовка порід до виймання, навантаження до транспортних засобів або складування в бурти та значну частину процесу подальшого дроблення.

Науковий аналіз досліджень невибухового руйнування масиву гірських порід на кар'єрах дозволив встановити діапазон раціонального використання сучасного гірничо-технічного обладнання. Встановлено залежність впливу гірничо-геологічних умов родовища та характеристик міцності корисної копалини на продуктивність фрезерного комбайну. У зв'язку з цим, підбір обладнання за його конструктивними та технологічними характеристиками є одним з найбільш важливих питань для розвитку та модернізації невибухової технології.

Аналіз літературних джерел. Аналіз наукових досліджень показує, що при невибуховому способі розробки вапняків можна використовувати обладнання, яке за функціональним призначенням розділяють на два класи (машини для розвантаження та виймально-розвантажувальні машини), а за конструктивно-технологічними ознаками – на п'ять груп (бульдозерно-розрихлювальні агрегати, навісні гідромолоти, гірничі комбайни, багатокішкваті екскаватори, однокішкваті екскаватори) [1].

Науковцями доведено, що застосування на кар'єрах комбайнів є перспективним напрямком розвитку відкритого способу розробки, який дозволяє поєднувати в один процес кілька основних операцій гірничого виробництва, а саме: підготовку гірських порід до виймки, безпосередньо виймку і дроблення [2, 3]. Використання технологічних схем із застосуванням кар'єрних комбайнів, виключає необхідність у переєкспавації великих обсягів розкривних порід в процесі розробки родовища [4].

Мета роботи. обґрунтування параметрів невибухової технології відкритої розробки вапняків на основі встановлених закономірностей впливу фізико-механічних властивостей масиву на режим роботи видобувного обладнання.

Матеріали і результати досліджень. Невибухова технологія розробки родовищ вапняку передбачає використання, в якості виймально-навантажувального обладнання, кар'єрних комбайнів нового (фрезерного) типу, що дозволяють ефективно розробляти масив з невеликою міцністю гірських порід. Найбільш раціональне використання комбайнів дося-

гається при діапазоні міцності порід від 3 до 10 за шкалою М. М. Протод'яконова та межею міцності на стиск від 30 до 70 МПа.

За рахунок використання комбайну, знижується необхідність в додатковому дробленні, адже максимальних розмір шматків гірничої маси буде значно меншим в порівнянні з видобуванням за традиційною технологією, яка передбачає застосування буропідривного методу розробки вапняку [5].

Цикл основних операцій при роботі фрезерного комбайну в комплексі з транспортним обладнанням: розчистка та вирівнювання майданчика для добувних робіт, фрезерування та навантаження в автосамоскиди (розміщення корисної копалини на склади), очікування автосамоскиду, перегін до початку добувної ділянки, маневри, заправка паливом та водою, заміна різців.

Відпрацювання корисної копалини виконується за наступним принципом: кар'єрні комбайни рухаються добувними заходки, переміщуючись зверху вниз та у зворотному напрямку. Корисна копалина завантажується безпосередньо в автосамоскиди або відвантажується в бурти, а потім переміщується навантажувачом до тимчасових складів [6].

Масив відпрацьовується тонкими шарами, потужність яких залежить від можливої глибини фрезерування (до 60 см). Після завершення відпрацювання шару необхідної потужності по всій площі блоку, починається розробка наступного шару, що розташований нижче верхньої відмітки з'їзду [6]. Таким чином, з'їзд на нижче розташовані горизонти створюється в ході розробки. Схема проходки з'їзду фрезерним комбайном зображена на рис. 1.

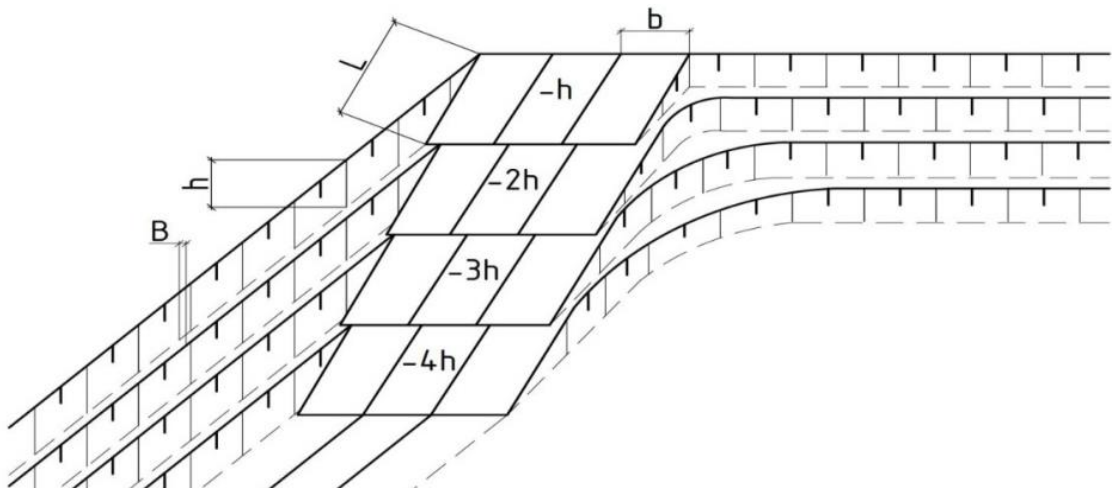


Рис. 1. Схема проходки з'їзду фрезерним комбайном: L – довжина з'їзду;
 b – ширина фрези; h – висота уступу (потужність шару, що фрезерується);
 B – ширина бічної стінки

Послідовність виконання технологічних операцій при видобування вапняку фрезерними комбайнами:

- Відпрацювання шару розчистки покрівлі пласта корисної копалини в першому видобувному блоці з переміщенням його до відпрацьованої ділянки, формуючи при цьому тимчасові бурти пустої породи;
- Видобувні роботи в першому блоці відпрацювання;
- Видалення шару розчистки в наступному блоці;
- Видобувні роботи в наступному блоці.

Результати хронометражу, виконуваних при видобуванні вапняку, операцій з використанням фрезерного комбайну наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати хронометражу роботи фрезерного комбайну

№	Різновид операцій при видобуванні вапняку	Частка від загального витраченого на видобування часу, %
1	Фрезерування та навантаження	38,0
2	Заправка паливом	11,0
3	Перегони	11,0
4	Вирівнювання поверхні добувного блоку	10,0
5	Простої	6,0
6	Маневри	3,0

При невибуховому вийманні гірських порід кар'єрними комбайнами, руйнування відбувається за рахунок подолання опору породи на зріз, під впливом різців фрезерного робочого органу. Зусилля на вістрі різця створює напружений стан в контактуючому з ним масиві гірської породи з формуванням ущільненого ядра [7, 8]. Геометричні розміри ущільненого ядра швидко зростають аж до збільшення в масиві тріщинуватості. Після чого ріст ядра зупиняється і воно починає відігравати роль клину, який збільшує тріщину та відколює елемент породи від масиву.

Для встановлення питомої технічної продуктивності комбайна, необхідно встановити ряд параметрів при розрахунку складових потужності: потужність на розгін ґрунту робочим органом прирівнюємо до нуля; вектор результуючого опору, що виникає на робочому органі, діє в горизонтальній площині; при розробці породи, робочому органу надається номінальний крутний момент; сили, що діють на робочий орган, не викликають зміни сили тяжіння комбайна на забій [9, 10].

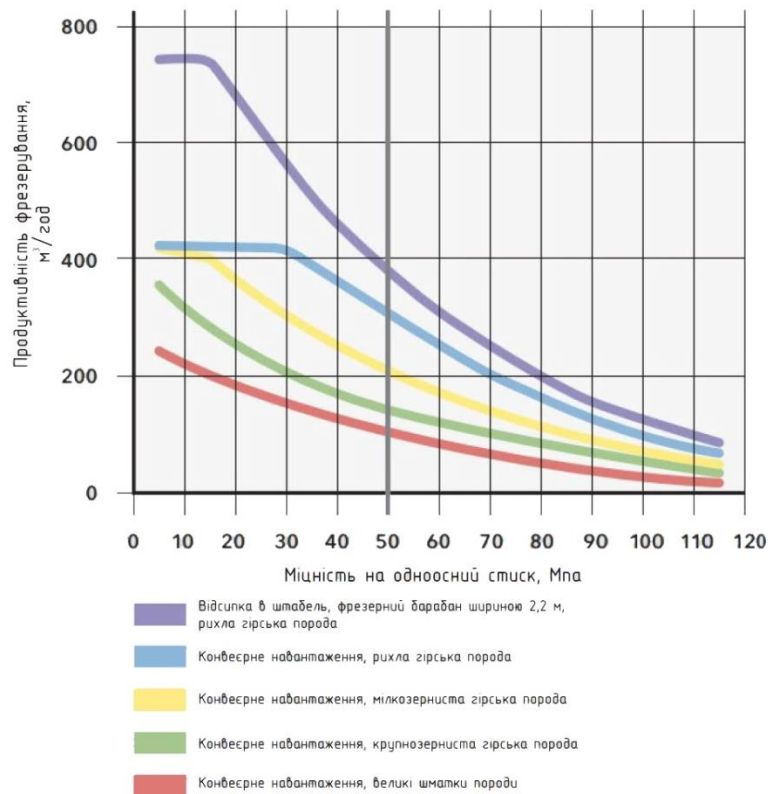


Рис. 2. Продуктивність фрезерного комбайну залежно від міцності гірських порід на стиснення

Результати моделювання питомої технічної продуктивності кар'єрного комбайну в залежності від висоти шару, що фрезерується, міцності породи та коефіцієнту ефективного тертя зображені на рис. 3 та рис. 4.

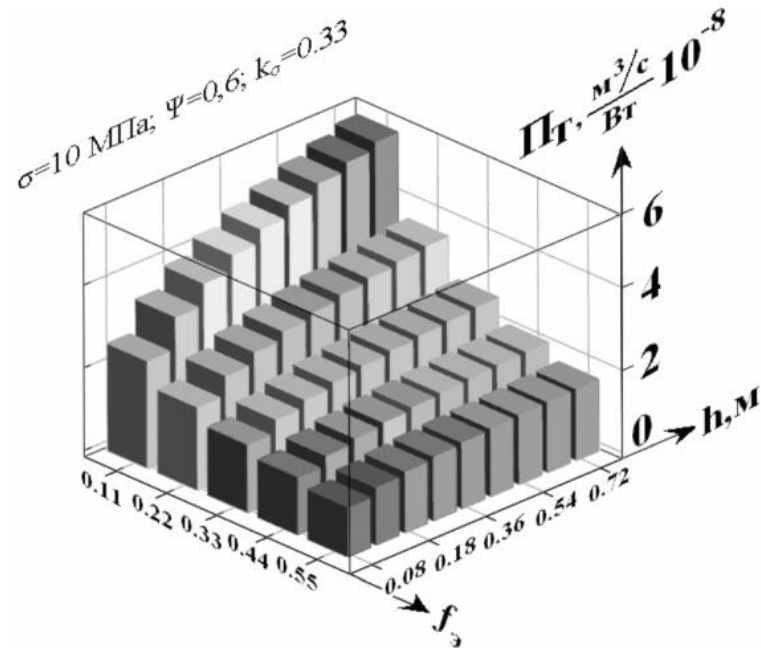


Рис. 3. Результати моделювання питомої технічної продуктивності кар'єрного фрезерного комбайну для зв'язних пластичних порід: h – висота шару, що фрезерується; σ – міцність породи; f – ефективний коефіцієнт тертя.

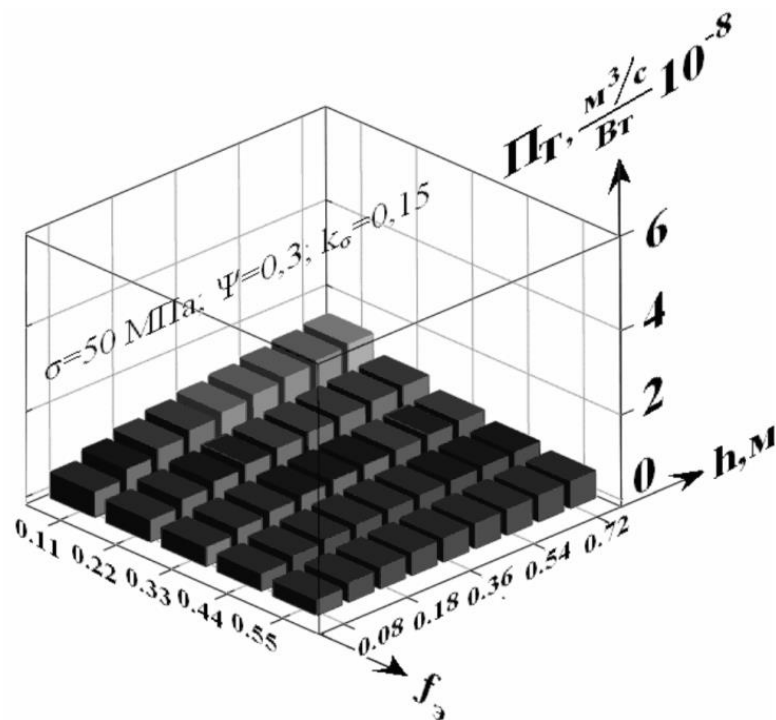


Рис. 4. Результати моделювання питомої технічної продуктивності кар'єрного фрезерного комбайну для міцних крихких порід: h – висота шару, що фрезерується; σ – міцність породи; f – ефективний коефіцієнт тертя.

Висновки. Встановлено, що схема відпрацювання фрезерним комбайном за формою, подібною до концентричного еліпсу повністю задовольняє існуючим гірничо-технічним умовам більшості родовищ вапняку на Україні. Зважаючи на гірничо-технічні, гірничо-геологічні умови родовищ та технологічні можливості (область використання) кар'єрних комбайнів фрезерного типу, невибухова технологія виймання гірських порід є найбільш доцільною. Для подальшого обґрунтування технології відробки вапняків кар'єру рекомендова-

но фрезерний комбайн 2200 SM Wirtgen, що здійснює навантаження гірничої маси у автосамоскид модульною конвеєрною установкою.

Бібліографічний список

1. Коженевський С.Р. – Вапняк [електронний ресурс] / С.Р. Коженевський // - Режим доступу: <http://www.uram.donetsk.ua>
2. Сафронов В.П., Зайцев Ю.В. Эффективность использования оборудования для реализации безвзрывных технологий добычи известняков и доломитов. Тула: Изд-во ТулГУ. 2009. -99 с.
3. Иванов В.В. Технология открытой разработки известняковых месторождений с использованием карьерных комбайнов // М.: Горный журнал, №27, 2010, с. 54-61.
4. Пташник Ю.П. Обоснование технологии разработки месторождений для использования выработанных пространств известняковых карьеров в строительстве / Пташник Юлия Павловна. – Красноярск, 2015. – 145 с.
5. Губенко, А.А. Современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных комбайнов для безвзрывной послойной выемки прочных пород. / А.А. Губенко, Ле Бинь Зыонг, А.А. Грабский, И.В. Петров // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2010. № 7. С. 24-30.
6. Репин, Н.Я. Выемочно-погрузочные работы: Учеб. Пособие. – 2-е изд., стер. / Н.Я. Репин, Л.Н. Репин // М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 267 с.: ил. (Процессы открытых горных работ)
7. Штейнцайнг, Р.М. Штейнцайнг, К.Ю. Анистратов // - М.: НТЦ Горное дело, 2005. – С. 298-318.
8. Шемякин С.А., Иванченко С.Н., Чебан А.Ю., Еренков А.В., Мамаев Ю.А. Оценка производительности выемочных машин непрерывного действия // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 5. С. 13-17.
9. А. Ю. Чебан. К вопросу об определении производительности карьерных комбайнов в различных условиях эксплуатации // горный журнал. 2013. №2. С. 30-34.
10. Дребенштейдт К., Песслер С. Методика расчета для горных комбайнов // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2006». Дніпропетровськ: Нац. Гір. Ун-т, 2006. С. 26-32.

UDC 504.3.054

*O. Kofanov Ph.D. in Engineering Sciences, Ph.D. in Economics, Senior Lecturer,
O. Kofanova Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Chemical Sciences, Professor, Professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

ENVIRONMENTAL RISK EVALUATION FROM DIESELS FOR MINING ENTERPRISES WORKERS

The environmental load on the enterprise territories, as well as on the workers health caused by emissions of exhaust gases from heavy diesels was investigated. High level of the environmental risk from heavy diesels operation was identified. It was proposed to modify the motor fuel properties by special fuel compositions.

Досліджено екологічне навантаження на території гірничих підприємств, а також на здоров'я працівників, спричинене викидами вихлопних газів від важких дизелів. Виявлено високий рівень екологічного ризику від експлуатації важких дизелів. Запропоновано змінити властивості моторного палива за допомогою спеціальних паливних композицій.

Introduction. A growing body of evidence shows that increased concentrations of toxic substances in the lower atmosphere layers are formed by emissions, for example, of such human

activities as the fossil fuels combustion. And this problem becomes more and more severe from year to year.

The mining industry is one of the largest sectors of the Ukrainian economy, that plays an important role and employs about 236 thousand workers in 2017 [1], the majority of them are male ages 25 to 54.

But mining is also one of the most dangerous industries for workers. Heavy equipment excavators, tractors, dozers, motor graders, loaders, bulldozers are used on mining enterprises. So, one of the serious hazards for mining workers includes emissions of exhaust gases from heavy diesels and other types of special-purpose diesel machines. So, the assessment of the ecological risk is one of the quantitative criteria of the safety of mining enterprises workers.

The analysis of researches and publications. Some years ago we were in the dark about the massive amounts of toxic substances being released every year during the diesel vehicles operation. So, today many national and foreign researchers and investigators analyzed the hazardous impacts of diesel vehicles on the roadside territories and on the human health [2–5]. Advantages of the alternative fuels have been analyzed in [6] and greenhouse gas emissions – in [7–9]. Some papers [10, 11] have been devoted to motor fuels modification by additives and special agents. The impact of vehicles and mining enterprise special-purpose machines on the environment and human health has been analyzed in [12, 13].

The purpose of the work is to estimate the environmental risk for mining enterprise workers caused by heavy diesels exhaust gases components, as well as to predict hazardous effects on workers health from heavy diesels operating by motor fuel modifying by special fuel compositions.

Materials and research results. Exhaust gases of mining diesels consist of such toxic substances as carbon monoxide, soot, nitrogen oxides, unburnt hydrocarbons, etc. That is why it is very important to estimate the safety distances from mining enterprises roads.

Emissions depend on the type of diesel vehicle, its capacity, technical conditions, climate, motor fuel quality, physical and chemical characteristics of the transported material, etc. The diesels emissions are hazardous for the environment, human health and alive organisms.

Figures 1, 2 show us the dispersion fields of such hazardous exhaust gases components as particulate matter (PM) and nitrogen oxides (in terms of nitrogen dioxide NO_2) emitted by a heavy diesel vehicle, the KrAZ-257B1 operating within a pendulum route.

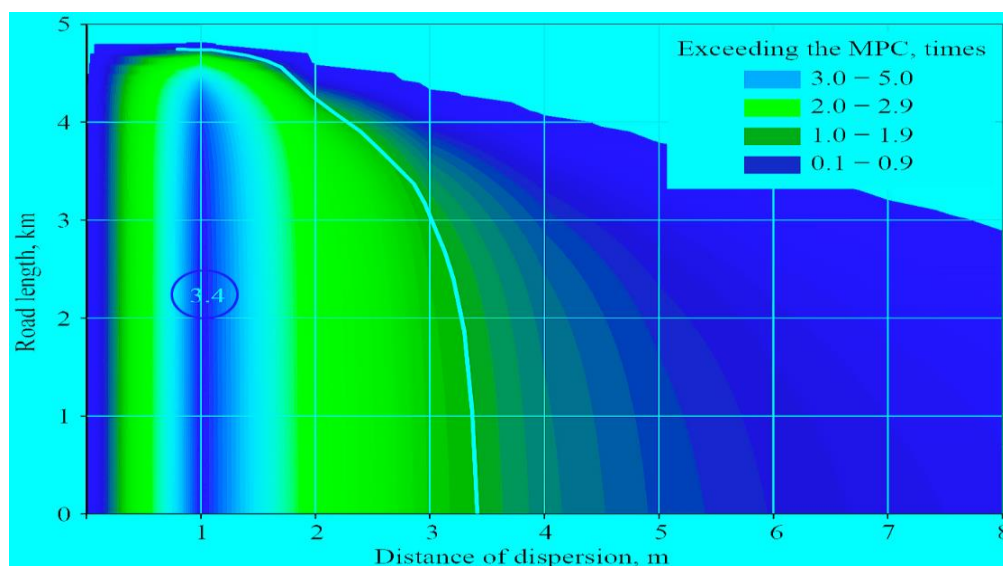


Fig. 1. Dispersion fields of PM within the highway section at N-wind which speed is 5 m/s without taking into account additional load by heavy diesels of a mining enterprise.

It is well known that both operational, ecological and economic parameters of diesels depend on quality of motor fuel [14]. Change of its properties by adding specific fuel compositions (additives) is perspective method of improving fuel quality. But these fuel additives should not

harm fuel facilities of the vehicle.

So, for the aim of improving operational, ecological and economic parameters of heavy diesels used by mining enterprises, we proposed the oxygenates additives in combination with surfactants. The developed fuel composition is of detergent-dispersing, anticorrosion and antioxidant action [13, 15].

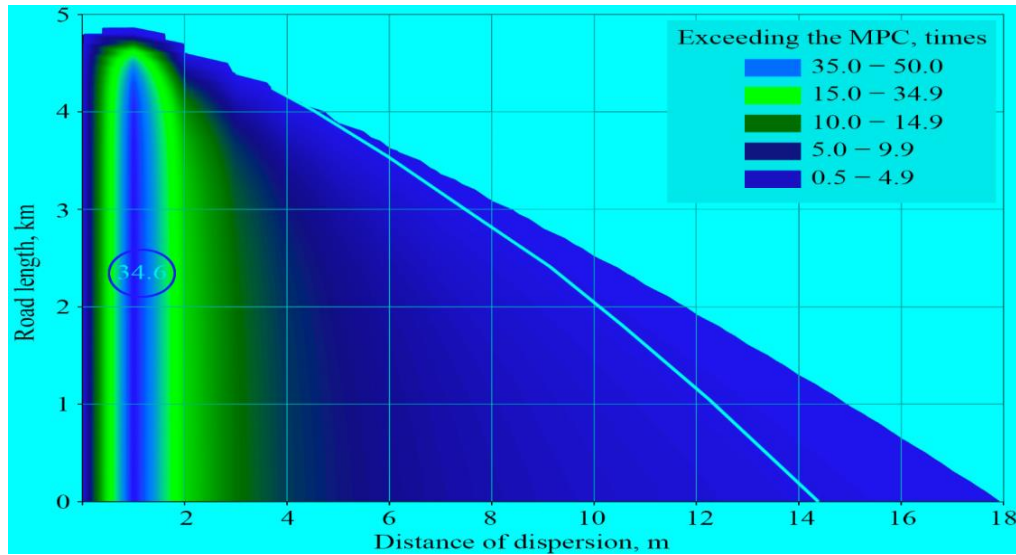
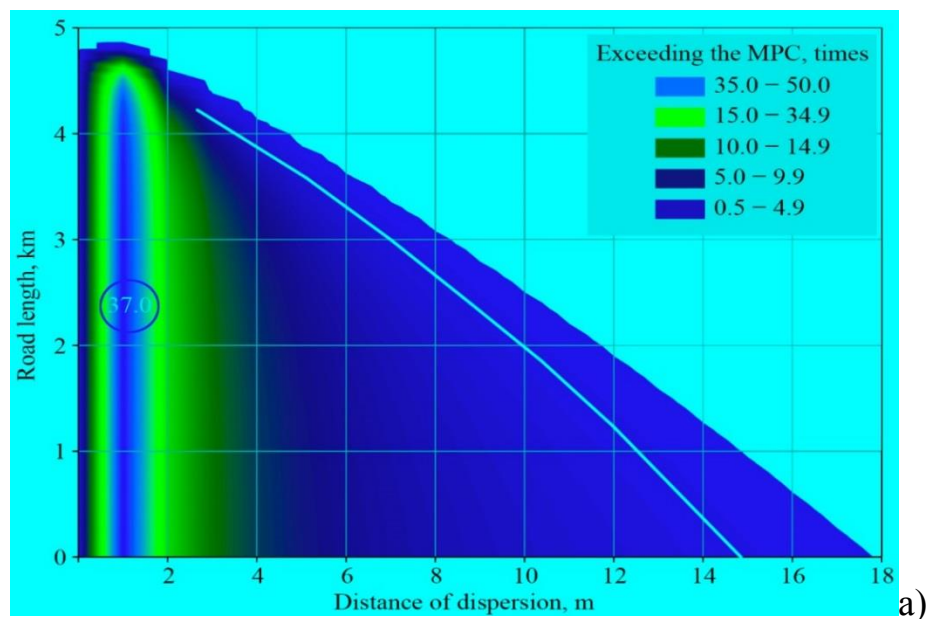


Fig. 2. Dispersion fields of nitrogen oxides (in terms of nitrogen dioxide NO_2) within the highway section at N-wind, which wind speed is 5 m/s without taking into account additional load by heavy diesels of a mining enterprise.

Figure 3 demonstrates us dispersion fields of the pollutants after hypothetic use of the developed additive added to a traditional fuel as 0.05 – 0.20 % vol. So, after such hypothetic use of the developed additive to traditional motor fuel the lower levels of the maximum permissible single concentration exceeding can be observed. And safe toxicant concentration was achieved at shorter distances from the highway.



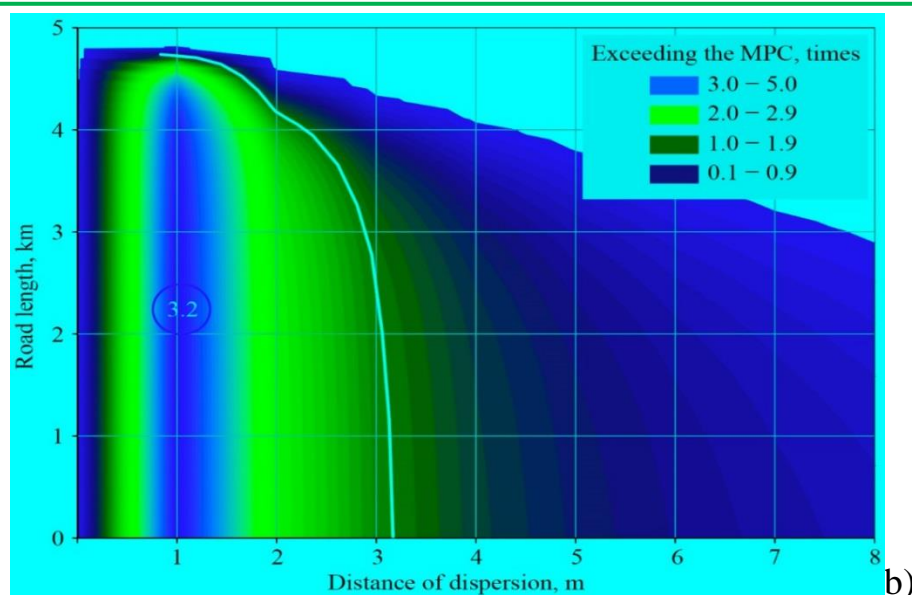


Figure 3. Dispersion fields of: a) nitrogen oxides (in terms of nitrogen dioxide NO_2), b) PM within the highway section taking into account hypothetical addition of developed fuel composition (the N-wind with 5 m/s speed).

Conclusions:

1. The environmental load on the enterprise territories, as well as on the workers health caused by emissions of exhaust gases from heavy diesels was investigated.
2. By the mathematical models the environmental risk evaluation of mining enterprises workers safety was determined. And high level of the environmental risk from heavy diesels operation was identified.
3. It was proposed to modify the motor fuel properties by special fuel compositions both with surface-active and antioxidant complexes. The reduction of the safe distances for mining enterprises workers (within which safe concentration levels of the analyzed toxicants can be observed) were achieved.

So, the results may be used to improve ecological safety of the mining enterprises workers and minimize the ecological risks from heavy diesels operating.

References

1. Безпека та гігієна праці у гірничодобувній галузі та вугільній промисловості в Україні. *International Labour Organization*: веб-сайт. URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-budapest/documents/publication/wcms_670768.pdf (дата звернення: 21.05.2021).
2. Eastwood P. Particulate emissions from vehicles. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2008. 513 p. DOI: 10.1002/9780470986516.
3. Voloshkina O., Sipakov R., Varavin D., Anpilova Ye., Kryvomaz T., Bereznitska J. Pollution of atmospheric air above the city highways. 2018, v. 2, Issue 4, *USEFUL online journal* <https://useful.academy> ISSN 2574-4461 (online) DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-2-4-2018-0002>. P. 9–25.
4. Blanco-Rodriguez D. Modelling and observation of exhaust gas concentration for diesel engine control London: Springer Int. Publ, 2014. 197 p. DOI: 10.1007/978-3-319-06737-7.
5. Pope C. A., Dockery D. W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect *J. Air Waste Manage Assoc*, 56 (2006), P. 709–742.
6. Rajagopal D., Zilberman D. Environmental, economic and policy aspects of biofuels. New Publishers Inc, 2008. 115 p.
7. Baklanov A., Molina L. T., Gauss M. (2016). Megacities, air quality and climate. *Atmospheric Environment*, 126, 235–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.059>.
8. Peel J. L., Haeuber R., Garcia V., Russel A. G., Neas L. Impact of nitrogen and climate change interactions on ambient air pollution and human health *Biogeochemistry*, 114 (2012), P. 121–134.
9. Robinson M A., Olson M. R., Liu Z. G., Schauer J. J. The effects of emission control strategies on

light-absorbing carbon emissions from a modern heavy-duty diesel engine. *J. Air Waste Manag Assoc.* 2015 Jun;65(6):759–66. DOI: 10.1080/10962247.2015.1005850.

10. Патрахальцев Н. Н. Регулирование ДВС методом изменения физико-химических свойств моторного топлива. *Транспорт на альтернативном топливе.* 2010. № 3 (15). С. 26–32.

11. Wcislo G. Determination of the impact of FAME biocomponent on the fraction composition of diesel engine fuels. *Combustion Engines.* 2013. Issue 154(3). P. 1098–1103.

12. Yara S. Tadano, Guilherme C. Borillo, Ana Flávia L. Godoi, Amanda Cichon, Thiago O. B. Silva, Fábio B. Valebona, Marcelo R. Errera, Renato A. Penteado Neto, Dennis Rempel, Lucas Martin, Carlos I. Yamamoto, Ricardo H. M. Godoi. Gaseous emissions from a heavy-duty engine equipped with SCR after-treatment system and fuelled with diesel and biodiesel: Assessment of pollutant dispersion and health risk. *Sci Total Environ*, v. 500–501, 1 December 2014, P. 64–71.

13. Kofanov O., Vasylykevych O., Kofanova O., Zozul'ov O., Kholkovsky Yu, Khrutba V., Borysov O., Bobryshov O. Mitigation of the environmental risks resulting from diesel vehicle operation at the mining industry enterprises. *Mining of Mineral Deposits.* 2020. 14(2). С. 110–118. DOI: 10.33271/mining14.02.110

14. Karavalakis, S. Pouloupoulos, E. Zervas Impact of diesel fuels on the emissions of non-regulated pollutants *Fuel*, 102 (2012), P. 85–91.

15. Synergism of stable nitroxyl radicals and amines during the oxidation process of motor fuels and oils at increased temperatures / [O. Vasylykevych, O. Kofanov, O. Kofanova, K. Tkachuk] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2017. – N 6/6 (90). – P. 4–9; DOI: 10.15587/1729-4061.2017.118784.

УДК 624.1

М.Ю. Мусихін, аспірантка, С.М. Стівник, к.т.н., доц., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКРАНУ З БУРОВИХ ТРУБ, ЯК МЕТОДУ БОРОТЬБИ З ОСІДАННЯМ МЕТРОТУНЕЛЮ

Розглянуто метод боротьби з осіданням тунелів під час їх експлуатації. Проведений чисельний аналіз методу обслуговування тунелю із застосуванням екрану з бурових труб. Наведені ефективні заходи зменшення просідання ґрунту навколо тунелю метрополітену.

Ключові слова: метрополітен, тунель, осідання, просідання, деформації, екран з бурових труб, бурові труби.

Вступ. Під час розробки тунелів у нестійких ґрунтах можливе просідання ґрунту та самої конструкції тунелю. Для запобігання цього необхідно покращити властивості ґрунту. Для набуття стійкості торцевих частин тунелю під час проведення земляних робіт в місцях з пухких ґрунтів, в місцях з відсутністю адгезії, у водонасичених ґрунтах доцільно використовувати метод екрану з бурових труб.

Вперше метод зонтової арки (рис. 1) був використаний на початку шістдесятих років ХХ століття у Бельгії для будівництва станції метро Антверпен. В подальшому цей метод широко застосовувався в Америці та Японії для будівництва тунелів малого діаметру та станцій метрополітену мілкового закладання. Саме цей метод забезпечує безпеку під час буріння тунелю та є доступним з економічної точки зору в порівнянні з іншими методами [1].

Аналіз літературних джерел. Експлуатація метротунелів призводить до осідання конструкцій та оточуючого ґрунтового масиву, але розвиток наукових досліджень дозволяє об'єктивно оцінювати можливість вирішення цієї проблеми. Ефективність застосування екрану з бурових труб полягає в зміцненні склепіння тунелю та боротьбі з осадкою.

З аналізу досліджень [2] можна виділити три категорії застосування екрану з бурових труб:

- 1) Метод ін'єкції субгоризонтальним способом: (вдосконалена технологія стійкості) та спосіб ущільнення ґрунтів. При помірному тиску впорскування цементної суспензії у дрібнозернисті та середньозернисті ґрунти, але існують обмеження хімічних методів впорскування: високі витрати та екологічні ризики; при високому тиску відбувається більша проникність суспензії, а також забезпечується рівномірне змішування суспензії та частинок ґрунтів. Застосовується в широкому діапазоні ґрунтів;
- 2) Метод екрану з інжекційними сталевими трубами(застосовується при земельному з'єднанні порід навколо тунелю; у цьому способі можливість проникнення затірки в землю низька, тому впорскування розчину спрямоване на заповнення проміжків між трубами та ґрунтом, щоб поліпшити контакт. В поверхневих і глибоких тунелях можна застосовувати як нагнітальні, так і розривні труби;
- 3) Метод покрівельної трубки (попереднє зміцнення конструкції тунелів), виконується за допомогою встановлення сталевих труб великого діаметру навколо фронту буріння. Таким чином сталеві труби розміщують всередині землі, а потім заливають затіркою або бетоном. Цей метод підходить для ґрунтів з дуже низькими статичними властивостями та у тунелях мілкового закладання).

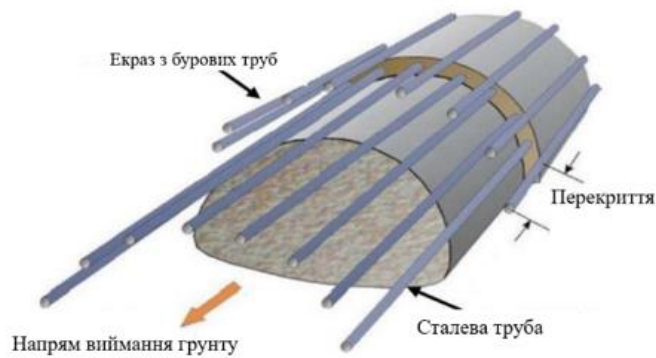


Рис.1– Модель застосування екрану з бурових труб

Мета роботи. Розробка методу чисельного аналізу обслуговування тунелю із застосуванням екрану з бурових труб.

Матеріали і результати дослідження. При чисельному аналізі (рис. 2) в розрізах постійна вертикаль на поздовжній осі розглядається як контроль; після моделювання бурових операцій та покрокового встановлення опорних систем було виміряно інтеграцію коронки та днища тунелю.

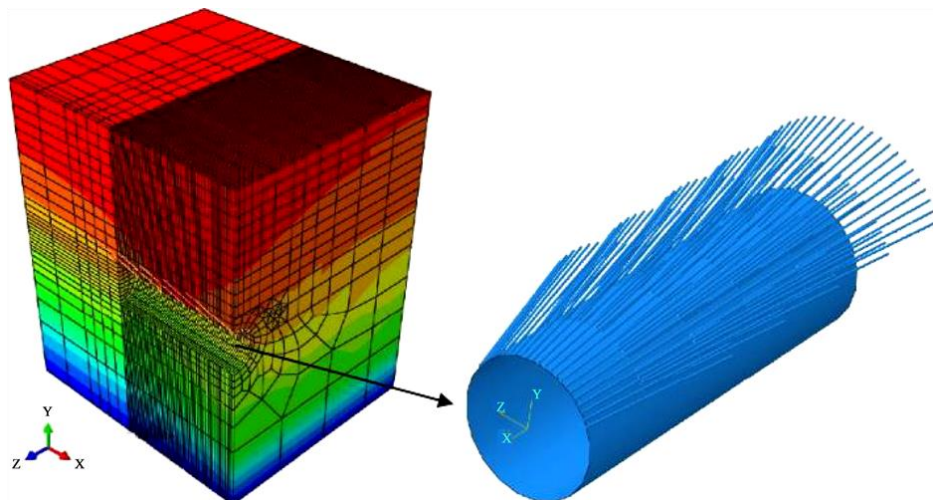


Рис.2 – Чисельний аналіз конструкції метротунелю з застосуванням екрану з бурових труб

Дослідження екрану з бурових труб стосуються впливу інжекції пучка на зменшення зсуву та просідання ґрунтів навколо тунелю. У цьому методі стабілізація свердловинної поверхні здійснюється шляхом створення екрану з бурових труб, так що концентрація напру-

жень зменшиться в передній та кінцевій частині поверхні тунелю, рівень напружень, спричинений буровими операціями, буде під контролем, і в кінцевому підсумку деформація не відбудеться. Що стосується результатів досліджень, коли дуга з бурових труб використовується як несуча конструкція, то це може значно зменшити просідання ґрунтів. Згідно з результатами, ця підтримка ефективніше зменшує тривалість просідання. Враховуючи, що ефективні вертикальні напруження на трубах залежать від жорсткості конструкції та ґрунтів, зменшення діаметру труб змінить їх жорсткість, що відіграє значну роль у підвищенні стійкості тунелю. Зі збільшенням діаметра труб та їх кількості до оптимального значення деформація та просідання ґрунтів зменшаться[3].

Бібліографічний список

1. Park, J.J., Cho, I.S. and Lee, S.W. (2012) Tunnel Reinforcement by Using Pressure-Induced Inflatable Pipes Method. *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138, 1483-1491. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000725](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000725)
2. Umbrella arch method performance, structural behavior and design elements utilizing in collapsing zones. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-020-09266-y>
3. Hisatake, M. and Ohno, S. (2008) Effects of Pipe Roof Supports and the Excavation Method on the Displacements above a Tunnel Face. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, 120-127. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2007.02.002>

УДК 622.271

Д.І. Пилипчук, студент, Т.В. Косенко, ст.викл., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ МАЛИШЕВСЬКОГО РОДОВИЩА

Проведено лабораторне дослідження фізико-механічних властивостей розкритих порід Малишевського родовища. Найбільша увага приділена міцнісним характеристикам, оскільки з точки зору стійкості укосів вони є визначальними. Запропоновано чотири варіанти відвальних сумішей, для яких були проведені випробування. На основі отриманих результатів запропонована схема вкладання цих порід у відвали.

A laboratory study of the physical and mechanical properties of overburdened rocks of the Malyshevsky deposit was carried out. The greatest attention is paid to strength characteristics because from the point of view of slope stability they are decisive. Four variants of dump mixes for which tests were carried out are offered. Based on the obtained results, a scheme of embedding these rocks in dumps is proposed.

Вступ. У теперішній час питання стійкості бортів кар'єрів і відвалів є одним з найбільш актуальних. Для вирішення цих питань потрібно ретельно вивчати фізико-механічні властивості порід, що складають укоси. В даній роботі вивчалися властивості розкритих порід Малишевського рутил-циркон-ільменітового родовища. На Малишевському родовищі руда представлена переважно кварцевим глинистим піском. Рудний пласт покривають розкриті породи досить великої потужності, яка складає приблизно 55-60 м. Розкриті породи

представлені головним чином суглинками лесовидними, глинами бурими і червоно-бурими, глинами сіро-зеленими, піском дрібнозернистим. Родовище відпрацьовується екскаваторним способом з розташуванням розкривних порід у виробленому просторі. Для вирішення питань стійкості бортів внутрішніх відвалів і прохідності гірничих машин були вивчені фізико-механічні і компресійні властивості літологічних різностей та відвальних сумішей. В ході лабораторних досліджень визначалися: вологість, щільність, межі пластичності, пористість, гранулометричний склад, кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення.

Основна частина. Основні фізичні характеристики порід (щільність, природна вологість, гранулометричний склад) визначалися згідно ГОСТ 5180-2015, ГОСТ 12536-2014 [2, 3]. За отриманими в результаті лабораторних досліджень даними розраховувалися щільність в сухому стані, пористість, коефіцієнт пористості, коефіцієнт водонасичення, повна вологоємність. Фізико-механічні властивості ґрунтів непорушеної структури наведені в табл.1.

Головною метою дослідження було вивчення міцнісних характеристик відвальних порід, оскільки стійкість укосів відвалів залежить від опору порід зсуву. В піщаних та інших рихлих породах внутрішніми силами опору зсуву є сили внутрішнього тертя, в зв'язних породах внутрішніми силами крім тертя є сили зчеплення. Найбільш часто порушення стійкості гірських порід на схилах і укосах відбуваються в періоди інтенсивного зволоження атмосферними та іншими водами. В ці періоди змінюється фізичний стан порід і відповідно різко знижується опір зсуву. Тому випробування на зсув проводилися за природної вологості та при додатковому зволоженні.

Таблиця 1. Фізико-механічні властивості порід непорушеної структури

Найменування ґрунтів	Вологість, ум.од	Щільність, г/см ³	Щільність частинок ґрунту, г/см ³	Коефіц. пористості, ум.од.	Число пластичності	Кут внутр. тертя, град	Питоме зчеплення, МПа
Суглинки лесовидні	0,168	1,87	2,68	0,68	0,118	21	0,068
Піски дрібнозернисті слабоглинисті	0,215	1,92	2,68	0,70		28	0,025
Глини червоно-бурі, бурі	0,287	1,80	2,70	0,95	0,20	20	0,094
Глини сіро-зелені	0,233	1,91	2,72	0,79	0,23	22	0,050
Каоліни кори вивітрювання	0,277	1,92	2,66	0,77	0,116	16	0,014

Випробування зразків на зсув проводилися для отримання характеристик опору порід зсуву у відвалах з різним ступенем вологості та навантаження. Випробування порід природного непорушеного складу проводилися в лабораторних умовах за схемою швидкого зсуву [4], проби порід відбиралися з діючого кар'єру (табл.1). Порооди порушеної структури досліджувалися за схемою неконсолідовано-недренованого випробування [4], дослідження проводилося для порід різної вологості від незначно зволжених до водонасичених. Нормальні навантаження на породи порушеної структури при зрізах варіювалися від 0,05 до 0,7 МПа в залежності від вологості .

Крім випробування окремих різностей порід в лабораторних умовах проводилися дослідження сумішей порід, що складають нижній і верхній розкривні уступи. Співвідношення різних порід в суміші відповідає їх процентному співвідношенню в уступі. Суміші порід досліджувалися за схемою неконсолідовано-недренованого випробування [4] при нормальних навантаженнях від 0,05 до 0,5 МПа. Склад відвальних сумішей наведений в табл. 2.

Таблиця 2. Склад відвальних сумішей

№ п/п	Порода	Назва суміші			
		№1	А	Б	В
1	Суглинок лесовидний	-	75,0	15,0	7,7
2	Глина бура і червоно-бура	-	25,0	55,0	30,8
3	Пісок дрібнозернистий	67,0	-	-	15,4
4	Глина сіро-зелена	33,0	-	30,0	46,1

Для оцінки міцнісних характеристик розраховані коефіцієнт внутрішнього тертя та питомого зчеплення для кожної j -ї точки досліджуваного зразка ґрунту. Обчислення проведені за методом найменших квадратів за результатами не менше 3-х значень опору ґрунту зрізу τ_i при різних значеннях нормального напруження σ_i :

$$tg\varphi_j = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2} \quad (1)$$

$$C_j = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2} \quad (2)$$

де n – кількість випробувань [4, 5].

Аналіз результатів проведених випробувань показує, що зі збільшенням вологості порід і їх сумішей міцність суттєво погіршується, а саме зменшується кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення. За отриманими результатами побудовані залежності кутів внутрішнього тертя і питомого зчеплення від вологості для відвальних сумішей №1, А, Б, В.

Результати випробувань суміші №1, що містить 67% сарматських дрібнозернистих пісків і 33% сарматських сіро-зелених глин, наведені на рис.1. За результатами порівняння міцнісних характеристик відвальної суміші №1 за природної вологості виходить, що додавання сіро-зелених глин до дрібнозернистих пісків знижує кут внутрішнього тертя від $27,9^\circ$ до $20,5^\circ$, а питоме зчеплення знижується від 0,0514 до 0,0363 МПа. Додаткове зволоження суміші приводить до різкого падіння міцнісних характеристик: кут внутрішнього тертя зменшується до $14,5^\circ$, а питоме зчеплення знижується на 44 %.

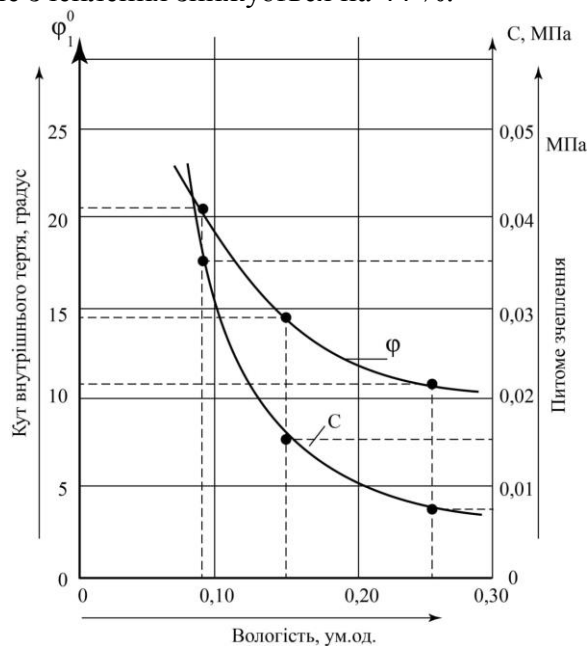


Рис. 1. Графік залежності кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення від вологості (суміш №1)

Суміш А моделює склад верхнього розкривного уступу, що містить 75% лесовидних суглинків та 25% червоно-бурих глин (рис. 2). В результаті додаткового зволоження також спостерігається зниження міцнісних характеристик, але в порівнянні з сумішшю №1 характер зміни більш плавний і абсолютна величина зниження менша.

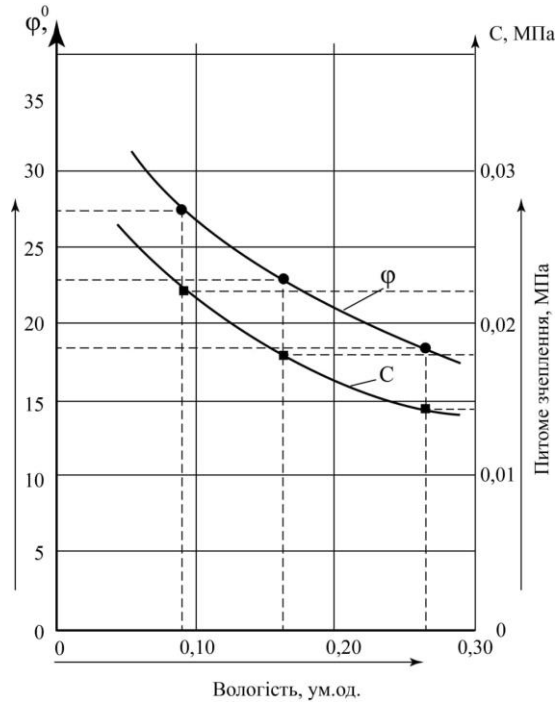


Рис. 2. Графік залежності кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення від вологості (суміш А)

Аналіз результатів випробувань міцнісних характеристик суміші Б показує зниження кута внутрішнього тертя в 2,7 разів і величини питомого зчеплення в 1,3 рази в результаті зволоження (рис.3)

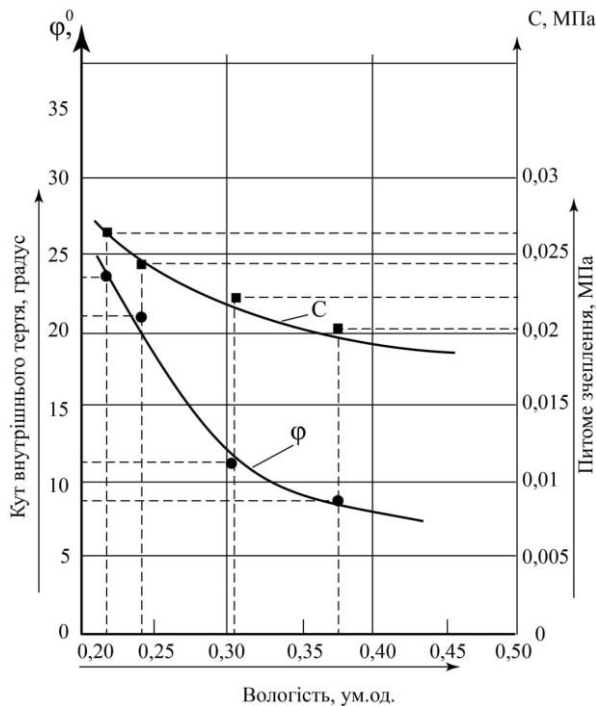


Рис. 3. Графік залежності кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення від вологості (суміш Б)

Представлена суміш В моделює нижній розкривний уступ висотою 32 м. Аналіз залежності, що наведена на рис. 4, показує зниження кута внутрішнього тертя від 25,1° до 11° та

питомого зчеплення від 0,044 МПа за природної вологості до 0,0048 МПа за вологості 0,214 ум.од.

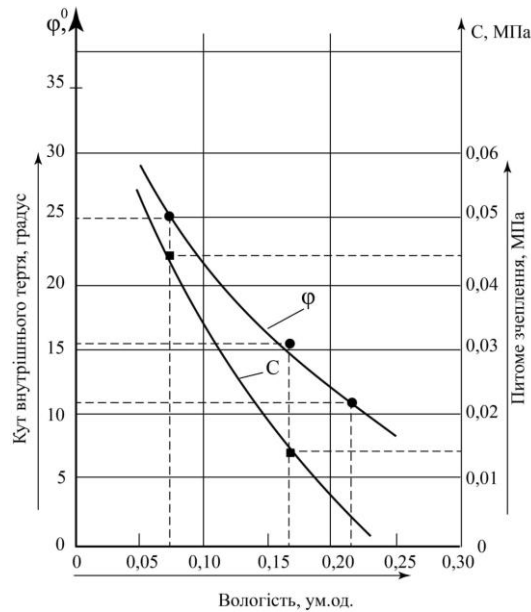


Рис. 4. Графік залежності кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення від вологості (суміш В)

Висновки. Аналіз результатів лабораторних досліджень міцнісних характеристик відвальних сумішей показав, що найкращими міцнісними показниками характеризується суміш А, оскільки зниження кута внутрішнього тертя і зчеплення в результаті зволоження найменше. Ці породи пропонується вкладати в верхній ярус відвалу. В нижній ярус пропонується вкладати породи суміші В. Запропонована схема укладання порід у внутрішні відвали з точки зору стійкості укосів потребує подальшого вивчення та виконання розрахунків стійкості укосів. Після чого вона може бути оптимізована. Це є метою подальших наукових досліджень.

Бібліографічний список

1. Отчет о НИР "Обосновать параметры горно-транспортного оборудования для разработки Мотроновского месторождения титановых руд", Днепропетровск, 2003.
2. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик
3. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава
4. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости
5. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 127 с.
6. Попов В.Н. Управление устойчивостью карьерных откосов: Учебник для вузов/ В.Н. Попов, П.С. Шпаков, Ю.Л. Юнаков. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2008. – 683 с.

UDK 622.1.35

Б. Сагало, студент, Л. Марчук, аспірант, М.А. Шукюров, PhD, В.Г. Кравець, проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗОНИ ПОДРІБНЕННЯ НА РІВНІ НАБІЙКИ В УМОВАХ МАСОВИХ ВИБУХІВ НА ГІРСЬКИХ СХИЛАХ

Розглянуто вплив комплексу параметрів буропідричних робіт в умовах масового вибуху на кар'єрі на послідовність і механізм руйнування шару породного масиву в області набійки. В якості пошукуваних параметрів прийнято висоту уступу, тип ВР, діаметр і довжину заряду. Для проектування раціональних параметрів мережі свердловинних зарядів в умовах масового вибуху досліджено зв'язок цих параметрів з очікуваним виходом негабаритної фракції та проявами крайового ефекту на рівні набійки, де через можливий підвищений вихід негабариту застосовується обережна техніка висаджування

Вступ.

Вивчення крайових явищ при вибуху свердловинного заряду обмежених розмірів свідчить, що за умови миттєвого ініціювання заряду одночасно по обох його торцях осьова симетрія силового поля вироджується в центральну [1]. Це явище спостерігається на відрізках до 50 радіусів заряду і супроводжується помітними (до 35-40%) енергетичними втратами вибуху. Величина торцевої частини заряду визначається лише діаметром заряду. Тому при скороченні його довжини в реальних умовах підривання на схилах механічний ефект вибуху в більшій мірі формується ослабленими кінцевими ділянками лінійного заряду. Розробляючи способи управління механічним ефектом вибуху в крайових ділянках свердловинного заряду, слід враховувати особливості роботи заряду в нижній і верхній його частинах. Нижня торцева частина відповідає за зону перебуру. Енергетичні втрати в ній можна компенсувати шляхом підсилення заряду потужним ініціатором (бойовиком), або застосуванням спеціальних засобів. Оскільки верхній торець заряду підривається в умовах неповного камуфлету, його підсилення загрожує зростаючим розкиданням окремих кусків. В зв'язку з цим способи керування крайовим ефектом на рівні набійки слід будувати лише на взаємодії суміжних зарядів в групах.

Аналіз літературних джерел

В області набійки, в зоні нестійкого керування якістю подрібнення можливості інтенсифікації процесу обмежуються небезпекою некерованого розкидання окремих кусків породи, особливо в умовах розробки родовищ на гірських схилах, де висота уступу і довжина свердловинного заряду в значній мірі диктуються кутом нахилу поверхні схилу, що може сягати 45° . Згідно з даними аналізу відомих наукових розробок і практики буропідричних робіт [2], в останні роки особлива увага приділяється можливостям управління детонаційним процесом в подовженому заряді, як найбільш поширеному в практиці гірничої справи. До конструктивних особливостей подовженого заряду в першу чергу відносять діаметр і принцип розосередження заряду, параметри перебуру і набійки, поєднання різних типів ВР в заряді, параметри і місце розташування проміжного ініціатора та ін.. Рідше використовується метод управління конфігурацією фронту детонаційної хвилі, що впливає на геометрію і послідовність взаємодії полів напружень в руйнованому масиві.

Прийоми формування поля напружень і деформацій в масиві полягають в замиканні продуктів детонації шляхом застосування спеціальних форм і матеріалів набійки, використанні багатоточкового ініціювання, розосередженні подовженого заряду, застосуванні конусоподібних вставок [3-7] та ін.. Така різноманітність методів свідчить про важливість досліджуваного питання, досі не вирішеного повністю.

В останні роки серйозна увага приділяється застосуванню економічно конкурентних сумішевих ВР з низькою швидкістю детонації, найбільш придатних для застосування в обе-

режних методах підривання. Це особливо важливо в умовах гірських схилів, де через зміну рельєфу в межах одного руйнованого блоку є потреба в зменшенні висоти розроблюваних уступів. Підривні роботи виконуються системою коротких свердловинних зарядів, в яких істотно негативну роль відіграють негативні торцеві явища..

За мету в роботі поставлено виконання комплексу досліджень, пов'язаних з обґрунтуванням раціональних параметрів масових вибухів свердловинних зарядів обмеженої довжини.

Матеріали і результати досліджень. Виходячи з розглянутої концепції про роботу торцевої частини свердловинних зарядів в приповерхневому шарі порід в режимі помірнього спущення ($n=0,6$), кероване подрібнення в першу чергу можливе або в межах кожної воронки спущення, або в спільній зоні за умови взаємного накладання цих воронки, де показник дії вибуху n визначається як відношення верхнього радіуса воронки r до глибини закладання заряду W (середини торцевої частини або центру рівновеликого сферичного заряду). В залежності від проектної відстані між суміжними зарядами ці воронки можуть частково чи повністю перекриватись, або існувати окремо. Від цього залежить, яка частина масиву на рівні набійки буде зруйнована в режимі спущення.

Повну площу між суміжними зарядами в області набійки позначимо символом S , а площу породного блоку між суміжними зарядами, не зачеплену воронками спущення позначено в табл. 1 та на рис. 1 символом ΔS (як вірогідну зону виходу негабариту). Розрахунки цієї величини виконано для фіксованих вихідних параметрів БВР [5,6], а саме, висоти уступу в діапазоні 5...10 м, діаметра заряду в діапазоні 105...215 мм, 3-х типів ВР, які суттєво відрізняються за фізико-механічними та детонаційними характеристиками. В табл. 1 приводяться абсолютні значення шуканої площі ΔS та її відносні до загальної площі блоку S значення в %.

Таблиця 1. Площа елементів міжсвердловинного породного блоку на рівні набійки

Вихідні параметри		площа S та ΔS для різних типів ВР в м ² та в %%					
		ЕВР		Грамоніт 79/21		ANFO	
Н, м	d_{CB} , мм	м ²	%	м ²	%	м ²	%
10	105	12,63	100	10,86	100	9,32	100
		6,37	50,4	5,46	50,27	4,62	49,55
	155	23,34	100	17,8	100	17,46	100
7	105	12,0	51,35	9,23	51,85	8,93	51,15
		37,22	100	18,72	100	26,4	100
	19,4	52,12	10,0	53,22	13,71	52,0	
5	105	10,88	100	9,7	100	8,19	100
		5,55	51,0	4,93	50,8	4,13	50,48
	155	19,03	100	17,8	100	14,69	100
5	105	9,9	52,0	9,35	51,85	7,59	51,67
		28,2	100	25,6	100	22,65	100
	15,0	53,0	13,46	52,54	11,9	52,6	
5	105	9,05	100	8,03	100	7,18	100
		4,67	51,63	4,13	51,43	3,58	49,73
	155	17,78	100	13,83	100	11,74	100
5	105	9,34	2,55	7,3	52,73	6,16	52,5
		23,3	100	18,72	100	17,42	100
	12,41	53,3	9,96	53,22	9,45	54,2	

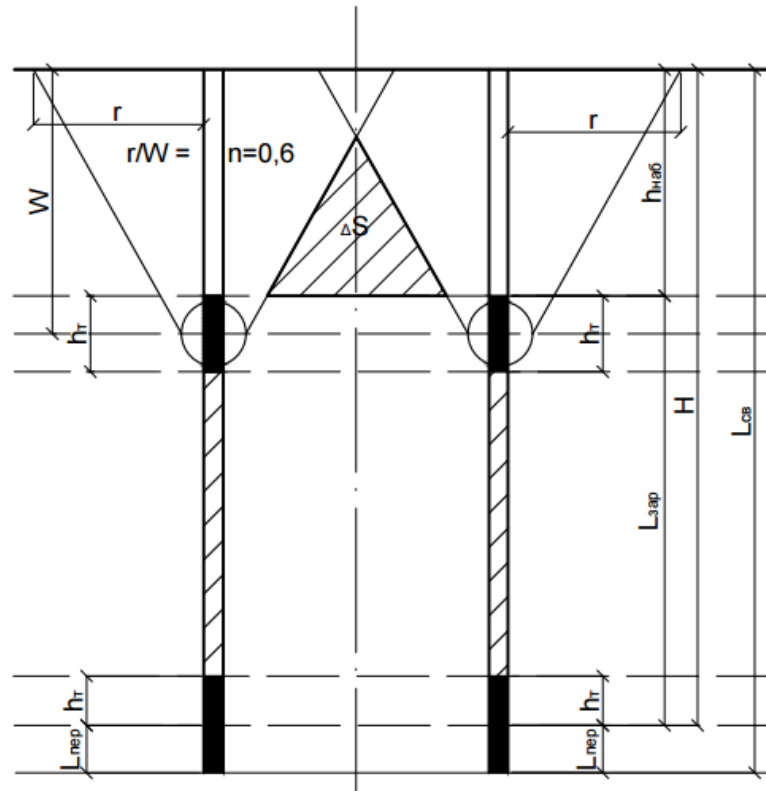


Рис. 1. Схема взаємодії суміжних зарядів на рівні набійки

Як видно з аналізу даних табл. 1, відносна площа серединної зони ΔS у відсотках практично мало залежить від розглянутих популярних параметрів масового вибуху, в тому числі і від висоти уступу, хоча деяка тенденція її зростання із збільшенням діаметра заряду помічається. Разом з тим в абсолютному вираженні площа цієї зони суттєво скорочується не лише при зменшенні діаметра заряду і висоти уступу, але і в зв'язку з призначенням типу ВР. Цей факт може мати вирішальне значення для вибору промислової ВР свердловинного заряду, а саме – ANFO. Застосування цієї найпростішої ВР максимально зменшує (до $3,58\text{ м}^2$) площу виходу негабаритної фракції для діаметра заряду 105мм проти максимального значення $6,37\text{ м}^2$ при застосуванні ЕВР та висоті уступу 10м, чи понад $4,0\text{ м}^2$ при застосуванні ЕВР або грамоніту при тому ж діаметрі заряду. Це спостереження, основане на розрахунку ступеня впливу торцевих ефектів на рівні набійки на сумарний руйнуючий ефект вибуху в системі свердловинних зарядів, є вагомим аргументом для призначення в якості промислової ВР вибухового складу на основі нітрату амонію - ANFO.

В механізмі руйнування підповерхневого шару породи не виключена роль первинного чинника – поля напружень від вибуху торцевих частин зарядів. Цей чинник завжди присутній, створюючи попередні умови для руйнування масиву. Його вплив описано в роботі [8], в якій детально розглянуто роль хвильової фази в руйнуванні приповерхневого шару породи на рівні набійки. Автори розглянули структуру і параметри прогнозованої області руйнування вибухом свердловинного заряду діаметром 250мм при глибині набійки 6,0м та дійшли висновку, що цю область руйнування під дією хвильового чинника (хвильової фази) можна поділити на 2 зони – зону подрібнення з радіусом 1,25м та зону радіальних тріщин, що поширюється на відстань 3,4м або 27,2 радіуси заряду.

Висловлено думку, що на більшому віддаленні від верхнього торця заряду недоступно інтенсивності падаючих та відбитих хвиль напружень для подрібнення породи на куски [8].

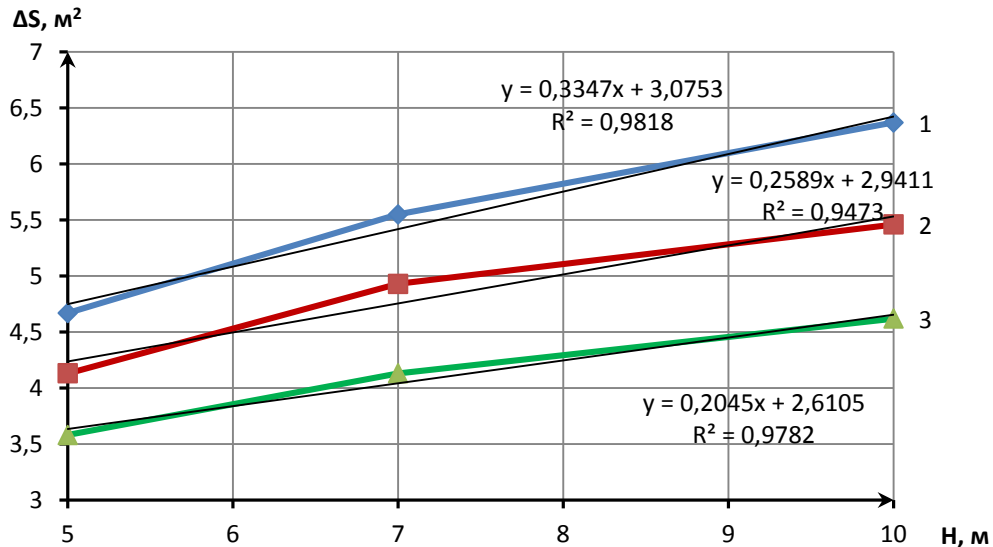


Рис.2 Залежність площі ділянки вірогідного утворення негабаритної фракції від висоти уступу для зарядів діаметром 215мм (1), 155мм (2), 105мм (3)

Зрозуміло, що ці типи хвиль задіяні в «передруйнуванні» масиву, тобто в розвитку існуючих та формуванні системи нових мікротріщин під дією прямих стискуючих хвиль та відбитих хвиль розтягнення. Однак насправді в залежності від положення в заряді досліджуваного елемента в динаміці розвитку механічного ефекту вибуху може переважати одна із наступних фаз вибуху:

- випромінювання і поширення силового фронту (хвильова фаза),
- формування вибухової порожнини або камуфлетна фаза, що супроводжується зародженням системи радіальних тріщин,
- масові зрушення слідом за хвилею напружень (квазістатична фаза),
- взаємодія зустрічних або послідовних різношвидкісних масових потоків (фаза зіткнення).

Названі фази в динаміці розвитку загального деформаційного процесу присутні на кожній ділянці заряду, але їх вага в кожному технологічному елементі може змінюватись. З найбільш дискусійних і проблемних ділянок свердловинного заряду обрано його торцеві ділянки і саме для них виконано основний масив досліджень. Слід розглянути аналогічні питання в умовах взаємодії зарядів в системі. Відповідно можна представити основні моменти, що відображають етапи впровадження у виробництво виконаних розробок.

В подальшому з певною затримкою в часі в цій області масиву вступає в дію так звана «квазістатична» фаза вибухового процесу. Вона виглядає як спущення породи в межах воронки викидання в торцевих частинах свердловинних зарядів та як взаємні масові переміщення в міжзарядному просторі на рівні набійки після проходження силових фронтів. В залежності від застосованої схеми комутації мережі в умовах масового вибуху ці фронти та відповідні масові зрушення в зоні дії суміжних зарядів можуть діяти або одночасно, або послідовно з мілісекундними сповільненнями. Ці зрушення завершують підготовчу роботу вибуху в попередніх фазах і визначають об'єм і якість руйнування масиву на рівні набійки..

Висновки

Сумарне силове поле від миттєвого вибуху суміжних свердловинних зарядів формується з втратою енергії через деградацію симетрії розходження хвиль напружень в його торцях. Енергетичні втрати на рівні нижніх торців суміжних зарядів компенсуються шляхом застосування потужного бойовика та застосування спеціальних конструктивних прийомів, що сприяють зміні орієнтації зустрічних силових потоків вздовж площини підшви уступу.

При нижньому розміщенні проміжного ініціатора з комутацією вибухової мережі на основі системи типу Нонель енергетичні втрати силового поля на рівні верхніх торців сумі-

жних зарядів зменшуються на 30-40%, ізолінії силового поля зберігають загальну осьову симетрію, покращуючи умови руйнування масиву на рівні верхніх торців.

Комплексними розрахунками відносної величини торцевих ділянок свердловинного заряду з використанням популярних в практиці вихідних параметрів зарядів та їх розташування в системі масового вибуху встановлено, що серед цих параметрів тип ВР практично не впливає на прояви крайового ефекту подовженого заряду, який визначає величину енергетичних втрат на рівні торців, що досягають 12,5% відносно усього заряду діаметром 215мм при висоті уступу 5м та зменшуються до 5,5% для заряду діаметром 105мм і висоті уступу 10м.

Встановлено, що однозначно незалежно від довжини заряду для зменшення енергетичних втрат через торцеві ефекти слід віддавати перевагу зарядам діаметром 105мм, а з техніко-економічних міркувань – зарядам ANFOу водозахисних оболонках чи рукавах.

Теоретично та розрахунково доведено, що енергії суміжних свердловинних зарядів недостатньо для повного подрібнення верхнього приповерхневого шару порід на рівні набійки в камуфлетному та хвильовому режимі. Аналіз розрахункових даних свідчить, що величина неруйнованої області масиву на рівні набійки між суміжними воронками спущення практично не залежить від висоти уступу, але помітно скорочується в абсолютному вимірі при зменшенні діаметра заряду та використанні промислової ВР типу ANFO.

Бібліографічний список

1. Орленко Л.П. Фізика взрива /Л.П. Орленко/ – Изд. 3-е, испр. – В 2-х т. Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 656 с.
2. Кравець В.Г. Підривні роботи на кар'єрах/ В.Г.Кравець, В.Д.Воробйов, А.О.Кузьменко/. - К., НДО Віпол, 1994. - 375 с.
3. Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми/Кравець В.Г., Шукюров А., Гонтарь П.В., Ган А.Л., Коробійчук В.В./ Вісник ЖДТУ, №2(82)-2018.-С.247-252
4. Луговий П.З. Про вибух бойовика в торцевій частині свердловинного заряду/П.З.Луговий, В.Г.Кравець, Н.Я.Прокопенко, А.М.Шукюров/ Прикладна механіка, т.57 (67), №1, лютий, 2021.-С.44 - 53
5. Кравець В.Г. Енергетичні втрати вибуху свердловинних зарядів в умовах гірських схилів/Кравець В.Г., Шукюров А.М., Марчук А.Л./Геоінженерія, Вип.4.-2020.-С.33 – 43.
6. Ган А.Л. Розробка ефективних параметрів системи свердловинних зарядів для руйнування гірського масиву на рівні набійки/ А.Л.Ган, А.М.Шукюров, С.А.Турбінський/ Вісник ЖДТУ, №1(83)-2019.-С.242-248
7. Technological applications of border effects by hole charges system explosion/ V.Kravets, A.Shukurov, R.Zakusylo, A.Kovtun/ Materialy Wysokoenergetyczne. 2019.11(2)-S.21-30
8. Казаков Н.Н. Разрушение породы камуфлетной и волновой фазами взрыва в верхнем слое карьерного уступа/ Н.Н.Казаков, А.В.Шляпин/ Горный информационно-аналитический бюллетень.-2015.- С.103-123.

УДК 696.13

М.А. Бовкунович, студент, Г.І. Гайко, д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ТИПІВ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ ДЛЯ УМОВ ПРАВОБЕРЕЖНОГО КИЄВА¹

Розкриті актуальні питання розвитку каналізаційних мереж у межах правобережного Києва. Проаналізовані основні конструктивні типи каналізаційних колекторів (залізобетонних, металевих та полімерних). Розкриті перспективи широкого застосування полімерних труб та показана методика їх розрахунку в програмному продукті ATV 127, розробленому робочою групою експертної комісії німецького об'єднання з проблем водного господарства стічних вод.

Topical issues of sewerage networks development within the right-bank Kyiv are revealed. The main structural types of sewer collectors (reinforced concrete, metal and polymer) are analyzed. Prospects for the widespread use of polymer pipes are revealed and the method of their calculation in the software product ATV 127, developed by the working group of the expert commission of the German association for wastewater management, is shown.

Вступ. Водовідведення та очистка стічних вод є одним із важливих напрямків, розвитку підземної інфраструктури, який вирішує завдання збору та відводу за межі міст і промислових підприємств використаних і відпрацьованих вод, значною мірою мінімізує екологічні ризики урбаністичного простору. Постійний розвиток каналізаційних систем великих міст потребує широкого застосування ефективних конструкцій і технологій їх монтажу. Сучасна промисловість будівельних матеріалів забезпечує велике розмаїття ефективних матеріалів і будівельних конструкцій, проте визначальним критерієм їх вибору у багатьох замовників залишається виключно ціна виробів. Комплексний підхід до цього питання, врахування системних переваг та недоліків різних конструкцій, умов їх застосування та ефективних проєктних (розрахункових) рішень дають більш надійні та ефективні можливості вибору. Саме цим можна пояснити високу динаміку зростання обсягів застосування полімерних труб у каналізаційних системах європейських міст, не зважаючи на їх більшу, у порівнянні з традиційними конструкціями, вартість.

Аналіз літературних джерел.

Регулювання міського розвитку з метою підвищення екологічних стандартів і безпеки життєдіяльності в постійно зростаючих мегаполісах є однією з найбільш актуальних і водночас недостатньо досліджених та складних для розв'язання світових проблем [1]. Сучасні міста з великою площею висотної забудови, високою щільністю та чисельністю населення можуть існувати тільки за наявності сучасних систем водопостачання та водовідведення [2, 3]. Тривалий час основними конструкціями каналізаційних колекторів залишались залізобетонні та металеві (сталеві та чавунні) труби великих діаметрів, проте в останні десятиріччя в країнах ЄС домінування в цьому напрямі поступово перейшло до полімерних конструкцій. Різноміснні дослідження підземних полімерних колекторів і пластикових труб у країнах Західної Європи активно проводились з 1970-х років, коли заводи-виробники почали масове виробництво і широке впровадження трубних полімерних конструкцій в будівництві підземних інженерних мереж [4, 5]. В Україні, Росії та інших країнах колишнього СРСР значні обсяги застосування полімерних трубних колекторів спостерігаються з початку 2000-х років, що значною мірою пов'язано з будівництвом відповідних трубних заводів [6, 7]. Важливість питання зумовила навіть вихід виробничого журналу «Полімерні труби – Україна», який присвячено питанням технологій і матеріалів, виробництву та застосуванню, ринковій аналітиці

¹ У рамках проєкту Національного фонду досліджень України 2020.01/0247

та міжнародним досягненням у галузі полімерних труб. Особливо значення для ефективного проектування полімерних конструкцій колекторів мають розрахункові обґрунтування міцності, жорсткості та стійкості конструкцій для умов будівництва [3], що знайшло практичне втілення в програмному продукті ATV 127, розробленому робочою групою експертної комісії німецького об'єднання з проблем водного господарства стічних вод (узгоджений з вітчизняними нормативними документами [8, 9]).

Мета. Метою роботи є аналіз конструктивних типів каналізаційних колекторів, як альтернативи типовим металевим і залізобетонним конструкціям, а також аналіз методів їх розрахунку.

Матеріали і результати досліджень.

Розглянемо основні переваги та недоліки основних конструктивних типів каналізаційних трубних колекторів. Залізобетонна труба має наступні переваги: тривалий період експлуатації (бл. 70 років), відносно стійка до перепадів температур; гарні діелектричні параметри та відносно невелика вартість (1 погонний метр труби діаметром 1000 мм коштує бл. 2,8-3 тис. грн.), промисловість будівельних матеріалів давно освоїла й масово випускає ці конструкції. Недоліки: крихкість і ламкість при ударах, велика вага; можливі корозійні ушкодження; підвищена вартість транспортування, трудомісткість і тривалість монтажу, який потребує застосування спеціальної техніки; складність стиковки елементів, обмежене застосування для транспортування агресивних речовин, складність ремонтів, адгезійні властивості бетонної труби затримують осад, утворюючи нижній шар нечистот. Чавунна труба характеризується надійністю й тривалим строком експлуатації (бл. 80 років); проте має велику вагу; крихкість матеріалу при ударах; велику трудомісткість і вартість монтажу, складність стиковки елементів та ремонту конструкцій, а також велику вартість самої конструкції (1 погонний метр труби діаметром 1000 мм коштує бл. 15 тис. грн.). Полімерна (поліетиленова) труба «КОРСИС» має наступні переваги: стійкість до агресивного середовища, не піддається впливу каналізаційних газів; не затримує осад, «не заростає» під час експлуатації; мала вага (у 8-10 разів менша ніж чавунні та залізобетонні труби); здатність надійно витримувати змінні навантаження від ґрунту; висока герметичність з'єднання; легкість і можливість багатократного монтажу; низька вартість монтажних робіт (різьбові з'єднання стиків); простота ремонту або заміни труб. До недоліків відносять відносно високу вартість (1 пог. м труби – 5,5–5,8 тис. грн., горючість матеріалу (при горінні виділяються шкідливі речовини); під дією ультрафіолету становляться крихкими та розшаровуються; мають найбільшу величину розширення серед усіх існуючих аналогічних матеріалів, що потребує монтажу компенсаційних пристроїв (фітінгів), які можуть потребувати обслуговування. Переваги полімерних конструкцій сприяють їх переважному вибору будівельними організаціями та замовниками робіт (рис. 1), причому більш висока вартість конструкцій значною мірою компенсується меншими витратами на транспорт і монтаж та швидкими темпами будівництва колектору.



Рис. 1 – Монтаж ділянок каналізаційного колектору (полімерні труби «КОРСИС»)

Для підтвердження умов міцності і стійкості конструкції колектора (діаметром 1000 мм з глибиною закладання 5,5 м у геологічних умовах першої надзаплавної тераси правого берега р. Дніпро) була використана демоверсія програми ATV 127 (розробник – Експертна комісія німецького об'єднання з проблем водного господарства стічних вод, ФРН). Алгоритм і результати розрахунку наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Алгоритм і результати розрахунку трубного колектора

Вихідні дані	Позначення	Формула	Значення	Од. ви- мір
Труба				
Зовнішній діаметр	D_3		100	см
Внутрішній діаметр	$D_{вн}$		85,1	см
Момент інерції профілю стінки	I		0,232	см ⁴ /см
Еквівалентна товщина стінки	S	$S = \sqrt[3]{12I}$	1,41	см
Розрахунковий діаметр	D	$D = D_{вн} + 2s$	87,91	см
Матеріал				
Тимчасовий модуль пружності	E_0		900	МПа
Коефіцієнт Пуассона	μ		0,32	
Границя текучості про розтяганні	ω		22,5	МПа
Довготривалий модуль пружності	E_T		200	МПа
Грунт				
Питома вага ґрунту засипки траншеї	$\gamma_{гр}$		18	кН/м ³
Модуль деформації ґрунту в пазах траншеї	$E_{гр}$		16	МПа
Глибина закладання до верху труби	$H_{гр1}$		4,5	м
Глибина закладання до осі труби	$H_{гр2}$	$H_{гр2} = H_{гр1} + D_3/2$	5	м
Висота ґрунтових вод над поверхнею труби	$H_{г.в}$		0	м
Коефіцієнти				
Коефіцієнт, що враховує ущільнення ґрунту	K_α		0,75	
Коефіцієнт, що враховує запізнення овалізації перерізу трубопроводу	K_T		1	
Коефіцієнт ущільнення ґрунту	K_γ		1	
Коефіцієнт прогину, що враховує якість підготовленої основи	K_w		0,11	
Коефіцієнт, що враховує кільцеву жорсткість труби	$K_{ж}$		0,15	
Коефіцієнт, що враховує вплив ґрунту на овалізацію труби	$K_{гр}$		0,06	
Коефіцієнт запасу на овалізацію труби	K_3		1	
Коефіцієнт запасу стійкості оболонки на дію зовнішніх навантажень	$K_{3у}$		3	
Коефіцієнт, що враховує овалізацію труб під дією внутрішнього тиску трубопроводу	$K_{ок}$		1	
Коефіцієнт, що враховує глибину закладання трубопроводу	n		1	

Розрахунок труби на міцність				
Навантаження від тиску ґрунту	$q_{гр}$	$q_{гр} = \gamma_{гр} \cdot H_{гр2}$	0,085	МПа
Навантаження від тиску ґрунтових вод	$q_{гв}$	$q_{гв} = \gamma_{гв} \cdot H_{гв}$	0,000	МПа
Навантаження від транспорту	$q_{т}$	$q_{т} = GS$	0,0068	МПа
Сумарне зовнішнє навантаження	q_c	$q_c = q_{гр} + q_{гв} + q_{т}$	0,0918	МПа
Короткочасна кільцева жорсткість	G_0	$G_0 = 53,7 \cdot E_0 \cdot \frac{I}{1-\mu^2} \cdot (DS)^3$	0,0193	МПа
Довготривала кільцева жорсткість	G_T	$G_T = 53,7 \cdot E_T \cdot \frac{I}{1-\mu^2} \cdot (DS)^3$	0,00043	МПа
Відносне вкорочення вертикального діаметра під дією ґрунтового тиску	$\varphi_{гр}$	$\varphi_{гр} = K_{OK} \cdot K_T \cdot K_w \cdot \frac{q_{гр}}{K_{ж} \cdot G_0 + K_{гр} \cdot E_{гр}}$	0,0097	
Відносне вкорочення вертикального діаметра під дією транспортного навантаження	φ_T	$\varphi_T = K_{OK} \cdot K_y \cdot K_w \cdot \frac{q_T}{K_{ж} \cdot G_0 + K_{гр} \cdot E_{гр}}$	0,0008	
Відносне вкорочення вертикального діаметру в процесі складування	φ_m	Див. примітку в стовбці «Значення»	0,04	
Відносне вкорочення вертикального діаметру труби в ґрунті	φ	$\varphi = \varphi_{гр} + \varphi_T + \varphi_m$	0,0505	ОК!
Коефіцієнт, що враховує овальність труби	$K_{ОВ}$	$K_{ОВ} = 1 - 0,7\varphi$	0,9647	
Максимальна деформація розтягнутого матеріалу в стінках труби під дією тиску ґрунту і транспорту	ε_p	$\varepsilon_p = 4,27 \cdot K_w \cdot \varphi K_3 \cdot \frac{s}{D}$	0,0026	
Ступінь стиснення матеріалів в стінках труби під дією тисків ґрунту і транспорту	ε_c	$\varepsilon_c = q_c \cdot \frac{D}{2 \cdot E_0 S}$	0,0032	
Деформація розтягання матеріалу стінки труби в умовах релаксації	ε_{pp}	$\varepsilon_{pp} = \frac{\omega}{E_t K_a}$	0,09	
Деформація розтягання матеріалу в умовах повзучості	$\varepsilon_{рп}$	$\varepsilon_{рп} = \frac{\omega}{E_0 K_a}$	0,09	
Перевірка умов міцності труби		$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{pp}} + \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{рп}} \leq 1$	0,1882	
Перевірка стійкості оболонки труби		$(K_{уг} K_{ОВ} (n E_{гр} G_T)^{\frac{1}{2}} / (0,5 y K_{3y})) \geq q_c$	0,0986	МПа
Результат розрахунку:				
Умова міцності виконується	Труба підходить для заданих умов			
Умова стійкості виконується				

Висновки. Зростаючі темпи впровадження полімерних конструкцій у підземному будівництві, зокрема для систем каналізаційних колекторів, спираються на комплексні переваги та досвід країн ЄС. Зарубіжні програмні продукти для розрахунку полімерних труб за своїм алгоритмом відповідають нормативним документам України і можуть бути широко впроваджені в проектну практику. Приклад розрахунку свідчить про виконання умов міцності та стійкості колектора при кільцевій жорсткості труби SN8. Типорозмір вітчизняних полімерних труб за жорсткістю – до SN16, що дозволяє успішно використовувати їх на глибині до 10 м і забезпечує широку область застосування.

Бібліографічний список

1. Гайко Г.І., Савченко І.О., Вапнічна В.В. Морфологічна модель розвитку підземної інфраструктури великих міст для мінімізації екологічних і техногенних ризиків урбаністичного простору// Геоінженерія. – 2020. – №4. – С. 7 – 18.
2. Деркач І.Л. Міські інженерні мережі. - Харків: ХНАМГ, 2006. - 97 с.
3. Абрамович И. А. Сети и сооружения водоотведения. Расчет, проектирование, эксплуатация / И. А. Абрамович. – Харьков : Коллегиум, 2005. – 288 с.
4. Proceedings of the International Conference on Underground Plastic Pipe. March 30 - April 1, Neworleans, Lousiana, 1981.
5. 5 th. International Conference Plastic Pipes. Neslington, 8-10 Sept., 1982, London.
6. Захарченко П.В., Гайко Г.І. Прогноз розвитку інфраструктури Києва в короткотерміновій перспективі// Перша міжнародна науково-практична конференція «Регіональна політика: законодавча політика і практична реалізація». – Київ: КНУБА, 2015. – С. 25 – 33.
7. Отставнов А.А., Сладков А.В., Устюгов В.А. О применении полимерных труб в московской самотечной канализации// Сантехника, 2006. - №2. – С. 22-29.
8. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – [Чинний від 2014–01–01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 210 с.
9. ДСТУ В.2.5-32:2007. Труби безнапірні з поліпропілену, поліетилену, непластифіцйованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для зовнішніх мереж каналізації будинків і споруд та кабельної каналізації. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2007.

УДК

Д.В. Юденко , магістр, С.М. Стівник, к.т.н., доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПРОХОДЖЕННЯ ЩИТА В МЕГАПОЛІСІ І ЙОГО ВЛПИВ НА ПРОСІДАННЯ ГРУНТУ

Метою роботи є аналіз впливу прохідницького щита на геологію мегаполісів, їх просадку та як уникнути серйозних диформацій.

В час розширення великих міст мегаполісів така річ як метрополітен дуже поширена, а отже і її вплив на навколишнє середовище також. Страждають історичні пам'ятки, будівлі, споруди, офіси тощо. Задля запобігання просіданню ґрунту було прийнято рішення дослідити та аналізувати види прорахунків й оцінки.

Першим методом було взято емпіричний метод, який широко застосовується в Україні та за межами країни. Він має як плюси так і мінуси. Він дозволяє на попередньому етапі проектування швидко і з достатньою точністю визначити параметри мульди просідання. А ось недоліком є можливість їх застосування тільки для певних визначених інженерно-геологічних умов і способів спорудження тунелів. Це обмежує, а в деяких випадках виключає можливість використання емпіричних формул для розрахунку параметрів мульди просідання.

Другим методом було обрано аналітичний метод. Також поширений метод обчислення в світовій практиці. Вони дозволяють отримати швидко і достатньою точністю оцінки просідання поверхні ґрунту при проходці тунелів щитовим способом в слабких ґрунтах, в тих випадках, коли пластичні деформації в мічці вироблення малі.

Й останнім методом було обрано чисельний метод – найновітній. Задля реалізації аналізу та обчислення просідання він виконується в наступних програмних комплексах: PLAXIS, MATLAB і MathCAD. Ці програмні комплекси давно не нові та широко використовуються в

Україні та поза межами країни, що робить цей метод простим у використанні та точним у аналізі й наданні оцінки.

Вступ.

Актуальність теми. В останні роки керівництвом уряду України прийнято рішення про будівництво метрополітену в столиці країни в місті Києві. В умовах існуючої міської забудови виникають проблеми, пов'язані із захистом наземних споруд від впливів, що виникають як при будівництві, так і при експлуатації тунелів метрополітену. У місті Києві велика кількість старовинних будівель, історичних пам'яток. Особливу історичну цінність представляють царські будинки побудовані в стародавні часи. Через велику кількість в місті цих величезних споруд можна без перебільшення сказати, що будь-яка проєктована траса метрополітену буде проходити під старовинними спорудами, або в безпосередній близькості від них. Ці споруди особливо уразливі і не розраховані на техногенні впливи, які можуть проявлятися у вигляді осад поверхні ґрунту і, отже, викликати переміщення фундаментів. Іншими небезпечними техногенними впливами є коливання і вібрації, що створюються ріжучими механізмами щитових комплексів. Навіть незначні вібрації поверхні ґрунту можуть пошкодити стародавні споруди. При будівництві метро в місті Києві передбачається використовувати щитовий спосіб спорудження тунелів.

Вирішення питань оцінки техногенних впливів на навколишнє середовище при проходці тунелів щитовим способом, а саме, визначення осад поверхні ґрунту, а також оцінка динамічних впливів робочих механізмів щита на споруди, що знаходяться в близькості від споруджуваних ліній для умов міста Київ, є необхідним та актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Інформація щодо просідання ґрунту внаслідок проходження тунелю метрополітена щитом була озвучена та продемонстрована на міжнародній науково-технічній конференції «Особливості освоєння підземного простору та підземної урбанізації в великих містах мегаполісах», 2008 р, Прага, Чехія. Було підняте питання щодо просідання ґрунту під час проходження щитом в мегаполісах, але подальшого розгляду та аналізу питання не було.

Постановка завдання. Виконати аналіз існуючих методів оцінки впливу при щитовому проходженні тунелів на будівлі та споруди поблизу спорудження метрополітену. Оцінити просадку поверхні ґрунту при щитовому проходженні тунелів. Оцінити параметри динамічних впливів ріжучих механізмів щита на навколишній ґрунтовий масив.

Основна частина

Матеріали і результати дослідження.

Серед методів оцінки просідання денної поверхні ґрунту виділені наступні напрямки:

- емпіричні методи оцінки переміщень денної поверхні ґрунту, розроблені українськими та зарубіжними фахівцями;
- аналітичні рішення для оцінки переміщень ґрунту при проходженні тунелів;
- чисельні методи.

Емпіричні методи широко використовуються на практиці для оцінки деформації поверхні землі, що виникають при будівництві тунелів. Українськими вченими різних інститутів запропоновано велику кількість емпіричних формул для оцінки просадки поверхні ґрунту над тунелями.

Питаннями оцінки просідання поверхні ґрунту займалися дуже багато вчених різних країн. Серед емпіричних методів, розроблених зарубіжними вченими, слід зазначити оцінку поверхні мульди просідання з використанням функцією помилки Гаусса, яку запропонував вчений Реск (1969). В основу цього методу покладено рівність обсягу поверхневої мульди просідання ґрунту і обсягу, що заповнює простору, яке виникло внаслідок деформації оброблення тунелю. В окремому випадку при відсутності кріплення обсяг мульд дорівнює обсягу вийнятого ґрунту. Величина просідання, що виникає при проходженні тунелів, характеризується обсягом «втраченого ґрунту», яку представляють в процентах від повного обраного обсягу ґрунту.

Для заданого діаметра тунелю D , форма і величина поперечної кривої просідання залежить тільки від втрати об'єму VL і ширини мульди l_x . Параметр ширини мульди (l) визначено як відстань точки перегину кривої від осі тунелю. В роботі O'Reilly і New отримано вираз для цих параметрів для різних типів ґрунтів в залежності від глибини закладання тунелю. Ці ж автори запропонували формули для визначення горизонтальних переміщень в напрямку, перпендикулярному осі споруджуваного тунелю, і формули для визначення напруг в поверхневих шарах ґрунту. Англійські вчені Attewell, P. B., & Woodman в роботі наводять результати експериментальних вимірювань просідання поверхні ґрунту при проходці в пластичних глинах. З багатьох теоретичних і експериментальних досліджень випливає, що перед забоем в поверхневих шарах ґрунту над споруджуваним тунелем, виникають напруження розтягу, за забоем напруги стиснення. Всі компоненти переміщень і напружень, залежать від двох параметрів ширини мульди l і втрати об'єму VL .

Аналітичні методи. У змістовній роботі співробітника Азіатського Технологічного Інституту Park, K. H., (Таїланд (2005) «Analytical solutions for tunnelling-induced ground movements in clays») наводяться аналітичні рішення для оцінки просідання в глинистих ґрунтах при проходці тунелів. Для оцінки просідання поверхні ґрунту для тунелів глибокого закладання використовується рішення для пружного простору. Незважаючи на деяку суперечливість такої постановки завдання – визначення переміщення вільної поверхні по переміщенням нескінченного простору, стверджується, що теоретичні результати добре узгоджуються з експериментальними даними.

Для тунелів мілкового закладання слід зазначити аналітичні рішення Verruijt і Booker (1996), в яких враховується нерівномірна радіальна втрата ґрунту і овалізації тунельного оброблення. Loganathan і Poulos (1998) запропонували при визначенні просідання поверхні для неосушених ґрунтів використовувати коефіцієнт Пуассона, що дорівнює

$$\nu_{II} = 0,5$$

і коефіцієнт бічного тиску, що дорівнює 1.

Автором дисертації запропоновано спосіб визначення переміщень поверхні ґрунту, з використанням рішень Loganathan і Poulos, в яких замість заданих зсувів на кордоні контуру, задається тиск нагнітання за оброблення.

В останні роки широке застосування одержали чисельні методи. Для аналізу поведінки підземних споруд і конструкцій, що знаходяться поблизу споруджуваної траси метрополітену широке поширення отримав метод кінцевих елементів (МКЕ), реалізований в наступних програмних комплексах: PLAXIS, MATLAB і MathCAD.

З аналізу існуючих емпіричних і аналітичних методів оцінки просідання поверхні ґрунту при проходці тунелів, можна зробити наступні висновки:

1. Емпіричні методи і аналітичні рішення, в яких застосовуються моделі пружного простору або півпростору, широко використовуються як в Україні, так і в різних країнах світу для оцінки просідання поверхні ґрунту при проходці тунелів.
2. Емпіричні методи дозволяють на попередньому етапі проектування швидко і з достатньою точністю визначити параметри мульди просідання.
3. Недоліком емпіричних методів і формул є можливість їх застосування тільки для певних визначених інженерно-геологічних умов і способів спорудження тунелів. Ця обставина обмежує, а в деяких випадках виключає можливість використання емпіричних формул для розрахунку параметрів мульди просідання. Ці методи не дозволяють прийняти до уваги такі фактори як механічні характеристики гірських порід і особливості інженерно-геологічних умов будівництва тунелів.
4. Аналітичні рішення так само дозволяють отримати швидко і достатньою точністю оцінки просідання поверхні ґрунту при проходці тунелів щитовим способом в слабких ґрунтах, в тих випадках, коли пластичні деформації в міцці вироблення малі.
5. Існуючі аналітичні рішення дозволяють отримати інформацію про розподіл напруг і переміщень ґрунту на різних глибинах для різних ґрунтів.
6. Використовуючи існуючі аналітичні рішення можна отримати переміщення поверхні ґрунту і для процесу нагнітання розчину за тунельним обробленням.

Висновок

Аналіз і збір даних щодо просідання ґрунту внаслідок проходки щитом тунелів метрополітенів буває трьох видів. Точніший та новітній з цих методів саме чисельний метод обчислення просідання ґрунту.

Бібліографічний список

1. Aung Mo Hein, "Ocenka osadok poverkhnosti grunta pri prokhodke tonneley". Izvestiya OrelGTU.
2. Kurbatskiy E. N., Aung Mo Hein., San Lin Tun., "Rasprostranenie voln v uprugoy srede ot tochnikh istochnikov". Izvestiya OrelGTU.
3. Aung Mo Hei., San Lin Tun, "Ocenka kolebaniy poverkhnosti grunta pri shitovoy prokhodke tonnelya". Izvestiya OrelGTU.

В.В. Коробійчук, д.т.н., проф., І.В. Леонець, аспірант, Державний університет «Житомирська політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ КАМЕНЕОБРОБКИ ДЛЯ ВИБНИЦТВА КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ

Вступ. Природний камінь обробляється алмазним інструментом, як правило це дискові пили або канат з алмазним напиленням. В результаті різання утворюються шлам – дрібні відходи різання, які разом з водою попадають в шламовідстійник та осідають на його дно. Процедура очищення води від шламу це великий науковий напрям дослідження. Отже, шлами містять в собі маленький розмір частинок, близько десятків мікрометрів, і низку металевих елементів, таких як кобальт або мідь, які попадають із ріжучого диску. У той же час часто зустрічаються органічні сполуки, що надходять із мастильних матеріалів та жирів самого обладнання, що є дуже обмежуючим фактором для їх повторного використання.

Коротше кажучи, шлам - це відходи, які становлять проблему в Європі. Та ще більш серйозна проблема в таких країнах, як Україна, де екологічні норми є менш жорсткі, а шлам накопичується безпосередньо в районах, що прилягають до виробничої галузі. Ці звалища в більшості випадків не гідроізолювані і використовуються для осадження осаду під силою тяжіння та повторного використання води. Тому ці відстійники можуть спричинити значне забруднення сільського господарства, живих істот та поверхневих чи підземних вод.

На підставі викладеного вище, накопичення шламів на звалищі може призвести до забруднення поверхневих та підземних вод через їх хімічний склад, а також до серйозного впливу на рослинність через малий розмір частинок. Цю проблему намагалися вирішити шляхом повторного використання. Основними сферами повторного використання шламу були відновлення берегів, влаштування гідроізоляції або дуже обмежені роботи в цивільному будівництві. У цих операціях слід контролювати хімічний склад, оскільки висока частка елементів, що забруднюють, обмежувала б використання у перших двох варіантах, і для третього варіанту їх слід детально вивчити.

Метою даного дослідження є виявлення можливості використання шламів в якості наповнювача для керамічної цегли.

Методологія, яка використана в цій роботі, складається з серії логічно упорядкованих випробувань для оцінки придатності включення шламу в керамічні матеріали.

По-перше, і в якості основи для будь-якого дослідження включення відходів були оцінені фізичні та хімічні характеристики вихідних матеріалів. З цією метою були проведені випробування для визначення хімічного складу обох матеріалів (глини та шламу), а також фізичних властивостей, що обумовлювали їх змішування, та сумісності їх.

Згодом і, оцінивши придатність шламів та глини для виготовлення кераміки, різні групи зразків змішували між собою. В глину додавали шлам спочатку 10 % та в подальшому

збільшували на кожні 10 %. Ці зразки були змішані та спечені для подальшої оцінки їх фізичних властивостей.

Нарешті, і як головний обмежуючий фактор для правильного виконання кераміки, було проведено випробування на міцність на стиск. Всі групи зразків випробовували, оцінюючи вплив міцності на стиск із відсотком додавання шламів. На основі цього дослідження вдалося встановити максимальний відсоток включення шламу в кераміку, а також широкий спектр можливих комбінацій з різними фізичними та стійкими властивостями для окремих випадків.

Висновки:

- Шлами мають щільність, подібну до глини, що сприяє процесу змішування і, отже, його повторному використанню. Отримана щільність відображає, немає великої частки важких металів, які могли б стати екологічною проблемою.

- Індекс пластичності, нижчий ніж показник глини, відображає той факт, що шлами каменю, навіть якщо вони мають розмір частинок, подібний глині, не мають аналогічних властивостей.

- Хімічний аналіз шламів показує головним чином низький відсоток вуглецю. Це значення відображає відсутність мастильних матеріалів або жирів у процесі різання, а також відсутність органічних речовин або карбонатів.

- Рентгенівська флуоресценція кам'яних шламів відображає хімічний склад, подібний глині та отриманий із складу граніту (кварц, польовий шпат та слюда) без забруднення важкими металами або хімічними елементами, такими як сірка та хлор, що не спричиняє небезпеку використання.

- Для спікання шламів необхідна вища температура перетворення хімічних сполук, що знаходяться в шламах по відношенню до глини. Низький відсоток втрати ваги при спіканні.

- Лінійна усадка керамічних зразків менше для кераміки з шламами.

- Капілярність водопоглинання та поглинання холодної води зростає із збільшенням відсотка шламу, що відображає більш відкриту структуру з більшою кількістю пір. Ця характеристика особливо підходить для тепло- та звукоізоляційних матеріалів.

УДК 624

А.В. Кисель, студент 3 курсу, В.В. Ваннічна, к.т.н., доц., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ТЕХНОЛОГІЯ ШТУЧНОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ҐРУНТІВ

Розглянуто технологію штучного заморожування ґрунтів, визначені переваги та недоліки. Проаналізовано використання даного способу в промисловості. Наведені приклади застосування в інших країнах

Вступ. Штучне заморожування ґрунту — це техніка збільшення міцнісної характеристики ґрунту, при якій ґрунтову масу заморожують за допомогою холодильного процесу із залученням охолоджуючої рідини, яка циркулюється через морозильні труби, вбудовані в землю. Метод, як правило, використовується для стабілізації ґрунту та створення водонепроникного масиву ґрунту.

Одним з перших, хто використав технологію заморожування ґрунтів був французький інженер Фюльжанс Б'єнвеню, який в ХХ ст. був головним інженером Паризького метро. При будівництві метрополітену виникла проблема через з'єднання станцій під річкою, через те, що ґрунт був у вигляді пливуня і прорити тунель через нього не було ніякої можливості. Інженеру за допомогою саме цієї технології вдалося з'єднати станції.

В останні роки цей спосіб став одним з основних методів підземного проектування в м'яких водоносних шарах, а також для зміцнення шарів. Нині застосовується широким колом інженерних проектів, де стабільність, стан підземних вод та стримування є проблемою.

Матеріали і результати досліджень.

Для реалізації технології штучного заморожування ґрунту по контуру майбутньої виробки бурять в один або кілька рядів свердловини діаметром 200 – 250 мм із кроком до 1,5 м й на 3 – 5 м нижче позначки дна виробки. У свердловини монтують заморожувальні колонки, по трубах яких безупинно циркулює охолоджений до заданої температури теплоносій. Він через стінку заморожувальної труби відбирає тепло від ґрунту, спричиняючи його промерзання й утворення кригоґрунтового циліндра навколо труби. На початку заморожування навколо кожної колонки утворюється самостійний кригоґрунтовий циліндр. Коли радіуси окремих кригоґрунтових циліндрів у міру заморожування досягають половини відстані між колонками, починається змикання окремих кригоґрунтових циліндрів у суцільну кригоґрунтову стінку.

Як теплоносій звичайно застосовують розчин хлористого кальцію, газоподібний аміак або охолоджене до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ повітря. За певний час кригоґрунтові циліндри навколо окремих колонок з'єднуються один з одним й утворюють із замороженого ґрунту водонепроникну стіну. Від кількості води, що не замерзає залежить міцність мерзлих ґрунтів.

Найбільша міцність у заморожених гравійних ґрунтів і грубих пісків, у яких за температури, близькій до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, практично вся вода переходить у кригу. Трохи менша міцність у замороженого супіску, суглинку й глини, в яких за звичайних температур штучного заморожування міцно зв'язана вода не переходить у кригу. Заморожуванню з підвищенням міцності піддаються всі ґрунти, що містять вологу.

У загальному випадку штучне заморожування ґрунтів передбачає такі роботи: буріння свердловин, монтаж заморожувальної станції й мережі, створення кригоґрунтової стінки (активне заморожування), підтримання цієї стінки в мерзлому стані в період виконання будівельних робіт (пасивне заморожування), період танення заморожених ґрунтів.



Рис. 1. Використання методу в промисловості

Заходи щодо забезпечення якості облаштування кригогрунтових завіс звичайно передбачають:

- контроль параметрів роботи холодильних агрегатів (температура теплоносія, показання манометрів на магістралях й окремих колонках);
- контроль за температурою ґрунту в процесі його заморожування через контрольні свердловини;
- контроль рівня ґрунтових вод у гідрогеологічних свердловинах, які розташовують у зоні позитивних температур (як правило, зовні кригогрунтової стінки);
- контроль суцільності й товщини кригогрунтової огорожі (може здійснюватися за допомогою ультразвуку).

Досвід застосування в інших країнах.

У 1970-х роках спосіб вперше був застосований в метрополітені Китаю з довжиною замерзання 90 м і після цього він успішно використовується для обходу багатьох ліній метро в Шанхаї та Пекіні з 1993 р.

У 1997 році в Пекіні був проведений перший горизонтальний тунель. У 2000 році Софійський залізничний тунель (Нідерланди).

У 2001 році Великий Бостонський тунель (проведене інженерне дослідження показало, що може забезпечити стабільність, необхідну в кожному шарі ґрунту на ділянці, за нижчими витратами, ніж впровадження чотирьох різних методів поліпшення ґрунту, тому його було обрано для забезпечення стійкості торця тунелю та підтримки під'їзду тунелю).

У 2003 році на Гуанчжоуській лінії метро спосіб був використаний для зміцнення нестабільного шару.



Рис. 2. Морозильна установка в межах тунелю

Переваги. Промерзання ґрунту — надзвичайно універсальний метод тимчасового поліпшення або відсікання землі. Він застосовується для всього ґрунту за умови, що ґрунт майже насичений або повністю насичений. Якщо вміст води не є прийнятним, можна додава-

ти воду за умови, що вода не буде швидко стікати з ґрунту (Schmall and Braun 2006). Окрім того, що він застосовується для усього діапазону ґрунтів, він також застосовується до складних ґрунтових умов, включаючи великі валуни. Крім того, промерзання ґрунту може створити відрізані стіни або замерзлі маси ґрунту в різних геометріях, просто змінивши розміщення та відстань морозильних труб. Це особливо важливо під час використання тунелів, де морозильні труби встановлюються горизонтально та під різними кутами, щоб створити стійкий мерзлий ґрунт для опори тунелю та виїмки. Крім того, замерзання ґрунту, ймовірно, буде економічно вигідним, коли умови майданчика такі, що стабільність та / або стримування повинні бути досягнуті різними методами, які в поєднанні мають той самий ефект, що й застосування заморожування ґрунту окремо.

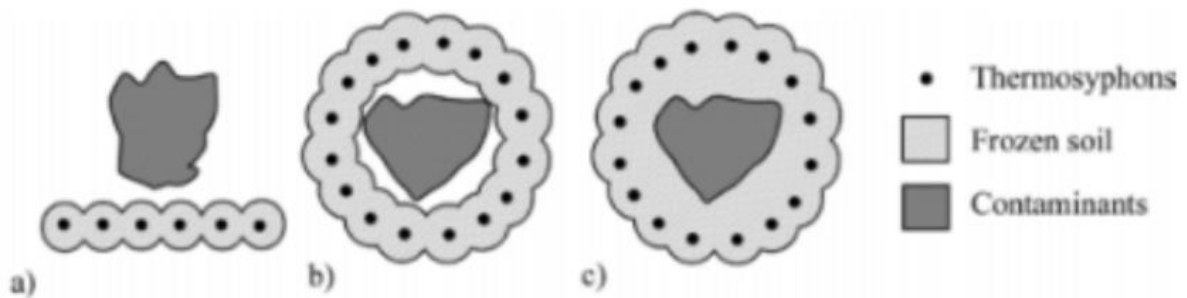


Рис. 3. Приклади конфігурацій застиглих бар'єрів (стіна, корпус, суцільний блок)

Недоліки. Заморожування ґрунту є енергомістким процесом, що вимагає охолодження великої кількості ґрунту протягом тривалого проміжку часу, що є дуже дорогим. Витрати зростають, лише якщо для швидшого промерзання ґрунту потрібен рідкий азот. Крім того, здійснення заморожування ґрунту вимагає великого моніторингу: температури теплоносія, температури ґрунту, прогинів сусідніх або прилеглих споруд, підняття та осідання на поверхні землі, солоність підземних вод, тиск у трубах промерзання (виявлення джерел), товщина замерзлої стінки та місце розташування. Можливі збої проекту можуть статися внаслідок неналежного моніторингу або встановлення. Відстань між морозильними трубами може бути такою, що застиглий стіновий бар'єр не є повноцінним, залишаючи ділянки незамерзлого ґрунту, або такий, що товщина замерзлої стінки не контролюється і стає занадто великою, створюючи непотрібні напруги на сусідні конструкції та ґрунт. Неправильне закріплення морозильних труб може спричинити витік теплоносія. Крім того, недоліком є об'ємне розширення води під час замерзання, що призводить до розбухання ґрунту та відтавання, що може пошкодити сусідні або сусідні споруди, якщо їх не контролювати і не враховувати при регулярному технічному обслуговуванні конструкції. Підняття та осідання ґрунту можуть також пошкодити обладнання, найчастіше промерзаючі труби, спричиняючи витік та потребує технічного обслуговування.

Висновок

Штучне заморожування ґрунту — це універсальна техніка для поліпшення та стійкості ґрунту. Застосування охоплює більшість типів ґрунтів, використовувався для вертикальної конструкції шахти для видобутку корисних копалин, горизонтальної стабілізації для проходки тунелів, вертикального та / або бічного утримання ґрунту, відсікання підземних вод та аварійної стабілізації за допомогою рідкого азоту. Цей метод створює непроникний, замерзлий ґрунтовий бар'єр або масу, що має вищу міцність і жорсткість, ніж незамерзлий ґрунт. Спосіб реалізується в польових умовах за допомогою мобільної холодильної установки, яка

циркулює охолоджений розсіл хлористого кальцію по морозильних трубах, відводячи тепло від ґрунту, що виконує заморожування води ґрунту. Також може бути використаний рідкий азот, проте він може випаровуватися в атмосферу, а не рециркулювати. Потрібно взяти до уваги низку конструктивних міркувань, таких як відстань між промерзаючими трубами, час замерзання, швидкість підземних вод, насиченість, солоність води, передбачуване навантаження на ґрунт та витрати. Температуру ґрунту та теплоносія, набряк ґрунту, осідання та тиск на наявні конструкції, а також морозильні труби мають важливе значення для контролю під час реалізації програми штучного заморожування ґрунту. Загалом, штучне заморожування ґрунту має широкий спектр застосувань та історію успішного застосування на місцях. Він став економічно конкурентоспроможним із традиційними методами стабілізації ґрунтів і має можливість застосовуватись до найрізноманітніших проєктів.

Бібліографічний список

1. Ground Freezing [електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.geoengineer.org/education/web-class-projects/cee-542-soil-site-improve-winter-2014/assignments/ground-freezing>.
2. Sound Transit Light Rail [електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.kellerna.com/projects/sound-transit-light-rail-northgate-link-extension>
3. How Engineers Use Ground Freezing to Build Bigger, Safer, and Deeper [електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/artificial-ground-freezing/>
4. Технологія та організація геотехнічного будівництва: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Геоінженерія»; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 160 с.

УДК 624.1

Hyrei Tuhonov, postgraduate student, Stanislav Stovpnyk, Cand. Eng. Sc., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

GEOTECHNICAL EVALUATION OF DISPLACEMENTS OF A TUNNEL-SHAFT CONNECTION DUE TO REGIONAL SUBSIDENCE CONSIDERING RIGID AND FLEXIBLE COUPLING IN STRUCTURES PROJECTED IN UKRAINE DIFFICULT SOFT SOIL CONDITIONS USING 3D NUMERICAL MODELING

In this document, the comparison, with the aid of the three-dimensional finite element method, of the long-term behavior of a tunnel-shaft connection is made from two hypotheses; the first considering the rigid connection as a monolithic concrete structure between the shaft wall and the tunnel body, and the second considering a material of elastic behavior between the two structures, resulting in a flexible connection. The linear elastic material considered was neoprene, widely used in the construction of this type of structure. The geotechnical model used, the initial piezometric conditions, and the proposed piezometric conditions to evaluate the long-term condition, as well as a summary of the tunnel and shaft characteristics and dimensions are presented. The Soft Soil Model was used to carry out the analyzes with final elements for the compressible strata. In the analysis of the results, emphasis on the relative deformations and stress concentration in the elements of the connection for each hypothesis is placed. Finally, some advantages and disadvantages of each connection alternative are discussed to face the effect of subsidence are discussed.

Keywords: Tunnel-shaft connection, rigid, flexible, soft soils, regional subsidence.

Introduction

There is evidence of damage in tunnel-shaft connections built-in soft clays. Therefore, it is

important to resort to methods that consider more specific variables to the place under study and the structures involved and in this way to predict as closely as possible the settlements and the stress distribution presented in the long term. An alternative to evaluate tunnel-shaft connections is the use of three-dimensional numerical methods, specifically, the finite element method (FEM).

In this document, the possible geotechnical behavior of a tunnel-shaft connection considering rigid and flexible coupling due to the effect of regional subsidence in Ukraine's difficult soft soil conditions are evaluated. The three-dimensional finite element is used as the principal method of analysis, through which it is possible to observe the results of deformations and stresses accumulated in the elements subjected to the effect of subsidence.

The evaluated connection refers to a float type shaft of 16 m internal diameter, and a deep tunnel of 5 m internal diameter that connects to that shaft (entrance and exit).

The objective of the article is to present the distribution of deformations and stresses in both types of connection (rigid and flexible), issuing comments and recommendations based on the comparison of obtained results.

Conclusions and recommendations

Based on the observed results of the long-term analysis, the following can be concluded:

- The flexible connection allows an additional 0.04 m of displacement compared to the rigid connection, there is a 20% increase in the displacement of the flexible connection to the rigid connection.
- Allowing these displacements with the flexible connection the stresses compared to the rigid connection are reduced with the following percentages:
 - Effective vertical stresses, σ'_{zz} : 73% in tension and 57% in compression.
 - Effective horizontal stresses, σ'_{yy} : 25% in tension and 8% in compression.
 - Shear stress, σ_{yz} : 21% in a positive direction and 74% in a negative direction. The simplified numerical modeling presented in this article allows observing a significant reduction in the stresses generated in the tunnel-shaft connection with flexible coupling with respect to the rigid one, in exchange for admitting minimum vertical displacements.

The results obtained represent numerically the advantage with the choice of flexible connections in tunnel projects; however, it is necessary to study thoroughly and put into practice the appropriate construction processes to contemplate a flexible type connection. Nowadays the soil improvement zone is the most usual for the tunnel-shaft connection entrance; however, if this subject is further investigated we can optimize the area of improvement or even replace it with a flexible connection.

References

1. Zaldivar, S. F., Rodríguez, J. F. Y Auvinet, G. (2012). "Análisis numérico de la interacción lumbrera-túnel en suelos blandos sometidos a hundimiento regional", *Memorias XXVI Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica*, Publicación SMIG, Cancún, Quintana Roo.
2. Zaldivar, S. F. (2013). Metodología de análisis y diseño de conexiones túnel-lumbrera y túnel-túnel en suelos blandos sometidos a hundimiento regional. Master degree thesis, UNAM.
3. Arnau, O. y Peña, F. (2014). "Evaluación de daños estructurales en conexión túnel-lumbrera ocasionados por asientos diferenciales", *XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, SMIE Publication, Puerto Vallarta, Jalisco.
4. Flores, F. A., Gordillo, N. O., Enríquez, O., De la Rosa, J. M., Guasch, J. C. (2016). "Evaluación del efecto por hundimiento regional en conexiones túneles-lumbreras", *Memorias XXVIII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica*, Publicación SMIG, Mérida, Yucatán.
5. Cárdenas, D. C. (2017) Análisis Numérico de la interacción de estructuras subterráneas en suelos blandos en proceso de consolidación, caso de estudio: Planta de Bombeo "Casa Colorada"; Master degree thesis, University of Brasilia.

УДК [621.311:005.61]:622.272:004.89

А.І. Купін, професор, д.т.н., завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг

О.А. Темченко, професор, д.т.н., професор кафедри економіки та підприємництва Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг

Г.В. Шиповський, с.н.с., к.т.н., Науково-дослідний гірничорудний інститут, м. Кривий Ріг

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ З ВИКОРИСТАННЯМ МОЖЛИВОСТЕЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглянуто необхідність підвищення енергоефективності сучасних гірничорудних підприємств з підземним способом розробки залізрудних родовищ. Запропоновано здійснювати прогнозування впливу конструктивних елементів і геометричних параметрів систем розробки при випуску і доставці залізної руди на надійність основних технологічних процесів з використанням інтелектуальних інформаційних систем для підвищення енергоефективності при подальшому застосуванні підземних гірничих робіт на глибоких горизонтах (понад 1500 м) шахт Кривбасу.

The article deals with the issue of increasing the energy efficiency of modern underground mining enterprises. It is suggested to predict the impact of structural elements and geometric parameters of mining systems for iron ore drawing and haulage on the main technical processes reliability while using intellectual information systems to increase energy efficiency in further underground mining at deep horizons (more than 1500m) of Kryvyi Rih mines.

В теперішній час при розрахунку та подальшому впровадженні енергоефективних систем розробки рудних родовищ підземним способом необхідно визначити наступні ключові техніко-економічні показники: втрати, засмічення руди, вміст металу в рудній масі, продуктивність праці робітникам по процесам, продуктивність праці одного робітника по системі розробки, продуктивність вибоїв, витрата основних матеріалів та енергоресурсів, питома собівартість 1 т руди за системою розробки, необхідна кількість діючих вибоїв та блоків. При цьому параметри блоків (висота поверха, довжина і ширина блока, розмір камер і ціликів, висота підповерха, відстань між виробками приймального горизонту) чинять значний вплив на безпеку ведення робіт, умови виймання запасів руди та техніко-економічні показники [1-3].

Вибір оптимальних параметрів блоків та їх елементів визначають наступними факторами:

- глибина розробки, характер та величина гірничого тиску;
- фізико-механічні властивості руди і вміщуючих порід (міцність, стійкість, тріщиноватість, однорідність, можливість обвалення);
- елементи залягання родовища (довжина за простяганням, потужність, кут падіння);
- інтенсивність виймання запасів блока (від якої залежить час відпрацювання блока або його елементів, час знаходження ціликів);
- стан виробленого простору (відкритий, закріплений, закладений, обвалений).

Запаси руди в блоці у відповідності з параметрами і конструкцією системи розробки розподіляють за підготовчими, нарізними виробками, видами очисних робіт (підчистка, відрізка, обвалення масиву), за елементами блока (камера, цілик, потолочина). На основі розподілу запасів руди в блоці визначають: погашені запаси руди, рудну масу, що витягається, показники витягу та засмічення руди, якість рудної маси, що витягається, для кожної виробки, за видами робіт та по блоку в цілому.

Всі виробки та види робіт розподіляють на:

- підготовчі - горизонтальні виробки, на основному горизонті (відкаточні штреки, орти-заїзди), блокові підняттяві, що розділяють родовища на блоки, а також похильні та спіральні з'їзди для самохідного устаткування;

- нарізні виробки – це підповерхові штреки і орти для доставки руди, буріння свердловин, вентиляції, підсічні виробки; різні підняттяві (крім блокових) для рудоперепуска, вентиляції, сполучення, відрізки; випускні траншеї, дучки (без розвороту воронки); господарчі виробки для встановлення механізмів, збереження матеріалів;

- до очисних відносяться роботи з безпосереднього видобутку руди з блоку (виймання камери, поточини, цілика; обвалення масиву, випуск руди; утворення підсічних та відрізнних камер).

Наступний аспект полягає у визначення вартості матеріалів та енергоресурсів (вибухових речовин) - при застосуванні підземних гірничих робіт розраховують множенням загальної витрати кожного їх виду на вартість одиниці даного матеріалу за певною ціною з урахуванням транспортних і складських витрат.

Вартість 1 кВт год електроенергії розраховується по встановленій на шахті або руднику потужності устаткування, витратам на утримання підстанцій, фактичному споживанню електроенергії та ціни 1 кВт год енергосистеми в цілому за трьохставочним тарифом.

Собівартість 1 м³ стислого повітря визначають за експлуатаційними витратами на компресорній станції, амортизації обладнання, вартості 1 кВт год електроенергії та фактичним витратам стислого повітря.

Вищезазначені показники використовуються при визначенні собівартості видобутку 1 т руди у блоку (дільниці) характеризують економічну доцільність подальшого застосування певної системи розробки, яка визначається розміром витрат на підготовчі, нарізні та очисні роботи за основними статтями витрат (заробітна плата робітників, вартість матеріалів і енергоресурсів, амортизація обладнання), а також для порівняння ефективності окремих технологічних схем підготовки, нарізання блоку, очисного виймання, застосування різних комплексів механізмів на діючих залізородних шахтах.

Ритмічна робота сучасної шахти з урахуванням необхідності проведення системної енергозберігаючої політики в умовах невизначеності та економічної нестабільності на ринку залізородної сировини залежить від:

- необхідної кількості розкритих, підготовлених та готових до очисного виймання запасів руди і дотримання певного їх співвідношення (своєчасне виконання робіт з розкриття і підготовки горизонтів, підготовки і нарізки блоків систем розробки);

- дотримання співвідношення обсягів видобутку руди з підготовчих, нарізних та очисних виробок з їх питомою вагою в запасах руди в блоках при прийнятих системах розробки;

- раціонального напрямку і порядку виймання запасів руди в поверсі, що забезпечують планомірне відпрацювання і мінімальні прояви гірничого тиску.

Вищевказані умови забезпечуються, перш за все, при обґрунтованому плануванні гірничих робіт на стадіях проектування і експлуатації залізородного родовища, поверху, блока. Календарні плани встановлюють черговість, строки виконання гірничих робіт, та є важливою частиною будь-якого проекту розробки родовища. Обов'язково планують роботи з розкриття і підготовки горизонту, підготовки і нарізки блоків, відпрацювання блоків і запасів поверху.

Для складання планів гірничих робіт на стадії проектування необхідна наступна вихідна інформація:

- обсяг робіт (площа розтину, довжина виробок, виймання руди, кріплення), що визначаються за проектом;

- фізико-механічні властивості руди і порід, якість руди, обводненість, розвіданість запасів родовища;

- швидкість проходження виробок, продуктивність праці, вибоїв.

З урахуванням вищенаведених характеристик систем розробки авторами пропонується провести ґрунтовні наукові ініціативні дослідження в умовах реального виробництва, які передбачається виконувати для двох систем розробки родовищ підземним способом, що застосовуються на залізрудних шахтах Кривбасу:

а) з камерним вийманням руди та подальшою її вібродоставкою – ш. Фрунзе, Гвардійська, Орджонікідзе (при дотриманні оптимального куска руди діаметром до 100 мм відповідного гранулометричного складу з виходом негабариту до 15%);

б) з підповерховим обваленням руди та скреперною її доставкою – ш. Ювілейна та інші рудні шахти Криворізького басейну (при дотриманні оптимального куска руди діаметром до 170 мм відповідного гранулометричного складу з виходом негабариту до 7%).

Мета дослідження - підвищення енергоефективності підземних гірничих робіт шляхом прогнозування впливу параметрів систем розробки на надійність основних геотехнологічних комплексів і процесів гірничого виробництва з використанням можливостей сучасних інтелектуальних інформаційних систем [4, 5].

Ідея дослідження – прогнозування впливу конструктивних елементів та геометричних параметрів систем розробки при випуску і доставці залізної руди на надійність основних технологічних процесів з використанням інтелектуальних інформаційних систем власної розробки на основі системного підходу для підвищення енергоефективності (зокрема, шляхом впровадження заходів з енергозбереження електроенергії, стислого повітря та інших допоміжних ресурсів, поліпшення використання енергії вибухових речовин для отримання оптимального діаметра куска руди і відповідно зниження витрат на додаткове дроблення негабариту) при подальшому застосуванні підземних гірничих робіт на глибоких горизонтах (понад 1500 м) шахт Кривбасу.

Параметри технологічних комплексів і процесів підземних гірничих робіт та межі їх зміни (*всього розроблена інтегральна модель структурного синтезу комплексно враховує понад 75 ключових вихідних показників ефективності гірничого виробництва*) для моделювання отримання оптимальних показників діяльності залізрудних шахт за певною системою розробки родовища на основі обґрунтування прийняття певних управлінських рішень відносно доцільності впровадження окремих техніко-технологічних заходів та сучасних енергозберігаючих систем на найближчу перспективу в умовах невизначеності та економічної нестабільності:

1. Глибина розробки залізрудного родовища (понад 1500 м до 1700 м);

2. Потужність покладу (10 – 200 м);

3. Кут нахилу покладу (30 – 80 град.);

4. Міцність руди (4 – 14 по шкалі проф. Протодьяконова);

5. Питома вага залізної руди до 3,5 т/м³;

6. Конструктивні елементи і параметри проходження гірничих виробок та технології очисного виймання руди, а також показники використання гірничого устаткування, що застосовується на основних технологічних процесах глибоких залізрудних шахт;

7. Врахування особливостей проведення буро-вибухових робіт на рудних шахтах та прогнозування отримання раціональних показників вказаного процесу:

- діаметр та конструкція заряду (105 – 150 мм) з метою визначення отримання оптимального куска руди і зниження відсотка виходу негабариту за проектом розробки залізрудного родовища;

- схема розбурювання масиву гірських порід (паралельне, віялове, пучкове розташування свердловин, вертикальні концентровані заряди, мінні заряди);

- глибина свердловин (40 – 60 м);
- тип вибухових речовин (переважно емульсійні);
- електричні і неелектричні (типа Прима-Ера), а також електронні засоби ініціювання схем підривання свердловин;
- інтервал уповільнення підривання масиву (20 - 100 мс – зменшення інтервалу застосовується для більш міцних гірських порід).

Практичні результати дослідження:

- розробка сучасних енергозберігаючих заходів при подальшому застосуванні підземних гірничих робіт з урахуванням підвищення надійності систем розробки (камерних та з масовим обваленням руди) родовищ корисних копалин та ефективності впровадження організаційно-технологічних схем гірничого виробництва при реконструкції глибоких шахт.
- впровадження енергозберігаючих технологій отримання оптимального куска залізних руд (в першу чергу в розрізі підвищення енергоефективності вибухових робіт) з метою мінімізації негативного впливу ризиків в умовах невизначеності геологічних та фізико-механічних властивостей первинної сировини, цінних характеристик вітчизняної товарної продукції на ринку залізорудної сировини за складних умов господарювання на підземних гірничих роботах (на глибоких горизонтах шахт понад 1500 м).
- розробка обґрунтованих стимулів щодо мотивації персоналу до економії енергоресурсів на підземних гірничих роботах та проведенні геотехнічного і міського підземного будівництва в умовах економічної нестабільності вітчизняних підприємств.

Окремі результати дослідження можуть бути адаптовані для інших специфічних умов гірничого виробництва та проведенні геотехнічного і міського підземного будівництва, наприклад при проходженні тунелів в місті, у тому числі в країнах Європейського Союзу в контексті підвищення ефективності подальшого застосування підземної геотехнології у цілому з економічної точки зору.

Бібліографічний список

1. Єрмілов, С.Ф. Державна політика енергоефективності в українському та європейському контексті. Економіка і прогнозування, 2007. №2. С. 27–42.
2. Ляхомский А.В. Управление энергетическими ресурсами горных предприятий / А.В. Ляхомский, Г.И. Бабокин. — М.: Горная книга. 2011. 232 с.
3. Ляхомский А.В. Энергетические показатели и критерии оценки энергоэффективности технологических процессов горного производства / А.В. Ляхомский, А.В. Пичуев, Е.Н. Перфильева // Труды международного научного симпозиума «Неделя Горняка-2014». Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала), 2014. С. 450–459.
4. Троицкий-Марков Т.Е. Принципы построения системы мониторинга энергоэффективности. / Т.Е. Троицкий-Марков, Д.В Сенновский // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. Т. 4. С. 34-39.
5. Новиков В.В. Интеллектуальные измерения на службе энергосбережения / В.В. Новиков // Энергоэксперт. 2011. № 3. С. 68-70.

УДК 622.1

В.В. Коробійчук, д.т.н., проф.

І.В. Леонець, аспірант

Державний університет «Житомирська політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ КАМЕНЕОБРОБКИ ДЛЯ ВИБНИЦТВА КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ

Вступ. Природний камінь обробляється алмазним інструментом, як правило це дискові пили або канат з алмазним напиленням. В результаті різання утворюються шлам – дрібні відходи різання, які разом з водою попадають в шламовідстійник та осідають на його дно. Процедура очищення води від шламу це великий науковий напрям дослідження. Отже, шлами містять в собі маленький розмір частинок, близько десятків мікрометрів, і низку металевих елементів, таких як кобальт або мідь, які попадають із ріжучого диску. У той же час часто зустрічаються органічні сполуки, що надходять із мастильних матеріалів та жирів самого обладнання, що є дуже обмежуючим фактором для їх повторного використання.

Коротше кажучи, шлам - це відходи, які становлять проблему в Європі. Та ще більш серйозна проблема в таких країнах, як Україна, де екологічні норми є менш жорсткі, а шлам накопичується безпосередньо в районах, що прилягають до виробничої галузі. Ці звалища в більшості випадків не гідроізолювані і використовуються для осадження осаду під силою тяжіння та повторного використання води. Тому ці відстійники можуть спричинити значне забруднення сільського господарства, живих істот та поверхневих чи підземних вод.

На підставі викладеного вище, накопичення шламів на звалищі може призвести до забруднення поверхневих та підземних вод через їх хімічний склад, а також до серйозного впливу на рослинність через малий розмір частинок. Цю проблему намагалися вирішити шляхом повторного використання. Основними сферами повторного використання шламу були відновлення берегів, влаштування гідроізоляції або дуже обмежені роботи в цивільному будівництві. У цих операціях слід контролювати хімічний склад, оскільки висока частка елементів, що забруднюють, обмежувала б використання у перших двох варіантах, і для третього варіанту їх слід детально вивчити.

Метою даного дослідження є виявлення можливості використання шламів в якості наповнювача для керамічної цегли.

Методологія, яка використана в цій роботі, складається з серії логічно упорядкованих випробувань для оцінки придатності включення шламу в керамічні матеріали.

По-перше, і в якості основи для будь-якого дослідження включення відходів були оцінені фізичні та хімічні характеристики вихідних матеріалів. З цією метою були проведені випробування для визначення хімічного складу обох матеріалів (глини та шламу), а також фізичних властивостей, що обумовлювали їх змішування, та сумісності їх.

Згодом і, оцінивши придатність шламів та глини для виготовлення кераміки, різні групи зразків змішували між собою. В глину додавали шлам спочатку 10 % та в подальшому збільшували на кожні 10 %. Ці зразки були змішані та спечені для подальшої оцінки їх фізичних властивостей.

Нарешті, і як головний обмежуючий фактор для правильного виконання кераміки, було проведено випробування на міцність на стиск. Всі групи зразків випробовували, оцінюю-

чи вплив міцності на стиск із відсотком додавання шламів. На основі цього дослідження вдалося встановити максимальний відсоток включення шламу в кераміку, а також широкий спектр можливих комбінацій з різними фізичними та стійкими властивостями для окремих випадків.

Висновки

- Шлами мають щільність, подібну до глини, що сприяє процесу змішування і, отже, його повторному використанню. Отримана щільність відображає, немає великої частки важких металів, які могли б стати екологічною проблемою.
- Індекс пластичності, нижчий ніж показник глини, відображає той факт, що шлами каменю, навіть якщо вони мають розмір частинок, подібний глині, не мають аналогічних властивостей.
- Хімічний аналіз шламів показує головним чином низький відсоток вуглецю. Це значення відображає відсутність мастильних матеріалів або жирів у процесі різання, а також відсутність органічних речовин або карбонатів.
- Рентгенівська флуоресценція кам'яних шламів відображає хімічний склад, подібний глині та отриманий із складу граніту (кварц, польовий шпат та слюда) без забруднення важкими металами або хімічними елементами, такими як сірка та хлор, що не спричиняє небезпеку використання.
- Для спікання шламів необхідна вища температура перетворення хімічних сполук, що знаходяться в шламах по відношенню до глини. Низький відсоток втрати ваги при спіканні.
- Лінійна усадка керамічних зразків менше для кераміки з шламами.
- Капілярність водопоглинання та поглинання холодної води зростає із збільшенням відсотка шламу, що відображає більш відкриту структуру з більшою кількістю пір. Ця характеристика особливо підходить для тепло- та звукоізоляційних матеріалів.

Науково–технічне видання
Електронний ресурс

В збірці приведені результати наукових розробок студентів, аспірантів і молодих вчених, які представили на міжнародну конференцію 10-11 травня 2021 р., що організувала кафедра «Геоінженерії» Інституту енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Збірка призначена для фахівців і будівельників підземних споруд, студентів вузів гірничих спеціальностей.

Тези доповідей представлені в редакції авторів.