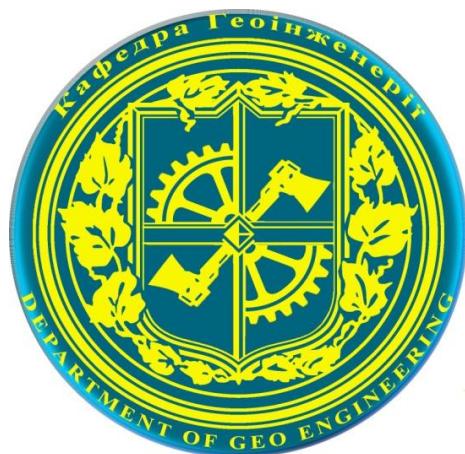


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний технічний університет України**  
**„Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**  
**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту**  
**Кафедра геоінженерії**



**«ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ  
ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ»**

**III Міжнародна науково-технічна конференція**

**КПІ імені Ігоря Сікорського»  
Кафедра геоінженерії**

**28-30 травня 2020 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 III міжнародної  
науково-технічної конференції

КПІ імені Ігоря Сікорського  
Кафедра геоінженерії

Випуск № 3

Київ - 2020

Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики. Зб. наук. праць. Вип. 3. – Київ: Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. – 61 с.

В збірці наведені результати наукових розробок студентів, аспірантів, магістрантів і молодих вчених, які подані на міжнародну конференцію 28-30 травня 2020 року, що організувала кафедра «Геоінженерії» ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського. Збірник призначений для наукових працівників, аспірантів та студентів вищих навчальних закладів України.

Збірник друкується за рішенням вченої ради ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 14 від 29.06.2019 р.)

#### ***Редакційна колегія***

к.т.н., доц., в.о. зав. каф. геоінженерії Інституту енергозбереження та енергоменеджменту	Стовпник С.М.
докт. техн. наук, професор каф. геоінженерії Інституту енергозбереження та енергоменеджменту	Кравець В.Г.
д.т.н., професор Сілезького технічного університету, м. Глівіце, Польща	Восводка А.Т.
д.т.н., проф., професор Карагандинського державного технічного університету, м. Караганда, Казахстан	Портнов В.С.
доктор-інженер, доцент, Технічний університет, м. Кошиці, Словаччина	Юрай Дюрове
assoc. Prof. Dr. Kutahya Dumlupinar University, director of international Relations office, Mineral Processing Engineer (PhD), Editor in PMP, Kutahya, Turkey	Oktay Sahbaz
д.т.н., проф., зав. кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Національного технічного університету "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна	Гапєєв С.М.
д.т.н., проф., зав. кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна	Соболевський Р.В.
к.т.н., доц., зав. кафедри геодезії та будівництва підземних споруд Донецького національного технічного університету, м. Покровськ, Україна	Каменець В.І.
<b><i>Комп'ютерна верстка</i></b>	
інженер кафедри геоінженерії ІЕЕ к.т.н., доц. каф. геоінженерії ІЕЕ	Полібін Р.В. Вапнічна В.В.

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.varnichna@kpi.ua

## ЗМІСТ

В.Г. Кравець, О.А. Темченко <b>ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ РОЗРОБКИ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ ПІДЗЕМНИМ СПОСОБОМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ</b> .....	5
Карабач В., Шайдецька Л.В. <b>БУДІВНИЦТВО ТРАНСПОРТНИХ ТУНЕЛІВ ТА КОМУНІКАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ</b> .....	10
Туганов Г.К., Шайдецька Л.В., Шевчук Н.А. <b>ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДАННЯ ТИПУ БАРЕТ</b> .....	12
Гончаренко С.І., Шайдецька Л.В. <b>ОСОБЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ БЕТОННИХ РЕЗЕРВУАРІВ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ</b> .....	16
Гончарук В., Кравець В.Г., Марчук А.Л., Шукюров А.М. <b>ФУНКЦІЇ ПРОМІЖНОГО ІНІЦІАТОРА В УМОВАХ НИЖНЬОГО ІНІЦЮВАННЯ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ</b> .....	18
N. Zuevska, A. Olefir <b>URBAN SEISMIC-ACOUSTIC POLLUTION</b> .....	29
Вапнічна В.В., Пикало В.М. <b>ОЦІНКА ДЕКОРАТИВНОСТІ КАМЕНЮ ДОБРІНСЬКОГО РОДОВИЩА ЛАБРАДОРИТУ</b> .....	32
Дем'янов І.А., Фролов О.О. <b>АНАЛІЗ НЕВИБУХОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ ВАПНЯКУ НА КАР'ЄРАХ</b> .....	35
Криворучко А.О., Побігайло Д.П. <b>ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ СТРУКТУРНИХ І ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОКЛАДІВ ЛАБРАДОРИТУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ</b> .....	40
Гайко Г.І., Матвійчук І.О. <b>ВПЛИВ ЗМІННОГО ПОКАЗНИКА ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН КОНСТРУКЦІЇ ШТОЛЬНІ СИРЕЦЬКОГО САМОПЛИВНОГО КОЛЕКТОРУ В М. КИЄВІ</b> .....	45
Кононович О.С., Косенко Т.В. <b>ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВІДРОБКИ УСТУПІВ М'ЯКИХ ПОРІД НА КАР'ЄРАХ</b> .....	50
Євтушенко І.М., Фролов О.О. <b>ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ РОЗРОБКИ ВАПНЯКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРЕЗЕРНИХ КОМБАЙНІВ</b> .....	55
В.В. Вапнічна, Д.Г. Піцул <b>ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ «СТІНА В ҐРУНТІ»</b> .....	59

Д.т.н., проф. Кравець В.Г., Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»,  
д.т.н., проф. Темченко О.А., Криворізький економічний інститут ДВНЗ  
«Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана»

## ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ РОЗРОБКИ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ ПІДЗЕМНИМ СПОСОБОМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

*Сучасні програми підвищення енергоефективності на гірничих підприємствах та оновлені концепції управління енергоресурсами повинні базуватися на положеннях і методах енергетичного менеджменту з відповідним техніко-економічним обґрунтуванням, які доцільно розглядати в контексті науково обґрунтованої енергетичної політики певного підприємства не тільки з технічних та технологічних позицій, але і з точки зору організаційних, мотиваційних, інформаційних, маркетингових та інвестиційних аспектів для прийняття персоналом дієвих управлінських рішень щодо можливості ефективного впровадження енергозберігаючих систем подальшої розробки залізрудних родовищ підземним способом.*

*Modern programs of increase energy efficiency at mining enterprises and updated energy management concepts should be based on the provisions and methods of energy management with appropriate feasibility studies, which should be considered in the context of scientifically sound energy policy of a particular enterprise not only from a technical and technological point of view but also with the view of organizational, motivational, informational, marketing and investment aspects for the adoption of management staff effective decisions on the possibility of implementation of energy-saving systems for further development iron ore deposits underground method in conditions of uncertainty.*

**Вступ.** Дослідження та розробка засобів створення вискоелективних технологій гірничо-металургійних комплексів на основі енергоресурсозбереження та впровадження екологічних заходів з метою поліпшення охорони навколишнього середовища регіону було започатковано в рамках програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, що затверджена Законом України від 21.04.2011 ро № 3268-VI. В теперішній час ключові завдання наведеної програми полягають у техніко-економічному обґрунтуванні та управлінні фінансовою стійкістю вітчизняних компаній, зокрема в розрізі ефективності застосування технологій енергозабезпечення та врахування трендів стійкого розвитку гірничорудних підприємств з визначенням ймовірності припинення їх діяльності та перспектив банкрутства в складних умовах господарювання при збереженні тенденцій невизначеності та нестабільності в Україні та на ринку ЗРС, визначення раціональних технологічних параметрів та оцінки економічної доцільності впровадження енергетичних і інноваційних екологічних заходів на сучасних промислових компаніях.

**Аналіз літературних джерел.** В складних умовах господарювання особливої гостроти та актуальності набуває наукове обґрунтування критеріїв оцінки доцільності та ризику впровадження комбінованих енергозберігаючих геотехнологій та розробка дієвих управлінських заходів і перспективних технологічних рішень для ефективного функціонування вітчизняних промислових компаній з урахуванням оцінки впливу їх діяльності на навколишнє середовище у певному регіоні, що забезпечують поточне й стратегічне формування енергоефективності та підвищення показників

конкуреноспроможності гірничого виробництва; створення економіко-математичних моделей банкрутства та алгоритмів оптимізації потенціалу та виробничих потужностей гірничорудних підприємств на основі використання можливостей інтелектуальних інформаційних систем, які враховують динаміку попиту та пропозиції вітчизняної товарної продукції на ринку залізорудної сировини в умовах невизначеності та нестабільності цінних та мінливості якісних характеристик.

Сучасні тенденції збільшення споживання енергоресурсів призводять до вражаючих негативних наслідків з одночасним ускладненням екологічного навантаження в світі. Зокрема, щорічно на поверхню землі доставляють 125 млрд. т гірських порід, споживається 10 млрд. т умовного палива, в атмосферу викидається 270 млн. т пилю, 140 млн. т двоокису сірки, 70 млн. т токсичних газів. Разом з тим, виконані дослідження показують, що незважаючи на певні досягнення в області енергозбереження в теперішній час є значний нереалізований потенціал управління енергетичними ресурсами на підземних гірничих роботах, а також підвищення енергоефективності на сучасних гірничорудних підприємствах [1-6]. Тому, в умовах зростаючого дефіциту енергоресурсів вирішення проблеми підвищення економічного потенціалу України можливо шляхом розробки і широкого впровадження енергозберігаючих технологій із застосуванням інтелектуальних інформаційних систем. Особливо це стосується гірничодобувних підприємств з підземною розробкою родовищ корисних копалин переважно в екологічно несприятливих регіонах. Технологічні процеси видобутку залізорудної сировини підземним способом (насамперед, проведення буро-вибухових робіт (БВР) з отриманням оптимального куска руди, проходження і облаштування стовбурів, підготовчі, нарізні та очисні роботи, вентиляція та водовідведення з шахт тощо) є одними із найенергоємніших у гірничому виробництві при застосуванні певних систем розробки родовищ.

**Мета роботи.** З урахуванням вищезазначеного метою дослідження є підвищення енергоефективності підземних гірничих робіт шляхом прогнозування впливу параметрів енергозберігаючих систем розробки на надійність основних технологічних комплексів і процесів гірничого виробництва з використанням можливостей сучасних інтелектуальних інформаційних систем в умовах невизначеності.

**Матеріали і результати досліджень.** Досягнення поставленої мети пропонується вирішити шляхом 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 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.

Подальшу розробку і вибір технологічних рішень щодо впровадження програм підвищення енергоефективності підземних гірничих робіт доцільно проводити на основі застосування можливостей інтелектуальних інформаційних систем в контексті: розробки 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 цінних

характеристик вітчизняної товарної продукції на ринку залізорудної сировини за складних умов господарювання на підземних гірничих роботах (на глибоких горизонтах шахт понад 1500 м); розробки 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. Результати дослідження можуть бути адаптовані для інших 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.

Отже, при розрахунку енергозберігаючих систем розробки рудних родовищ підземним способом необхідно визначити наступні 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, собівартість 1 т руди за системою розробки, необхідна кількість діючих вибоїв та блоків.

Параметри блоків (висота поверху, довжина і ширина блока, розмір камер і ціликів, висота підповерху, відстань між виробками приймального горизонту) чинять значний вплив на безпеку ведення робіт, умови виймання запасів руди та техніко-економічні показники. 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 по простяганню, 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 підняття, 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 підняття (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 (відпрацювання камери, потолочини, цілика; обвалення масива, випуск руди; утворення підсічних та відрізнних камер).

З урахуванням вищенаведеного можна достатньо достовірно визначити вартість матеріалів та енергоресурсів (вибухових речовин) при застосуванні підземних гірничих робіт, яку розраховують множенням загальної витрати кожного їх виду на вартість

одиниці даного матеріалу за певною ціною з урахуванням транспортних і складських витрат.

Натомість 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 по енергосистемі в цілому за трьохставочним тарифом.

Також собівартість 1 м<sup>3</sup>стислого повітря визначають за експлуатаційними витратами на компресорній станції, амортизації обладнання, вартості 1кВт год електроенергії та фактичним витратам стислого повітря.

Вищезазначені показники використовуються при визначенні собівартості видобутку 1 т руди по 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 певних технологічних схем підготовки, нарізання блоку, очисного виймання, застосування різних комплексів механізмів на окремих залізородних шахтах. Ритмічна робота шахти з урахуванням необхідності проведення сучасної енергозберігаючої науковообгрунтованої 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 обгрунтованому плануванні гірничих робіт на стадіях проектування і експлуатації залізородного родовища, поверха, 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 поверха.

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.

**Висновки.** Таким чином, вирішення проблеми підвищення енергоефективності підземних гірничих робіт можливе на підставі системних досліджень технологічних процесів гірничого виробництва, що дозволить управляти рівнем їх енергоємності на глибоких залізородних шахтах та рудниках. Отже, ефективне управління енергоресурсами на підземних гірничих роботах в умовах невизначеності повинно здійснюватися на всіх рівнях виробничо-управлінського ланцюга гірничого підприємства: від нижнього (робітник, бригада, зміна) до вищого рівня (виробничі колективи на окремому технологічному процесі видобутку і переробки руди, структурні підрозділи, вищий менеджмент - керівництво промислових компаній). При цьому вказане ощадне і бажано «цифрове» управління включає всі види первісних (електроенергія, енергія буро-вибухових робіт, теплоенергія, паливо), а також



допоміжних енергоресурсів, що отримують в результаті застосування первісних енергоресурсів (холодна, гаряча та технічна вода, стисле повітря, повітря на обігрів, вентиляцію, кондиціонування). Саме тому, науково-обґрунтоване управління використанням енергоресурсів повинне здійснюватися з урахуванням залучення не тільки технічних факторів (питомого енергоспоживання, коефіцієнта корисної дії, коефіцієнта потужності гірничого устаткування, допоміжних енергоресурсів) при застосуванні певної технологічної схеми видобутку руди на глибоких горизонтах шахт і рудників, але і управлінських (організаційних, мотиваційних, інформаційних, інтелектуальних, маркетингових та інвестиційних) заходів. Такий підхід дозволяє знизити існуюче енергоспоживання на підземних гірничих роботах на 10-15 % в найближчі 2-3 роки після початку реалізації програм підвищення енергоефективності за рахунок впровадження пріоритетних енергозберігаючих заходів на гірничорудних підприємствах, термін окупності яких не перевищує трьох років [1].

З урахуванням вищезрозглянутого, основні напрямки фундаментальних досліджень в галузі перспектив ефективного застосування підземних гірничих робіт для подальшого освоєння родовищ руд чорних металів пов'язані з наступними проблемами:

- створення підземних рудників багатофункціонального призначення, що забезпечують раціональне використання і своєчасне відтворення георесурсу надр різного призначення;
- розробка ресурсо та енергозберігаючих технологій реконструкції підземних рудників, спрямованих на збереження і розвиток їх виробничого потенціалу в нових складних макроекономічних і екологічних умовах та збереження тенденцій невизначеності цінних характеристик вітчизняної продукції на ринках мінеральної сировини;
- наукове обґрунтування стратегії збалансованого функціонування і розвитку вітчизняної гірничорудної і машинобудівних галузей гірничо-збагачувального і гірничо-металургійного комплексів з урахуванням можливостей цифрової економіки.

### Список літератури

1. Ляхомский А.В. Управление энергетическими ресурсами – эффективный путь решения проблемы формирования техногенной геосреды. / А.В. Ляхомский, Е.Н. Перфильева // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. - №8. – С. 14- 17.
2. 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.
3. Ляхомский А.В. Управление энергетическими ресурсами горных предприятий / А.В. Ляхомский, Г.И. Бабокин. М.: Горная книга, 2011. - 232 с.
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. Гуртовцев А. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах. / А. Гуртовцев // Современные технологии автоматизации.- 1999. - № 3. - С. 34-47.
6. Новиков В.В. Интеллектуальные измерения на службе энергосбережения / В.В. Новиков // Энергоэксперт. – 2011. – № 3. – С. 68-70.

*В. Карабач, магістр 2 курсу, Л.В. Шайдецька, к.т.н., доцент кафедри геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

## **БУДІВНИЦТВО ТРАНСПОРТНИХ ТУНЕЛІВ ТА КОМУНІКАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ**

*Розглянуті конструкції кріплення робочих зон стартових та приймальних стволів для проходки способом продавлення колекторних тунелів під час застосування механізованих щитів із дистанційним автоматизованим управлінням. Наведені форми прорізів відповідно до конструкції оправи стволів.*

**Постановка проблеми.** Останнім часом в міському будівництві відмічається стійка тенденція до інтегрованої забудови, тобто спорудження нових або реконструкція існуючих об'єктів в умовах щільної міської забудови, поблизу існуючих споруд. В таких випадках не тільки зменшується розмір будівельних майданчиків, але і виникає складність підведення комунікацій до споруджуваних об'єктів.

Для вирішення цієї проблеми широко застосовують щитову проходку. Щитова проходка як спосіб спорудження тунелів та комунікаційних колекторів відома давно. Перші немеханізовані щити являли собою захисні футляри із металу та деревини застосовувалися ще в ХІХ столітті. В футлярі прохідники вручну розробляли ґрунт у вибої і по мірі його звільнення продавлювали щит вперед. З часом конструкція щитів ускладнилася, для продавлювання передового кільця почали використовувати гідродомкрати, а щити обладнують вибійними створами.

Технологія проходки способом продавлення колекторних тунелів із застосуванням механізованих щитів із дистанційним автоматизованим управлінням успішно використовується при спорудженні колекторних тунелів у досить різноманітних гірничо-геологічних умовах та широкому діапазоні глибин закладення.

Для виходу механізованих щитів на трасу тунелю та виконання технологічних операцій під час прохідницьких робіт споруджують стартові та приймальні шахтні стволи із облаштуванням їхніх робочих зон.

**Аналіз літературних джерел:** З врахуванням усіх принципів оптимізації прокладання інженерних мереж ринкового комплексу, дотримуючись будівельних норм та санітарних вимог використання технології способом продавлення колекторних тунелів є актуальним питанням [1, 2].

**Метою роботи** є вдосконалення конструкції кріплення робочих зон стартових та приймальних шахтних стволів для проходки способом продавлення колекторних тунелів із застосуванням механізованих щитів з дистанційним автоматизованим управлінням.

**Виклад основного матеріалу.** Стартові і приймальні стволи при застосуванні прохідницьких систем фірми «Herrenknecht» можуть бути двох типів: кругова та прямокутна залізобетонна оправа.

Кругова збірна оправа формується із чотирьох видів блоків:

- нормальних гладких блоків, призначених для спорудження стволів вище домкратної станції;
- нормальних фігурних блоків, призначених для спорудження стволів в межах зони домкратної станції;
- перехідних блоків;
- блоків для ножового кільця.

Прямокутна збірна оправа формується із п'яти видів елементів:

- надкамерний елемент;
- контурний елемент;
- прорізний елемент;
- ножовий елемент;
- елементи тимчасового заповнення прорізів.

Окремим питанням, що потребує детальної уваги є облаштування робочих зон стартових і приймальних стволів при застосуванні прохідницьких систем фірми «Herrenknecht».

В обох комплектах оправи стволів усі блоки тимчасового прорізного заповнення об'єднуються між собою на зварюванні фланговими швами із застосуванням стикових накладок. Таким же чином ці блоки з'єднуються із блоками оправи, розташованими по контуру прорізу. Циліндричні монтажні штирі в горизонтальних швах блоків заповнення не встановлюються. Після завершення робіт із занурення стартових та приймальних стволів на проектну позначку виконується розкриття прорізів і монтаж у них фланцевих патрубків із наступним їх бетонуванням.

Робоча зона стартових стволів з оправою, де знаходиться проріз монтується з фігурних кілець. Усі кільця, розташовані вище цієї зони, як правило, гладкі. Об'єднання фігурної частини ствола із гладкою, а також із ножовим кільцем здійснюється за рахунок використання перехідних кілець комплекту.

Для таких стволів запропоновано два варіанта прорізу – прямокутної (рис.1,а) та хрестової (рис.1,б) форми. Прямокутна форма перерізу забезпечує більш надійне охоплення монолітним бетоном фланцевих патрубків. Застосування хрестової форми цього прорізу дозволяє зменшити кількість тимчасових блоків прорізного заповнення та об'єм монолітного бетонного заповнення. Разом із цим така форма вимагає більш високої геометричної точності виконання робіт під час монтажу та занурення ствола.

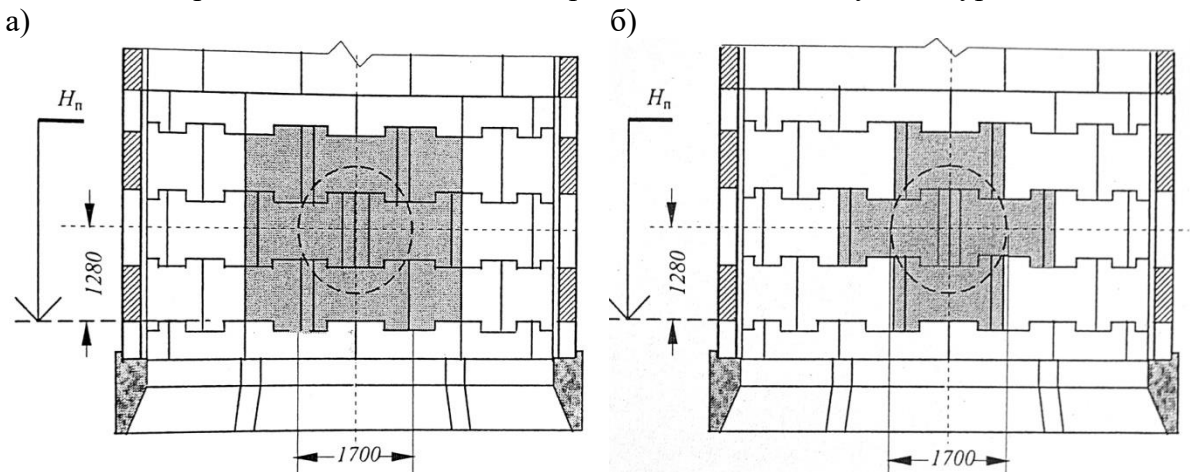


Рис. 1. Форми прорізів в робочих зонах стартових стволів з круглою збірною залізобетонною оправою: а – прямокутна, б - хрестова

При застосуванні квадратної оправи стволів з крупних блоків проріз по висоті розташовується у межах двох рядів прорізних елементів і тимчасово заповнюється чотирма спеціальними блоками, пристосованими для швидкого і зручного вилучення при розкритті прорізу (рис.2,а,б).

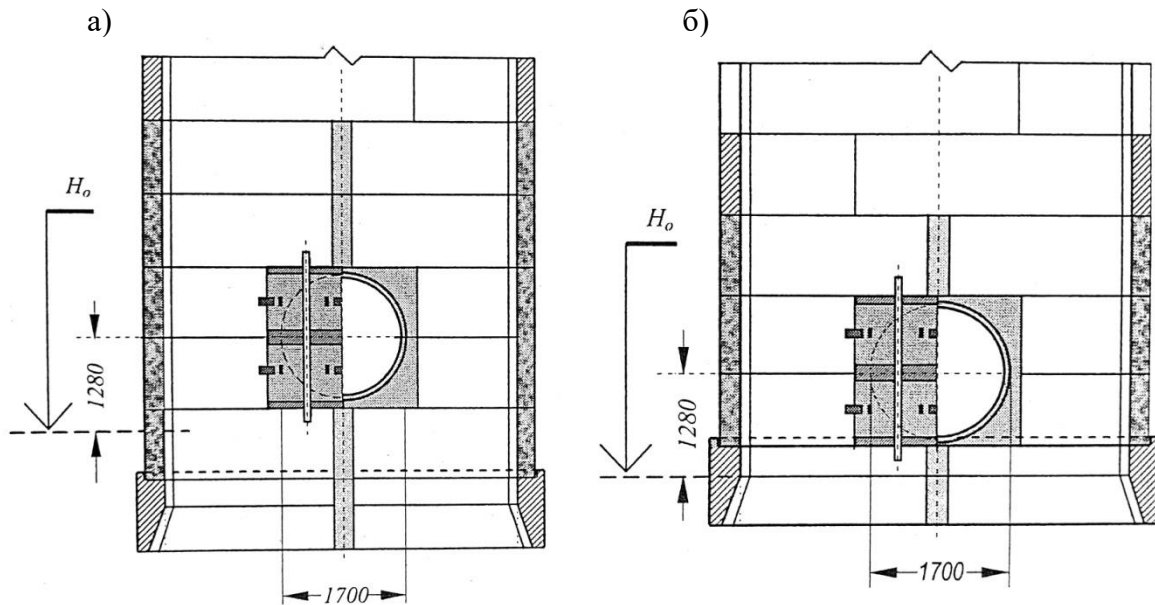


Рис. 2. Форми прорізів в робочих зонах стволів з квадратною збірною залізобетонною оправою: а – стартових стволів, б - приймальних

У стартових стволах під згаданими прорізними елементами розміщується ножовий і контурний елементи. Кожен із цих елементів складається із чотирьох блоків, об'єднаних один досить жорсткий контур монолітними стиками та зварюванням робочої арматури.

Робоча зона стартових та приймальних стволів формується таким чином, щоб під час утворення прорізів уникнути концентрації напружень в зоні послаблення перерізу ствола.

**Висновки:** Таким чином, вдосконалення конструкції кріплення робочих зон стартових та приймальних шахтних стволів для проходки способом продавлення колекторних тунелів із застосуванням механізованих щитів надає можливість зменшити концентрації напружень в зоні послаблення перерізу, що в свою чергу зменшить витрати на матеріали конструкції в цілому.

#### Бібліографічний список:

1. ДБН 360-92\*\*. Планування і забудова міських і сільських поселень – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 138 с.
2. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012.– 105 с.

## УДК 624.1

*Г. К. Туганов, магістр, Л.В. Шайдецька, к.т.н., доцент кафедри геоінженерії, Н.А. Шевчук, к.т.н., доцент кафедри економіки і підприємництва Національний технічний університет Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, м. Київ*

### ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДАННЯ ТИПУ БАРЕТ

*Розглянуто особливості влаштування фундаментів глибокого закладання типу барети. Використано програмні комплекси, що розроблені для чисельного дослідження характеристик конструкцій на міцність і стійкість. Визначено оптимальний кут розташування фундаментів із врахуванням напружено-деформованого стану «основа+фундамент».*

**Вступ.** Масштаби соціально-економічного розвитку міста Києва в останні роки потребують збалансованої містобудівної діяльності під час формування функціонально-планувальної структури міста, яка потребує інтенсивності використання території з врахуванням неоднорідності її якостей.

Основні положення та рекомендації для забезпечення раціональної містобудівної діяльності в повній мірі відображаються в ДБН Б.2.2-12:2019 "Планування і забудова територій". Так, наприклад, будівля може займати не більше 30% земельної ділянки при умові щільності заселення більше 450 чел/ Га.

Висока вартість землі в зонах щільної забудови великих міст та вдосконалення будівельних технологій, роблять підземне будівництво більш економічним та перспективним. Перебудова великих міст в численні підземні багатоярусні міста зі специфічними комунікаціями та інфраструктурою потребують вивчення основ будівель та вдосконалення конструкцій фундаментів.

**Метою даної роботи** є дослідження напружено-деформованого стану «основа + фундамент» з визначенням оптимально розташування фундаментів глибокого закладання типу барет із врахуванням їх геометричних характеристик.

**Матеріали і результати дослідження.** Одними із розповсюджених фундаментів глибокого закладання є фундамент утворений способом «стіна в ґрунті», якщо він має форму довгої стіни, і барети, якщо він має компактний в плані розмір і утворений під потужну опору.

Баретні фундаменти застосовуються при великих навантаженнях, зокрема, у висотному будівництві, і можуть служити альтернативою буронабивним палям. Барети за рахунок порівняно великих розмірів можуть сприймати більш високі навантаження щодо матеріалу і ґрунту.

Барети виконуються у формі чотирикутників і різних комбінацій із них. При виборі геометричних параметрів барет необхідно виходити з принципу осьової передачі навантаження від вертикальних елементів верхньої конструкції (стін, колон, пілонів тощо) на елементи фундаменту [1,2].

При виборі геометричних параметрів барет необхідно виходити з технологічних можливостей їх виконання, наявності необхідних механізмів і матеріалів.

Введення новітньої технології паль глибокого закладання (барет) надає можливість економити місце (вмістити будівлю у зелену зону) і не отримати суттєвих економічних збитків. Це є дуже важливим з точки зору загального менеджменту проекту, тому що окрім готової будівлі забудовник передбачає отримання певних здобутків у матеріальному плані.

На даний час на ринку будівельних технологій не існує будівельних компаній, що можуть надавати технологічну підтримку у вигляді технічного забезпечення будівельного майданчику у вигляді опрацьованої технології з певним поетапним планом логістики процесу.

Провівши аналіз інженерно-геологічних умов, можна запроєктувати майбутню споруду з підземним паркінгом з застосуванням палевого фундаменту, з використанням технології «барет».

Оскільки основа будівельного майданчика складена структурно нестійкими ґрунтами, слід розташовувати барети на глибину у 20-25 метрів від поверхні. При цьому розрахункове навантаження від споруди на одиничну палю двотаврового перерізу за даними випробувань складе 180 тс.

Щоб визначити зусилля, які будуть діяти на конструкції фундаменту типу барет в програмному комплексі задаються тип, навантаження та геометричні характеристики об'єкту проектування, чисельні значення яких наведені на рис. 1.

Розрахункова схема складається з 20 вузлів, кожен з яких демонструє навантаження, деформації і переміщення відносно конструкції в цілому.

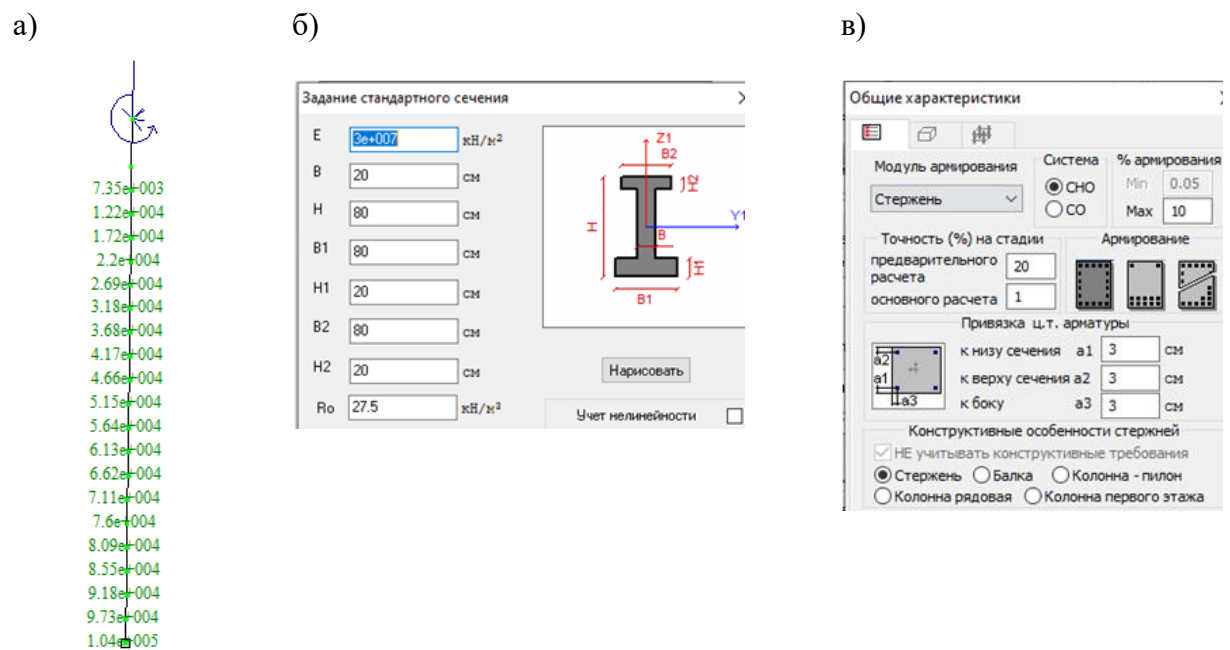


Рис. 1. Вихідні дані проектування барети:  
а – розрахункова схема, б - геометричні характеристики двотавра, в - загальні характеристики армування

Методом інтерполяції був визначений оптимальний кут розташування барати 45 градусів відносно горизонтального тиску ґрунту який є найбільш оптимальним. Зміна кута ніяк не відображається на несучій спроможності барети, в той час як деформації і зміщення зменшуються до наступних значень- 3.8 мм відносно вертикальної осі Z і 0.9 мм. відносно осі X, що на 41 % менше ніж при положенні зовнішньою стороною і на 51% менше ніж при положенні внутрішньою стороною.

Також зі статичного розрахунку можна отримати діаграми повздовжніх, поперечних сил і згинальних моментів (рис.2.).

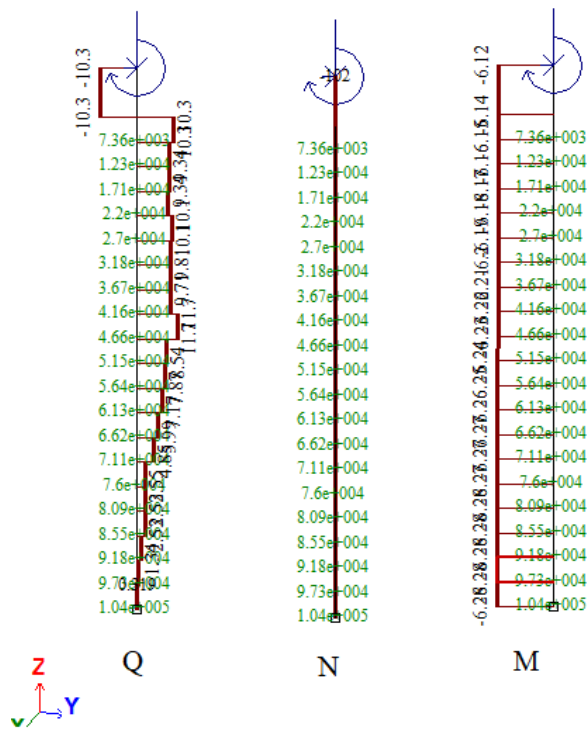


Рис.2.Результати статичного розрахунку фундаментів типу барети

**Висновки.** У висотному будівництві як альтернативу буронабивним палям варто застосовувати фундаменти типу барети із врахуванням їх геометричних параметрів та кута розташування відносно горизонтального тиску ґрунту. Методом інтерполяції було обрано найбільш оптимальний кут оберт у 45°. Використавши розрахунок у програмі «Ліра САПР» і «САПФІР» було доведено, що напружено-деформований стан конструкції в цілому не змінюється, а її міцності характеристики покращуються.

#### Бібліографічний список

1. Основи і фундаменти будівель і споруд: ДБН В.2.02.01-2009.- К.: Мінбуд України, 2009. – 110 с.
2. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-200 . - К.: Мінбуд України, 2011. – 56 с. (Зміна №1 Палі і пальові фундаменти)

*С.І. Гончаренко., студент 3 курсу гр.ОС-п71, Л.В. Шайдецька, к.т.н., доцент кафедри геоінженерії, Національний технічний університет України Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, м. Київ*

## **ОСОБЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ БЕТОННИХ РЕЗЕРВУАРІВ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ**

*Розглянуто способи влаштування гідроізоляції бетонних конструкцій. Наведені технологічні етапи реконструкції резервуарів та гідроізоляційні матеріали. Проведений вибір гідроізоляційних матеріалів із врахуванням експлуатаційних характеристик резервуарів.*

**Вступ.** Дніпровську водопровідну станцію, проектною потужністю, що становить 600 тис. м<sup>3</sup> на добу, з комплексом очисних споруд, включаючи знезараження питної води було побудовано у 1939 році. Сьогодні вода з річкової переробляється на питну та транспортується до будинків і підприємств, а потім каналізаційні стоки проходять очистку та повертаються у Дніпро.

Більшість резервуарів для зберігання води на водопровідних станціях є залізобетонними. Основними перевагами таких резервуарів є: висока довговічність, корозійна стійкість, можливість розміщення під землею, в тому числі в умовах високих ґрунтових вод; менша територія для забудови, а також менша протяжність комунікацій; порівняно невисокі експлуатаційні витрати; можливість застосування індустриальних методів зведення.

Наряду із перевагами залізобетонні резервуари мають і недоліки, а саме нормативний термін служби залізобетонного резервуара не повинен перевищувати 30 років. Тому для забезпечення нормальної експлуатаційної роботи і виникла потреба в проведенні реконструкції резервуару.

**Аналіз літературних джерел.** В [1, 2] встановлено основні вимоги до реконструкції та технічного переоснащення існуючих споруд зовнішнього водопостачання населених пунктів та інших об'єктів.

**Метою роботи** є вибір гідроізоляційних матеріалів під час реконструкції резервуару води для забезпечення нормальних експлуатаційних характеристик споруди.

**Матеріали і результати досліджень.** Особливу увагу потрібно приділяти захисту резервуарів для зберігання чистої води. Вибір гідроізоляції бетонних резервуарів для води дуже складна задача, так як вода з часом може вимивати матеріали гідроізоляції. Неякісна ізоляція споруди знижує показники та втрати води. Великий вибір гідроізоляційних матеріалів дозволяє вирішити таку задачу в кожному окремому випадку індивідуально. Гідроізоляцію бетонних резервуарів проводять тільки натуральними безпечними матеріалами, стійкими до постійної дії води, вони обов'язково повинні бути вологонепроникними, технологічними, паронепроникними, довговічними. На сьогодні існує декілька найпоширеніших видів матеріалів гідроізоляції (рис.1).

Обмазувальна гідроізоляція за методом застосування є найбільш доступною і простою для облаштування захисного гідроізоляційного покриття всередині і зовні споруди. Принцип обмазувальної гідроізоляції полягає в тому, що поверхня конструкції покривається



спеціальним матеріалом, з високим рівнем еластичності і гідрофобності, утворюючи на поверхні міцний безшовний шар ізоляції. Як обмазувальні матеріали використовуються сполуки з високою щільністю і високим рівнем адгезії.

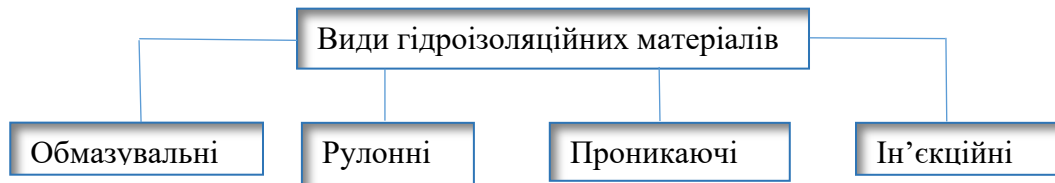


Рис. 1. Найбільш затребувані види гідроізоляції

Рулонна гідроізоляція, являє собою метод зовнішнього захисту споруд і здійснюється шляхом приклеювання рулонних гідроізоляційних матеріалів від 1 до 4 шарів, утворюючи багат шарове захисне покриття. В якості основи для сучасних рулонних матеріалів використовуються картон, поліестер і склотканина, що значно підвищує міцність і біостійкість матеріалу. Як правило, цей вид гідроізоляційних матеріалів застосовується в комплексі з іншими спеціальними мастичними засобами.

Проникаюча гідроізоляція – ефективний спосіб захисту бетонних і залізобетонних конструкцій від проникнення вологи. Принцип дії матеріалів даної групи базується на їх проникненні в тіло будівельного об'єкту та подальшому перетворенні в нерозчинні хімічні сполуки. Склад проникаючих гідроізоляторів являє собою суміш портландцементу, кварцевого піску, з додаванням спеціальних присадок і активних хімічних добавок, які сприяють утворенню кристалічної структури в мікротріщинах і капілярах обробленої поверхні. Матеріал, проникаючи в структуру бетону на глибину 20 см, запечатує капіляри поверхні зсередини, повністю, виключаючи проникнення води всередину бетонної конструкції. Таким чином, отримуємо водонепроникність конструкції, підвищення механічної міцності споруди до 20%, а також збільшення показників його морозостійкості.

Ін'єкційна гідроізоляція – являє собою метод введення рідких ремонтних розчинів в тріщини, пори, холодні і деформаційні шви будівельних матеріалів, таких як бетон, цегла, кам'яна кладка, для усунення протікання, зміцнення і збільшення несучої здатності всієї конструкції в цілому [3].

Гідроізоляцію поділяють за способом облаштування, призначенням, а також за видом використовуваних матеріалів. Крім того, гідроізоляція розрізняється за технологією застосування: внутрішня і зовнішня, горизонтальна і вертикальна, а також первинна та вторинна.

В період реконструкції резервуару передбачається заміна як зовнішньої так і внутрішньої гідроізоляції.

Реконструкція резервуару виконується в декілька технологічних етапів:

- розкриття резервуару (земляні роботи);
- влаштування отворів в перекритті резервуару;
- реконструкція стін та колон резервуару;
- реконструкція покриття з середини резервуару;
- реконструкція підлоги.

Для влаштування гідроізоляції стін та колон резервуару використовуються еластичні полотна з в'язкопластичними властивостями, краї яких зварюються дифузійним зварюванням з розчинником і утворюють однорідне з'єднання. Такі полотна випускаються

товщиною 1, 1,5 та 2 мм. Оскільки така гідроізоляція являє собою лише шар самого синтетичного матеріалу, рекомендується застосовувати переважно полотна товщиною 2 мм.

Полотна укладаються вільно, фіксуються за допомогою бітуму в окремих місцях або їх приклеюють до ізольованої конструкції по всій поверхні.

Гідроізоляція плит покриття виконується методом наплавлення з застосуванням таких матеріалів: спочатку наклеюється шар склотканини на бітумній мастиці шириною 200 мм, потім влаштовуємо три шари бітумної мастики «ХАМАСТ» загальною товщиною 12 мм, згори все покриваємо цементною армованою стяжкою.

Для гідроізоляції днища використовуємо геотекстиль «NETEX», він виробляється на основі волокон поліефіру і поліетилену, зафіксованих з використанням голкопробивної технології. Матеріал має підвищену опірність до механічних пошкоджень, не вступає в реакцію з хімічно агресивними середовищами, відрізняється стійкістю до дії з біологічним середовищем. Після чого влаштовуємо поліетиленову плівку, товщиною 2 мм та армовану цементну стяжку товщиною 20 мм.

а)



б)



Рис.2. Залізобетонний резервуар води: а – до реконструкції, б – під час проведення реконструкції

**Висновок.** Вибір типу гідроізоляції залежить від багатьох факторів залежно від умов експлуатації та технічних і економічних чинників. Особливістю вибору гідроізоляції підземних резервуарів є в першу чергу забезпечення нормальних експлуатаційних характеристик споруди при мінімальних витратах на проведені роботи. Тому для виконання гідроізоляції для кожного конструктивного елемента індивідуально обирався гідроізоляційний матеріал.

#### Бібліографічні посилання

1. ДБН В.2.5-74:2013. ВОДОПОСТАЧАННЯ ЗОВНІШНІ МЕРЕЖІ ТА СПОРУДИ. Основні положення проектування. Мінрегіон України, м. Київ, 2013 р., 301 с.
2. ДСТУ-Н В Е N 1991-4:20XX. Єврокод 1. Дії на конструкції. Ч. 4. Бункери і резервуари. – К.: Мінрегіонбуд України, EN 1991-4:2006, IDT. (Національний стандарт України).
3. <https://sanpol.ua/ua/library/tehnologii-gidroizolyatsii/vidy-gidroizolyatsii/>

## ФУНКЦІЇ ПРОМІЖНОГО ІНІЦІАТОРА В УМОВАХ НИЖНЬОГО ІНІЦІУВАННЯ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ

ШУКІЮРОВ А., МАРЧУК А., аспіранти, ГОНЧАРУК В., студент, КРАВЕЦЬ В., професор (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

### Анотація

Розглянуто можливості управління геометрією силового поля, генерованого вибухом бойовика, залежно від його форми, умов розташування в заряді, орієнтації відносно основного заряду, місця ініціювання. Вивчено можливості спрямування домінуючого енергетичного потоку в кутову зону дна свердловини. Наводяться особливості розвитку детонаційного процесу в свердловинному заряді, а також полів напружень і деформацій в прилеглому породному масиві в умовах нижнього ініціювання. КЛЮЧОВІ СЛОВА: вибух, енергетичне поле, осьовий імпульс, перебув, бойовик, кутова зона, радіально-кільцева тріщина, розрив, зона руйнувань, передача детонації, породний цілик

### Summary

The possibilities of controlling the geometry of the force field generated by the explosion of the booster, depending on its shape, conditions of location in the charge, orientation relative to the main charge, location of initiator are considered. Possibilities of directing the dominant energy flow into the angular zone of the bottom of the borehole were studied. The peculiarities of the development of the detonation process in the borehole charge, as well as the fields of stresses and strains in the adjacent rock mass under the conditions of lower initiation, are given.

KEY WORDS: Explosive, energetic field, axial pulse, overdrill, booster, angle zone, radial-circular crack, rupture, destroyed zone, detonation transmission, rock pillar

### Актуальність роботи.

Оскільки опір руйнуванню гірської породи з глибиною помітно зростає, умови роботи вертикального свердловинного заряду під час його детонації суттєво відрізняються по висоті уступу. Нижня частина заряду в області перебуру підривається в умовах повного камуфлету, середня частина – в умовах, наближених до камуфлету, верхня – в умовах роботи заряду ослабленого викидання.

Таким чином, окремий подовжений заряд працює по глибині в принципово різних умовах і забезпечує цілком відмінний за механізмом процес руйнування в різних ділянках руйнованого блоку. Найпростішим і найдоступнішим показником якості масового вибуху є процент виходу негабаритної фракції в розвалі зруйнованої породи. На жаль, він усереднює дані руйнування, тобто є показником, який не здатний диференціювати розподіл негабариту в породному розвалі по висоті уступу.

У відомих уявленнях про особливості руйнування породного масиву в цих зонах висаджуваного блоку найчастіше віддається перевага хвильовому механізмові руйнування, в якому певна роль відводиться відбитим від вільних поверхонь хвилям. Однак не слід ігнорувати роль обох динамічних чинників – хвилі напружень і поршневої дії вибуху. Міцність гірської породи як інтегральний показник її опірності руйнуванню, визначає ступінь участі цих чинників в механізмі розвитку деформаційного процесу. Зрозуміло, що в міцних і крихких породах хвилеві явища мають превалювати в початковому тріщиноутворенні. Можна припустити, що в нижній частині свердловинного заряду переважає роль хвильових явищ в загальному деформаційному процесі. В середній основній частині два чинники взаємно доповнюються, у верхній частині, очевидно, починає превалювати поршневий чинник, хоча деякими науковцями вважається можливою превалююча роль хвильових процесів в руйнуванні більш ослабленого верхнього шару на рівні набійки.

Складність картини руйнування зростає внаслідок застосування техніки короткосповільненого підривання свердловинних зарядів, об'єднаних в групи або ряди за відповідними схемами. Це суттєво підвищує можливості управління якістю подрібнення порід та одночасно ускладнює можливість комплексного наукового узагальнення закономірностей, що визначають кінцевий механічний ефект. Важко визначити окремо роль кожного параметра середовища та детонаційних характеристик джерела вибуху в загальному процесі вибухового руйнування, тому науковці і фахівці вибухової справи нерідко дотримуються різних підходів і думок щодо ролі і важливості широкого спектра параметрів буропідривних робіт, таких як міцність порід, зв'язана з нею тріщинуватість породи, відповідна питома витрата ВР. Звідси витікає призначення раціонального діаметра вибухових свердловин, в свою чергу обирається лінія опору по підшві, параметри розташування зарядів в групі та груп зарядів, тобто відстань між свердловинами в ряду, відстань між рядами. схема та послідовність підривання.

Дещо осібно розглядаються конструктивні особливості заряду (довжина перебуру та набійки, їх конструкція, засоби і способи розосередження заряду, умови ініціювання та ін.) як чинники управління якістю вибуху. Одночасно слід віддати належне дослідженням, пов'язаним з встановленням ролі таких вагомих чинників як детонаційні характеристики промислової вибухової речовини в заряді, величина ініціюючого імпульсу, послідовність ініціювання частин заряду та зарядів у системі, та ін..

#### **Аналіз стану досліджень**

У відомих уявленнях про особливості руйнування породного масиву в цих зонах висаджуваного блоку найчастіше віддається перевага хвилевому механізмові руйнування, в якому певна роль відводиться відбитим від вільних поверхонь хвилям. Однак не слід ігнорувати роль обох динамічних чинників – хвилі напружень і поршневої дії вибуху. Міцність гірської породи як інтегральний показник її опірності руйнуванню, визначає ступінь участі цих чинників в механізмі розвитку деформаційного процесу. Зрозуміло, що в міцних і крихких породах хвилеві явища мають превалювати в початковому тріщиноутворенні. Можна припустити, що в нижній частині свердловинного заряду переважає роль хвилевих явищ в загальному деформаційному процесі. В середній основній частині два чинники взаємно доповнюються, у верхній частині, очевидно, починає превалювати поршневий чинник, хоча деякими науковцями [1.2] вважається можливою превалююча роль хвильових процесів в руйнуванні більш ослабленого верхнього шару на рівні набійки.

Складність картини руйнування зростає внаслідок застосування техніки короткосповільненого підривання свердловинних зарядів, об'єднаних в групи або ряди за відповідними схемами. Це суттєво підвищує можливості управління якістю подрібнення порід та одночасно ускладнює можливість комплексного наукового узагальнення закономірностей, що визначають кінцевий механічний ефект. Важко визначити окремо роль кожного параметра середовища та детонаційних характеристик джерела вибуху в загальному процесі вибухового руйнування, тому науковці і фахівці вибухової справи нерідко дотримуються різних підходів і думок щодо ролі і важливості широкого спектра параметрів буропідривних робіт, таких як міцність порід, зв'язана з нею тріщинуватість породи, відповідна питома витрата ВР. Звідси витікає призначення раціонального діаметра вибухових свердловин, в свою чергу обирається лінія опору по підшві, параметри розташування зарядів в групі та груп зарядів, тобто відстань між свердловинами в ряду, відстань між рядами. схема та послідовність підривання.

Дещо осібно розглядаються конструктивні особливості заряду (довжина перебуру та набійки, їх конструкція, засоби і способи розосередження заряду, умови ініціювання та ін.) як чинники управління якістю вибуху [2...7]. Одночасно слід віддати належне дослідженням, пов'язаним з встановленням ролі таких вагомих чинників як детонаційні характеристики промислової вибухової речовини в заряді, величина ініціюючого імпульсу, послідовність ініціювання частин заряду та зарядів у системі, та ін.[5,8,9].

**Мета роботи** – вивчення закономірностей формування силового поля з урахуванням динаміки розвитку крайових ефектів вибуху свердловинного заряду обмежених розмірів з метою удосконалення технологічних параметрів масового вибуху.

**Матеріали досліджень.** За розташуванням заряду певних частин вертикального подовженого заряду в руйнованому гірському масиві його дія може характеризуватись як:

камуфлетна, що спрямовує енергію вибуху на подрібнення середовища без видимих пошкоджень поверхні масиву; вибух на спуснення, який за дією є перехідним між камуфленим вибухом та вибухом на викидання; вибух викидання, що в потрібному співвідношенні розподіляє енергію вибуху на руйнування масиву та його переміщення з утворенням воронки викидання; контактний або накладний вибух, метою якого в гірництві є використання бризантних властивостей накладного заряду для руйнування окремих породних брил або блоків без застосування бурової техніки. В основних і перехідних варіантах дії вибуху відіграють в більшому або меншому ступені хвильові явища та поршневий механізм руйнування.

Оскільки об'єктом дослідження є широко застосовувані вертикальні свердловинні заряди обмеженої довжини, належить розглянути такі умови ведення вибухових робіт, як наявність та кількість вільних поверхонь і особливості роботи окремих ділянок свердловинного заряду на уступі. Відомо, що проектування параметрів розташування системи свердловинних зарядів в умовах масового багаторядного підривання починається з визначення основного параметра – лінії опору по підосві (ЛОПП). Через цей параметр в подальшому визначаються відстань між рядами та відстань між свердловинами в ряду, маса та конструктивні особливості подовженого заряду. Оскільки свердловинний заряд у його верхній і нижній частинах взаємодіє з частинами масиву різного ступеня порушеності, умови роботи зарядів першого ряду найбільш складні. Нижня частина заряду в області перебуру підривається в умовах повного камуфлету, середня частина – в умовах, наближених до камуфлету, верхня – в умовах роботи заряду ослабленого викидання.

Таким чином, окремі частини подовженого заряду працюють по глибині в принципово різних умовах і забезпечують цілком відмінний за механізмом процес руйнування в різних ділянках по висоті руйнованого блоку. Найпростішим і найдоступнішим показником якості масового вибуху є процент виходу негабаритної фракції в розвалі зруйнованої породи. Однак цей показник не здатен диференціювати розподіл негабариту в породному розвалі по висоті уступу, оскільки навіть для окремого заряду цей показник залежить щонайменше від таких чинників, як вихідний стан масиву породи, проектні параметри заряду та його конструкція, включаючи проміжні ініціатори (бойовики), послідовність ініціювання заряду.

В реальних умовах ефективність взаємодії силового поля подовженого заряду з руйнованим середовищем набагато залежить від механізму переміщення детонаційного фронту по заряду і від механізму передачі вибухового імпульсу середовищу. Від співвідношення швидкостей детонації подовженого заряду і швидкості поширення фронту хвилі напружень в породному масиві залежатиме напрямок поширення цього фронту по породі. Згідно з [10] через нижнє розташування бойовиків у подовженому заряді створюються найбільш сприятливі умови для подовження часу дії вибуху на середовище, що дозволяє поліпшити дроблення породи на 15-20% та одночасно запобігти підвищеному розкиданню породи у верхній частині уступу. У відомій практиці масових вибухів поширені пошуки різних схем їх ініціювання, які можна поділити на такі групи – з точковим, багатоточковим та лінійним ініціюванням.

В часи домінування детонуючого шнура в якості основного ініціюючого засобу можливості управління динамікою розвитку силового поля суттєво обмежувались важливим негативним явищем – ущільненням та обгорянням ВР свердловинного заряду на контакті з ДШ, утворенням порожнини в заряді вздовж лінії ДШ та у надлишковим стисненням вибухової речовини. Ці явища призводили до непередбачуваної зміни детонаційних характеристик ВР та відповідно - до зменшення частини енергії вибуху, спрямованої на руйнування гірського масиву.

Масова заміна ДШ системою ініціювання типу Нонель кардинально розширила можливості управління силовим полем від вибуху свердловинного заряду через конструктивні особливості, які в першу чергу пов'язані з умовами його ініціювання. Згідно з дослідженнями характеру передачі енергії ініціюючого імпульсу в прилегле середовище на межі поділу «бойовик – середовище» відбуваються процеси [11], подібні процесам фомування відбитих та переломених хвиль в акустиці. Переміщення детонаційного фронту через межу розподілу середовищ супроводжується втратою певної частини енергії ініціюючого імпульсу, яка умовно характеризується коефіцієнтом екранування хвиль, що виражається співвідношенням [55]:

$$K_{\text{екр}} = \frac{1}{K_1 \cdot K_2} = \frac{(A_1 + A_2)^2}{4 \cdot A_1 \cdot A_2}$$

де  $K_1$  й  $K_2$  – коефіцієнти рефракції хвилі на границі поділу середовищ;

$A_1 = \rho_1 \cdot D_1$ ,  $A_2 = \rho_2 \cdot D_2$  – акустичні імпеданси бойовика і ВР;

$\rho_1, \rho_2$  – значення щільності бойовика і промислової ВР, кг/м<sup>3</sup>;

$D_1, D_2$  – швидкості детонації бойовика та ВР, м/с.

Використовуючи експериментальні дані, отримані для різних за детонаційними характеристиками пар «бойовик - ВР», автор [11] встановив, що існують енергетично оптимальні сполучення вибухових речовин у парі. Це означає, що в успішності передачі енергії бойовика в промислову ВР надзвичайно важливу роль відіграє співвідношення акустичних імпедансів ініціатора та ініційованої ВР. При істотному розходженні за величиною цих імпедансів можливе суттєве початкове падіння швидкості детонації ініційованої ВР внаслідок високого коефіцієнта відбиття енергії ініціюючого імпульсу, внаслідок чого росте втрата енергії ініціатора. В роботах [11,12] рекомендується попереджувати ці втрати шляхом збільшення маси бойовика, зміни акустичного імпедансу бойовика, зміни форми бойовика. В рамках цих досліджень розглядаються можливості застосування багатоточкового ініціювання свердловинного заряду [13...15]. В цьому випадку в залежності від розташування точок ініціювання в заряді система моделює або лінійний ініціатор (бойовики розташовуються вздовж заряду), або точковий ініціатор складної форми, що складається з трьох бойовиків, розташованих в заряді у вигляді прямого чи оберненого трикутника [14]. Щодо осьового багатоточкового ініціювання, найбільш раціональним є застосування двохточкової каскадної схеми, метою якої є підсилення в поперечному (радіальному) напрямку детонаційного імпульсу на заданій глибині свердловини – або на рівні підосви уступу, або на горизонті залягання прошарку більш міцної породи [15]. За цією схемою два бойовики розташовуються послідовно на осі свердловинного заряду на потрібній глибині. За триточновою схемою бойовики мають розташовуватись у вершинах трикутника, вписаного в поперечний переріз свердловини [14].

Двоточкова і трьохточкова схеми призначені переважно для вирішення проблеми, пов'язаною з перебуrom, коли необхідно скоротити його глибину та одночасно створити умови для формування горизонтальної площини відриву в підосві уступу. На жаль, плоска триточкова схема ускладнюється тим, що вона важко реалізується на практиці та не забезпечує симетричного відносно осі заряду об'ємного розвитку детонаційного фронту, а значить, відповідно і симетричного силового поля. Крім того, в цій схемі кожен проміжний ініціатор, або кожна конструктивна складова бойовика потребує окремого приєднання до ділянкової магістралі, що разом значно ускладнює виконання зарядних робіт і підвищує витрати на БВР. На наш погляд, за технологічними та економічними показниками слід замість складної ініціюючої конструкції виготовити з тротилу один бойовик відповідної архітектури, який за раціонального його розташування в заряді виконуватиме одночасно кілька функцій.

Першочергової уваги заслуговують умови та результати роботи нижнього торця свердловинного заряду, оскільки в зоні його дії вибухом можна вирішити одночасно кілька завдань, з яких найголовнішим є забезпечення якісного відділення руйнованого масиву на рівні підшви уступу без зайвих енергетичних витрат, які досі в практиці масових вибухів пов'язані з проблемою «перебуру».

Слід оцінити, чому відповідає збільшення частини заряду в області перебуру. Умовимося, що загальне посилення торцевої частини заряду для збереження інтенсивності силового поля на рівні лінії опору по підшві  $W_p$  дорівнює масі заряду в перебурі. Згідно з відомими методиками, при  $L_{пер} \approx 10d_z$  і діаметрі свердловинного заряду  $d_z = 100$  мм глибина перебуру складе 1,0 м, а маса заряду в перебурі  $S_p \approx 7$  кг, тобто для компенсації торцевого ефекту потрібно збільшити масу торцевої частини вдвічі. Розрахунки, наведені вище, рекомендують збільшення маси у 1,5...1,7 разів, однак слід враховувати, що ці розрахунки виконано без розрізнення умов експлуатації нижнього і верхнього торців свердловинного заряду. Що стосується експлуатації частини свердловинного заряду в зоні перебуру, то він функціонує в найбільш складних умовах максимального камуфлету, тому дворазове збільшення заряду нижнього торця (замість 1,5...1,7 рази) можна вважати виправданим. Однак не можна вважати єдиним рішенням збільшення торця заряду. Досвід досліджень показує [16,17], що існують достатньо ефективні сучасні конструктивні рішення. На жаль, ці рішення потребують конструктивних змін або в заряді, або в конфігурації свердловини, що певним чином ускладнює технологію БПР.

Створити умови для провокації відривних явищ у донній частині свердловини можливо іншими конструктивними рішеннями. Особливістю пропонованих рішень є створення архітектури свердловинного заряду, в якій проміжний ініціатор з більш потужної вибухової речовини порівняно з основним зарядом забезпечить формування на бічній поверхні свердловини зародкових порушень, що призведуть до утворення в процесі сумісного вибуху бойовика і заряду промислової ВР горизонтальної (радіальної) тріщини в площині підшви уступу, для чого потрібно спрямувати енергетичний потік по нормалі до похилої поверхні конічного заряду в кутову зону дна свердловини;

Досвід свердловинних геотехнологій свідчить, що в них в більшості ставиться задача створення горизонтальної зародкової тріщини для подальшого її розвитку гідророзривом в просторі, обмеженому потужністю продуктивного пласта. Якщо на початковому етапі технології не задати потрібний напрямок розвитку такої тріщини, цей процес буде некерованим, тому при вибуху через надто високий тиск в свердловині формуватиметься система вертикальних тріщин вздовж твірних циліндричної поверхні свердловини. Однак, якщо постає задача створення в нижній частині свердловини радіально-кільцевої (горизонтальної) тріщини для відмови від перебуру, техніка формування розриву потребує розробки спеціальних заходів. В свердловинних геотехнологіях пропонується використовувати торпеди з кільцевими тороїдальними або спеціальними кумулятивними зарядами, які здатні створити зародкову кільцево-радіальну тріщину глибиною 2-4 см [18]. Оскільки в умовах масових вибухів обробка кожної свердловини з застосуванням таких засобів технічно та економічно нераціональна, метод отримання зародкової радіально-кільцевої тріщини має бути максимально спрощеним.

Для вивчення можливостей методу досліджено наявність та параметри механічного ефекту вибуху модельного подовженого заряду в лабораторних умовах з використанням гранітних зразків [19]. Дані модельних досліджень і аналіз залежності наведеної глибини зони деформацій в обмеженій кутовій частині моделі від маси заряду свідчать, що розміри деформованої зони, або зони зминання наближаються до величини в межах 450-500 МКм. З подальшим збільшенням маси бойовика до 0,5 – 1 кг максимальна ширина зони зминання в кутовій частині дна свердловини може скласти  $\approx 2,1$  см, що з урахуванням наступної за нею зони мікротріщинуватості здатне однозначно визначити напрямок розвитку радіально-кільцевої тріщини в площині підшви уступу.

Раціональне використання енергії вибуху проміжного бойовика в бічному напрямку можливе шляхом заміни його циліндричної форми на більш складну, наприклад, конічну, розраховану на формування концентрованого енергетичного потоку, спрямованого по



нормалі до похилої бічної поверхні в кутову зону дна свердловини для провокування зародку радіальної відкольної тріщини в площині підшви уступу. Відома техніка відхилення енергетичного потоку шляхом використання інертних конічних вставок з оптимальним кутом розкриття конуса [20,21]. Але більш ефективно застосувати придонний заряд складної форми для орієнтації потоку енергії вибуху в напрямку кутової зони в дні свердловини, або просто встановити проміжний бойовик конічної форми в дні свердловини співвісно з зарядом, звернутий широкою основою конуса в сторону розвитку детонації. Розташований в нижній частині заряду, такий бойовик при його орієнтації широкою основою вгору, тобто у вигляді зворотного конуса, може вирішувати одночасно три завдання. В першу чергу такий конічний проміжний детонатор забезпечує оптимальний режим ініціювання свердловинного заряду завдяки максимальному контакту торцевої поверхні бойовика своєю широкою основою з ініційованим зарядом. В ідеалі верхня широка основа бойовика, яка контактує з зарядом, за площею має наближатись до поперечного перерізу заряду (рис. 1).

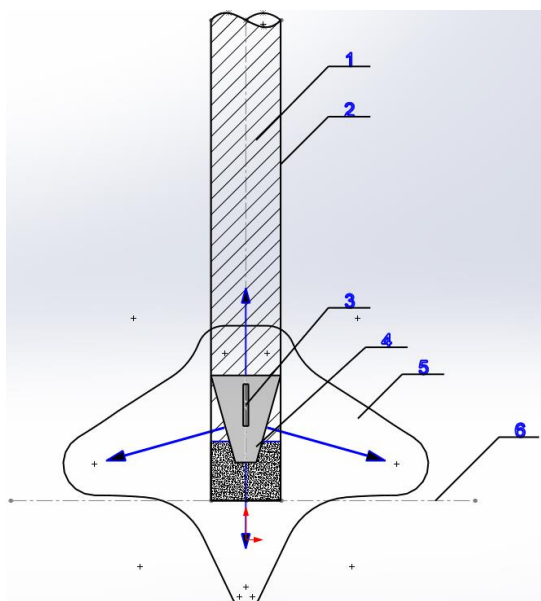


Рис. 1 Схема розвитку силового поля в нижньому торці заряду: 1 - свердловинний заряд, 2 - свердловина; 3 - капсуля, 4 - бойовик; 5 - контур фронту хвилі напружень від вибуху бойовика, 6-підшва уступу.

Розглянуто аналітично можливості пріоритетного скерування енергетичного потоку та відповідно деформаційного поля шляхом застосування оберненого конічного проміжного детонатора (бойовика). Приймаємо, що в якості бойовика використовується литий троти масою 0,7кг, в якості свердловинного заряду – сумішева ВР типу ANFO з відповідними детонаційними характеристиками. На рис.2 бічну межу конічного бойовика позначено прямою ВС, стінку свердловини на межі з зарядом ANFO – прямою BWLQM.

Обчислення параметрів деформованої області виконано для міцної кристалічної породи – кварциту міцністю на всестороннє стиснення  $P_{Гр} = 400\text{МПа}$ . Визначено межі області руйнування, на якій досягається в присвердловинному масиві прийняте значення  $P_{Гр}$  від дії комбінованого заряду в нижній торцевій частині свердловини з урахуванням розвитку процесу в часі на стінці свердловини (рис.3).

Аналіз конфігурації зони руйнування гірської породи від вибуху комбінованого торцевого заряду вказує на те, що на досліджуваній області свердловини між точками В - М випереджуюча дія комбінованого заряду відзначається в межах ділянки W - L, що узгоджується з грушовидною формою



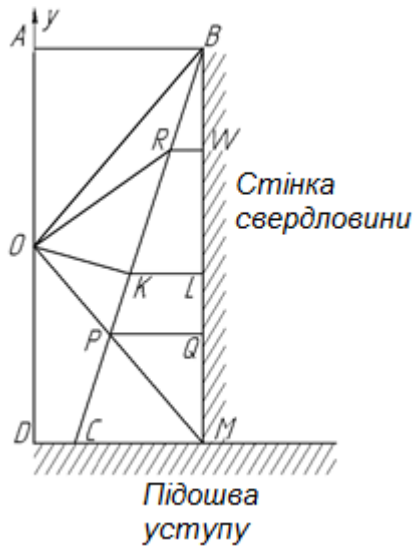


Рис.2. Схема до розрахунку деформаційних параметрів під дією комбінованого торцевого заряду «конічний бойовик – свердловинний заряд ANFO»

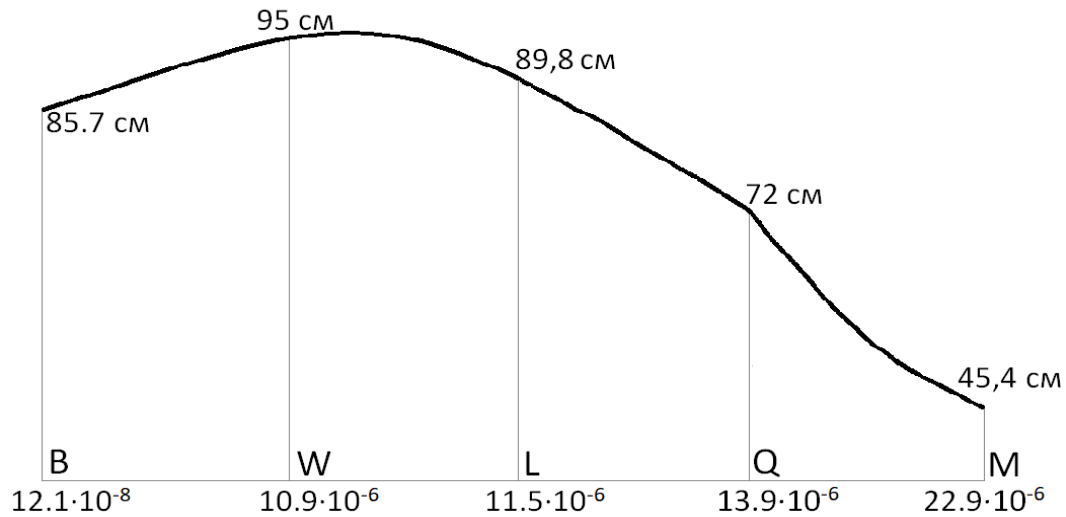


Рис.3. Розрахунковий радіус області руйнування по висоті свердловини в області нижнього торця

силового поля від вибуху оберненого конічного заряду, отриманою математичним моделюванням [22].

Аналіз конфігурації зони руйнування гірської породи від вибуху комбінованого торцевого заряду вказує на те, що на досліджуваній області свердловини між точками В - М випереджуюча дія комбінованого заряду відзначається в межах ділянки W - L, тобто помітно нижче порівняно з даними рис.3.14, що узгоджується з грушоподібною формою силового поля від вибуху оберненого конічного заряду, отриманою математичним моделюванням.

За інтенсивністю та формою поля превалюючий напрямок розвитку силового поля забезпечує бічну розклинюючу дію на контакт торця свердловини з породним масивом, скеровану в напрямку підшви уступу. Отже, в результаті розрахунку кінчна форма бойовика за його одночасної детонації з основним зарядом свердловинної ВР позитивно впливає на отримання потрібного превалюючого напрямку дії в системі «бойовик-заряд» в бічному напрямку. Така дія має сприяти утворенню порушень у стінці свердловини на рівні її дна, які в подальшому розвитку детонаційного розкладу свердловинного заряду мають розвинути в горизонтальну радіальну тріщину відриву по площині підшви уступу В практиці БВР бойовик, в якому бічна твірна створює з широкою основою кут в  $70^\circ$ , підвішують на детонаційному хвилеводі співвісно з зарядом широкою основою в напрямку розвитку в заряді детонаційного процесу, забезпечує розвиток грушоподібного

силового поля. Воно спрямовує значну частину потоку енергії переважно в радіальному напрямку в кутову область дна свердловини [23]. Створювана при цьому серповидна в поперечному розрізі деформована область на стінці свердловини слугує зародком радіальної тріщини, що розвивається в часі вибуху свердловинного заряду на рівні підшови уступу. В якості елемента техніки підривання в роботі запозичено рішення з праці [24], в якій доведено, що залишений в дні свердловини шар бурового шламу висотою близько діаметра свердловини працює як захисна прокладка в осьовому напрямку. Успішність застосованого методу ведення масових вибухів з використанням технологічних результатів досліджень в роботі підтверджено серією промислових масових вибухів в рудоносних кварцитах, за яких повністю ліквідовано потребу в перебури.

Усічений конічний бойовик, встановлений співвісно з циліндричним зарядом в його донній частині та ініційований з широкої основи і орієнтований вузькою основою в напрямку перебуру, виконує в донній частині заряду одночасно потрібне призначення:

- ініціювання нормального детонаційного процесу в осьовому напрямку;
- формування енергетичного потоку по нормалі до похилої поверхні конічного заряду в кутову зону дна свердловини;
- формування в проміжку між суміжними зарядами зустрічних полів напружень і деформацій, спрямованих в умовах одночасного підривання сумарно в бік приповерхневого шару (рис.4).

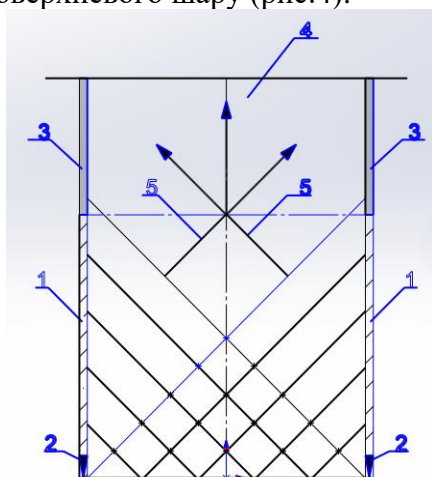


Рис.4. Схема взаємодії свердловинних зарядів розпушування в умовах одночасного нижнього ініціювання 1 - свердловинний заряд, 2 проміжний бойовик, 3 - набійка, 4 - нейтральний надторцевий шар породи, 5 - вектори переміщення взаємодіючих силових і деформаційних фронтів.

Зустрічні зрушення на стадії висхідних масових переміщень в руйнованому міжзарядному об'ємі породи представляються нам новим ефективним елементом технології, що переймає досвід підривання за ефективною системою клинового або трапеційного вруба, але у вертикальному напрямку, тобто дія вруба спрямовується вгору в надторцевий породний шар на рівні набійки. Таким чином, закладається основа нової технології ведення масових вибухів групами зарядів з (2-х...3-х рядів, які висаджуються одночасно. Традиційні періоди мілісекундного сповільнення, потрібні для запобігання надмірного сейсмічного ефекту, встановлюються між цими групами, тобто реалізується комбінована схема КСП «вертикальний клин», в якій можуть бути використані результати вище наведених досліджень.

## Висновки

З викладеного слідує:

- вибух конічного бойовика в свердловинному заряді за умови нижнього його розташування в свердловинному заряді при орієнтації бічної поверхні конуса на кутову зону дна свердловини формує радіально-кільцеву область деформацій глибиною до 90см; оскільки ініціювання в зазначеному варіанті відбувається з широкої основи усіченого

конуса в напрямку вузької основи, більш чітко проявляється вплив бічних похилих поверхонь заряду. Завдяки такій архітектурі заряду домінує бічний напрямок розвитку деформацій середовища на рівні підоснови уступу;

- рекомендована орієнтація бойовика широкою основою в напрямку розвитку детонації заряду забезпечує одночасне прикладання ініціюючого імпульсу в площині поперечного перетину свердловинного заряду та створює раціональні умови формування зони розгону детонації в свердловину заряді в режимі пере стиснення;

- при нижньому розміщенні проміжного ініціатора з комутацією вибухової мережі системою типу Нонель зменшуються енергетичні втрати силового поля на рівні верхніх торців суміжних зарядів, ізоляції силового поля зберігають загальну осьову симетрію, покращуючи умови руйнування масиву на рівні верхніх торців суміжних зарядів.

- одночасне нижнє ініціювання об'єднаних в групу кількох суміжних рядів зарядів породжує зустрічні похилі хвильові і деформаційні фронти, звернені результуючим вектором у бік верхньої вільної поверхні і взаємодіючі в режимі вертикального клинового врубру зі зниженням на 5% виходу негабаритної фракції.

### Література

1. Адушкин В.В. Модельные исследования разрушения горных пород/В.В.Адушкин / Физические процессы взрывного разрушения горных пород.М.:1999.-С.18-29.

2. 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. (4)

3. Воробьева Л.Д. Исследование влияния кумулятивного эффекта на давление в воздушном пространстве при взрыве рассредоточенного заряда / Л.Д.Воробьева / Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». Наук.зб. - Киев: НТУУ «КПІ», 2005. - № 12. - с. 53-58.

4. Кравец В.Г. Вплив геометричних і енергетичних параметрів ініціатора на механізм розвитку детонації в подовженому заряді/ В.Г.Кравец, В.Л.Демещук / Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. - К.: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух». - 2002. - Вип. 7. - С. 64-71.

5. Федоренко П.И. Взрывные работы на глубоких карьерах/П.И. Федоренко, В.И.Борисов,К.А.Гапоненко/. Кр. рог: Минерал, 1996. – 154 с.

6. Kochanov A. N. Wave prefracturing of solid rocks under blasting/ A. N.Kochanov, V. N. Odintsev / Journal of Mining Science. – 2016. – V. 52, №6. – P.1080-1089.

7. Rock mass blasting by Borehole Charge with Low-Density Tamping/ I.Katanov / III International Innovative Mining Symposium . E3S Web of Conferences – 2018, 41. – P.1–4.

8. Поплавський В. А.Фізико-технічні аспекти безпеки вибухових робіт на відкритих гірничих розробках / В.А.Поплавський/.-К.: ННДІОП. 2006.-116с.

9. Сидоренко Ю.М. Методика двумерного комп'ютерного моделювання процесів функціонування взривоопасних осколочных боеприпасов/ Ю.М. Сидоренко/ Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2005, (№1): 18-21.

10. Кравец В.Г. Підривні роботи на кар'єрах/ В.Г.Кравец, В.Д.Воробйов , А.О.Кузьменко/. - К., НДО Віпол, 1994. - 375 с.

11. Шукюров А.М. Удосконалення технологічних параметрів масового вибуху в умовах розробки родовищ на гірських схилах. Дисертація доктора філософії /А.М.Шукюров/ Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», 2020.- 191с.

12. Кравец В.Г. Вплив геометричних і енергетичних параметрів ініціатора на механізм розвитку детонації в подовженому заряді/ В.Г.Кравец, В.Л.Демещук / Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. - К.: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух». - 2002. - Вип. 7. - С. 64-71.

13. Копка І.О. Розробка конструктивних елементів подовженого заряду для управління механічним ефектом вибуху/І.О.Копка/Магістерська дисертація.К.: КПІ, 2016.- 105с.
14. Пеев А.М. Управление газодинамическими процессами продуктов детонации в донной части скважины/А.М.Пеев / Проблемы создания новых машин и технологий. Сборник научных трудов Кременчугского государственного политехнического института. Выпуск 2/1999 (7). – Кременчуг: КГПИ, 1999. – С. 438 – 440.
15. Фролов О. О. Використання ефекту зустрічі детонаційних хвиль для підсилення дії вибуху на рівні підшви уступу /О.О. Фролов / Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. –2001. – Вип. 6. – С. 63-65.
16. Гапоненко Л.А.Свердловинний заряд з повітряними проміжками/ /Л.А.Гапоненко// патент UA 119296, опубл. 25/09/2020. – Бюл.№18.
- 17- 53. Моделирование динамического разрушения донной части скважины с учётом концентратора напряжений /В.В.Воробьев, М.В.Помазан, С.В.Шлык, Л.Д.Воробьева/ Восточно-европейский технологический журнал. - 2017, -3/1 (87) .- с. 53-62.
18. Михалюк А.В. Импульсный разрыв пород/А.В.Михалюк, Ю.И.Войтенко/ – К.: Наук. Думка – 1991. – 204 с.
19. Regularities of the Energy of Formation Field in the Explosion of a Conical Charge /Viktor Kravets, Roman Zakusylo, Yuri Sydorenko, **Azer Shukurov**, Tomasz Sałaciński, Daryna Zakusylo/ Central European Journal of Energetic Materials/ 2019,16, (4): P.533-546
20. Керування крайовим ефектом вибуху./ Evtushenko, I.Копка, О.Lunytsh, A.Shukurov, V.Kravets. / NTUU «Ihor Sikorsky Kyiv Politechnical Institute» II International scien.-tech Conference «Problems of Geoengineering and Underground Urbanistic» 16-17 May 2019
21. Ган А.Л. Формування керованого площинного розриву в гірському масиві/А.Л.Ган/ Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, НТУУ «КПІ», К.: 2011.- 23с.
22. Пеев А.М. Управление газодинамическими процессами продуктов детонации в донной части скважины/А.М.Пеев / Проблемы создания новых машин и технологий. Сборник научных трудов Кременчугского государственного политехнического института. Выпуск 2/1999 (7). – Кременчуг: КГПИ, 1999. – С. 438 – 440.
23. Спосіб формування свердловинного заряду вибухової речовини при проведенні масових вибухів./В.В.Бойко, В.Г.Кравець, А.М.Шукюров, Т.В.Хлевнюк, А.Л.Ган/Декл. пат. № 135668 публ. 10.07.2019р. Бюл. №13,
24. Гапоненко І.Л. Підвищення ефективності відбійки гірських порід зарядами з повітряною порожниною в донній частині свердловин на залізрудних кар'єрах. Автореферат дисертації канд.техн.наук /І.Л.Гапоненко/ Кривий Ріг: Криворізький нац. університет, 2016.- 20с.

## URBAN SEISMIC-ACOUSTIC POLLUTION

The article considers the feasibility of monitoring seismic-acoustic pollution of urbanized massifs of a megalopolis from the point of view of controlling the impact of seismic-acoustic vibrations arising as a result of anthropization factors in the functioning of megalopolises and industrial zones on the safety and stability of land masses and structures in and on them.

В статті розглядається доцільність контролю сейсмоакустичного забруднення урбанізованих масивів мегаполісу з точки зору контролю впливу сейсмоакустичних коливань, що виникають в результаті техногенних факторів функціонування мегаполісів та промислових зон, на безпеку та стабільність земляних масивів та конструкцій на них.

**Introduction.** Recently, the scientific society of the developed countries of the world pays more and more attention to the study of the anthropization impact of human activity on the seismic vibrations of the earth's crust. The emergence and rapid spread of the Covid-19 pandemic caused a lull in the industrial and human settlements of the planet and made it possible not only to visually see this effect, but also to conduct a study of seismic vibrations that are lost in the seismic noise of human activities. To obtain such data, seismographs and fiber optic cables are used [1]. Figure 1 shows a decrease in the average soil displacement during the period of restrictive measures in Enshi, Hubei, China (a), New York, USA (b), Los Angeles, USA (c). [2]

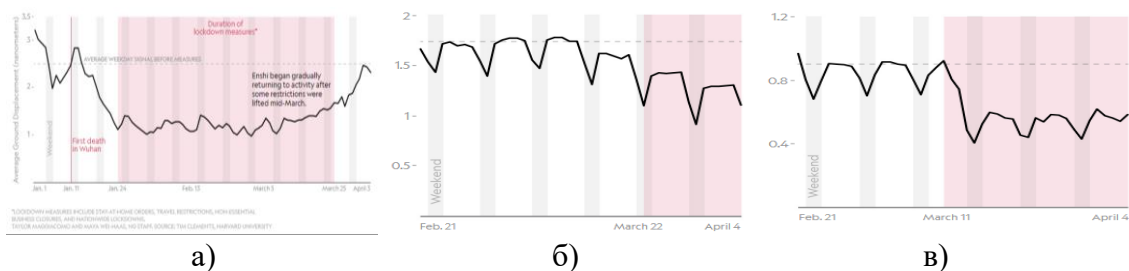


Fig. 1. Decrease in the average soil displacement during the period of restrictive measures in Enshi, Hubei, China (a), New York, USA (b), Los Angeles, USA (c). [1]

**The analysis of researches and publications.** Sources of industrial noise in megacities are the movement of road, rail, metro, take-off and landing of aircraft, the operation of mechanisms, especially during construction. [3] Research conducted in Benevento showed the feasibility and appropriateness of using seismic noise using an aperture grid to study the subsoil in an urban area [4].

**The purpose of this work.** Conducting research on the registration of seismic-acoustic pollution within the city at existing construction sites with the development of recommendations for establishing a system for recording seismic-acoustic pollution and analyzing signals.

**Materials and research results.** A device for fixing the effect of seismic acoustic vibrations on underground structures [5] has been made. It is the basis for studying the subsoil of the city based on the analysis of recorded seismic-acoustic pollution.

In studies on the distribution of seismic-acoustic pollution within the central part of the city during microtunneling, the seismic-acoustic pollution control system recorded the rarefaction of land masses at a high groundwater level. The studies were carried out at a depth

of 10 m directly in the face of a mechanized tunneling shield and on the day surface. These studies have shown the effectiveness of the developed system.

Fig. 2. The process of measuring seismic-acoustic pollution directly in the face (a) and on the surface (b) of the manufactured and developed original device is shown.

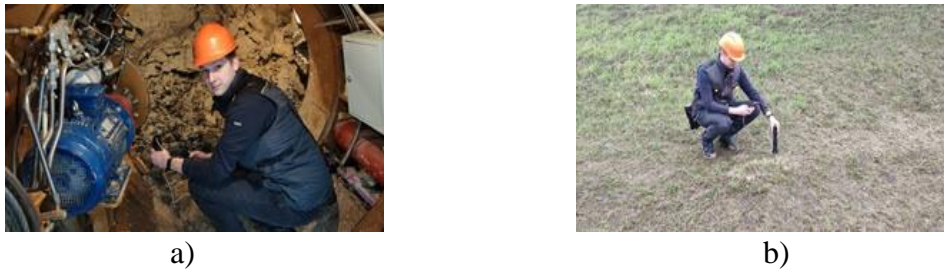


Fig. 2. The process of measuring seismic-acoustic pollution in the face (a), and on the surface (b)

To study seismic-acoustic pollution, and then to create a control system for urbanized arrays to prevent accidents, a system for their installation is proposed. Therefore, the most optimal is the collection of data from a large number of sensors. The system is a network of wells in the studied urbanized array of seismic acoustic sensors installed at the bottom and processing and data transmission points.

When placing a seismic-acoustic monitoring system in an urban array, you can get 3 or more options for signal registration schemes, namely a triangular (Fig. 3.a), rectangular (Fig. 3.b) and cruciform (Fig. 3.c) schemes.

The triangular diagram makes it possible to obtain more accurate analysis results in connection with the reception of data at angles less than  $45^\circ$  on the plane. Analysis of the location and characteristics of the signal is carried out on the basis of 3 time intervals of the recorded signals. Modern technologies with a large operating memory make it possible to carry out calculations of such complexity.

The rectangular diagram is a seismic-acoustic sensors placed at an angle of  $90^\circ$ . In this case, the topographic and geodetic reference is the determination of the coordinates of the installation of the second sensor of seismic-acoustic observation and the determination of the direction and distance to the installation sites of the first and third sensors  $x_{M2}$ ,  $y_{M2}$ ,  $l_{21}$ ,  $l_{23}$ ,  $\alpha_{23}$ ,  $\alpha_{21}$ . From the right triangle  $M_2N_1M_1$  is visible

$$\cos \beta = M_2N_1/l_{21}, \text{ but } M_2/N_1 = C\tau_{21},$$

where  $C$  – wave velocity in the direction from the source to  $M_2$ ;  $\tau_{21}$  – linear base count  $l_{21}$ .

$$\text{Then } \cos \beta = C\tau_{21}/l_{21}$$

The diagram shows that the triangle  $M_2M_3N_1$

$$\cos(90^\circ - \beta) = M_2N_2/l_{23} \text{ but } M_2/N_2 = C\tau_{23}$$

where  $C$  – wave velocity in the direction from the source to  $M_2$ ;  $\tau_{23}$  – linear base count  $l_{23}$ .

$$\text{Then } \cos(90^\circ - \beta) = C\tau_{23}/l_{23}$$

We divide the left and right sides of the equation into the corresponding parts of the equation, we get

$$\cos(90^\circ - \beta)/\cos \beta = C\tau_{23}l_{21}/C\tau_{21}l_{23} = \tau_{23}l_{21}/\tau_{21}l_{23}$$

If by the condition of breaking the base  $l_{23} = l_{21}$  then  $\sin \beta/\cos \beta = \tau_{21}/\tau_{23}$

As a result, we get  $\tan \beta = \tau_{21}/\tau_{23}$ ,  $\beta = \text{arc tg}(\tau_{21}/\tau_{23})$

Here, the angle  $\beta$  – the direction to the source of seismic-acoustic vibrations is deduced from the value of the directional angle  $\alpha_{21}$  of the linear base between the first and second sensors. It is necessary to pay attention that in the calculations of the angle  $\beta$ , the value of the speed of sound is taken into account when calculating the correction to the angle  $\beta$  for the shift of the cent of the seismic acoustic wave.

The cross-shaped seismic-acoustic monitoring scheme is the best of the proposed ones



due to the fact that it does not have the recommended range of directivity to the sound source. This circuit is a variant of a rectangular circuit with a remote 4th sensor. Using this scheme allows you to measure the speed of propagation of a seismic-acoustic wave at the time of its passage in the system. The disadvantage of the circuit is the need for accurate sensor installation. Relative to the center of the cruciform system, the sensors should be exactly  $90^\circ$  and at the same distance.

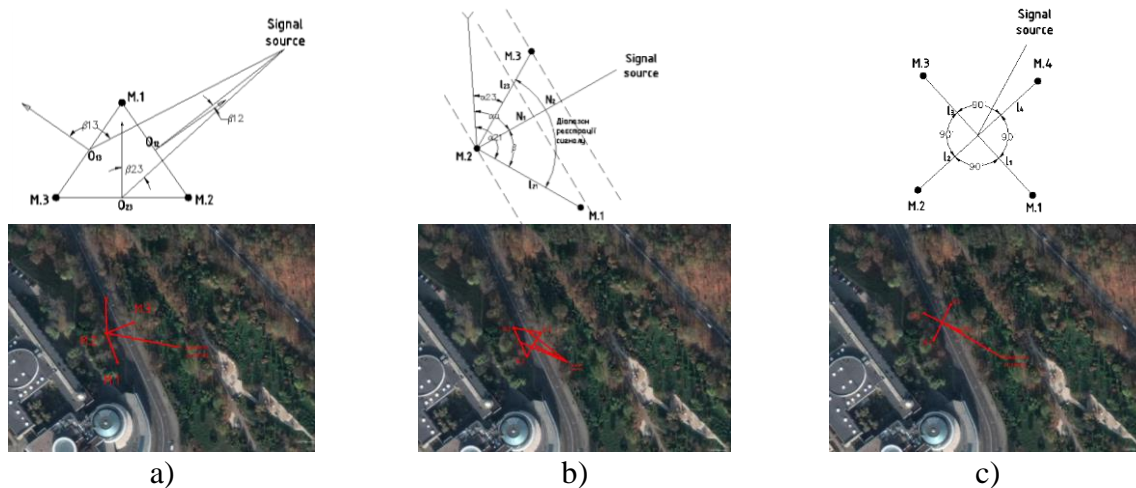


Fig. 3 Scheme and topographic location of seismic-acoustic signal sensors:  
a - triangular, b - straight, c - cruciform

The verification of the appropriateness of recording the seismic-acoustic signal to the proposed schemes was checked on the slope of the Dnieper River in the central parts of the city. The location and characteristics of the source of seismic-acoustic vibrations were calculated using a triangular (Fig. 3.a), rectangular (Fig. 3.b) and cruciform (Fig. 3.c). The accuracy of the research results shown is 90%.

**Conclusions.** The result of the research is the proposed system for monitoring the condition of retaining walls in megalopolis and industrial zones with seismic-acoustic pollution. The system will allow you to control the structure and the land mass in real time. When registering the processes of deformation, destruction, the operator can determine the causes, prevent damage to property and save human lives.

In this case, it is recommended that the system be installed at the lower and upper levels with a step of installing a grid of wells of 15 m in two rows (a cross-shaped diagram) and a well depth of 7 m. Wells are poured with concrete and closed on the surface for maintenance.

Upon completion of the installation, the sensor system is tied to points of the geodetic network. Performing geodetic reference improves the accuracy of the results of seismic-acoustic observations.

### References.

- 1- URL: <https://www.nationalgeographic.com/science/2019/11/mysterious-tectonic-fault-zone-found-off-california-using-fiber-optics/>
- 2- URL: <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/04/coronavirus-is-quieting-the-world-seismic-data-shows/>
- 3- Nima Riahi, Peter Gerstoft. The seismic traffic footprint: tracking trains, aircraft, and cars seismically. *Geophys. Res. Lett.* 42, 2015
- 4- Vassallo M., De Matteis R., Bobbio A., Di Giulio G., et al. Seismic noise cross-correlation in the urban area of Benevento city. *Geophys. J. Int.* 217, 2019
- 5- Олефір А.О. Розробка способу керування сейсмоакустичним впливом на конструкцію підземних споруд: дис. на здобуття наук. ступеня магістра: 184 / Олефір Андрій Олексійович – Київ, 2018

## ОЦІНКА ДЕКОРАТИВНОСТІ КАМЕНЮ ДОБРІНСЬКОГО РОДОВИЩА ЛАБРАДОРИТУ

*Визначена декоративність лабрадориту Добринського родовища для виготовлення декоративної плитки та предметів інтер'єру. Проаналізований розмір блоку лабрадориту для видобутку у відповідності з крупністю зерен та природної тріщинуватості родовища.*

*The decorativeness of the labradorite of the Dobryn deposit for the production of decorative tiles and interior items has been determined. The size of the labradorite block for extraction according to the grain size and natural fracture of the deposit was analyzed.*

**Вступ.** У геоструктурному відношенні Добринське родовище лабрадориту перебуває на північному заході Українського щита, у південній частині Коростинського плутона і прилягає до східної частини Володарсько-Волинського масиву основних порід. Характерною рисою цього району є неглибоке залягання кристалічного фундаменту, перекритого малопотужною товщею мезокайнозойських утворень, що і обумовило виявлення Добринського родовища лабрадориту. Максимальна потужність лабрадориту 48,8 м розкрита пошуковою свердловиною № 71 в 1979 р. при проведенні пошукових робіт на блочний камінь Житомирської ГРЕ. Родовище лабрадориту характеризується крупними та гігантозернистими зернами з кольором від темно-сірого до чорного, наявна темно-синя іризація зерен плагіоклазу, які становлять всю площу родовища і не перебудовані на всю глибину. Дослідження дозволяє зменшити людський фактор під час визначення кольору, що впливає на об'єктивність оцінки. Разом з тим зі збільшенням в наш час асортименту декоративного каміння виникає потреба у більш чіткому та якісному розмежуванні гірських порід [1].

**Аналіз літературних джерел.** Вперше розроблені методики визначення тріщинуватості та мікротріщинуватості блоків природного декоративного каменю з застосуванням кольорової дефектоскопії з подальшою комп'ютерною обробкою запропонував у своїй дисертації В.В. Коробійчук [2]. Автор встановив, що основою застосування інформаційно-комп'ютерних технологій є вимірювання кольориметричних і геометричних характеристик поверхні зразків гірських порід та промислових виробів з природного каменю. Такі вимірювання виконуються шляхом формування та цифрової обробки відео-зображень поверхні вибоїв, орієнтованих зразків та виробів.

Методика автоматизованої оцінки декоративності гірських порід викладена в [1] і базується на кваліметричній оцінці декоративності природного каміння. Зазначена програма дозволяє оптимально та об'єктивно за короткий час провести оцінку: полягає у дослідженні основних показників декоративності гірських порід, згідно з якою будемо оцінювати Добринський лабрадорит.

**Мета роботи.** Дослідити і визначити декоративність Добринського лабрадориту та оптимальні розміри блоку для видобування.

**Матеріали і результати досліджень.** Для оцінки декоративності було використано 2 етапи оцінки. На першому етапі оцінки виконується визначення кольору гірської породи (відтінок, насиченість, світлота), дослідження текстурно-структурних властивостей (структура, текстурний рисунок, контрастність), індивідуальних особливостей (оптичні ефекти, просвічуваність, включення, які позитивно впливають на декоративність) та формулюються отримані результати.

На другому етапі до розробленої методики оцінки декоративності вносять основні показники декоративності, отримані під час першого етапу, здійснюється обрахування бальної оцінки залежно від категорії ознаки з урахуванням коефіцієнтів, що підвищують чи понижують значення основного показника декоративності. Результати обрахунку декоративності Добринського родовища заносимо до таб. 1.



Розрахунок оцінки декоративності здійснюється за формулою:

$$D = C * K_{bc} * K_{wc} + T_s * K_{bts} * K_{wts} + I * K_{bi} * K_{wi} = (7 + 7 + 4) * 0,6 * 0,5 + (4 + 1 + 7 + 1) * 0,6 * 0,5 + (4 + 0 + 0) = 5,4 + 3,9 + 1,2 = 10,5$$

де: C = 18 – колір(відтінок+світлота+насиченість),

$T_s = 13$  – текстурно-структурні особливості(структура+текстурний рисунок+ контрастність),

I = 4– індивідуальні властивості декоративного каміння(оптичні ефекти + просвічуваність + включення),

$K_{bc} = 0,6, K_{bts} = 0,6, K_{bi} = 0,6$  - підвищувальний коефіцієнт для кожного показника декоративності;

$K_{wc} = 0,5, K_{wts} = 0,5, K_{wi} = 0,5$  – знижувальний коефіцієнт для кожного показника декоративності,

На рисунку 1 зображено зовнішній вигляд лабрадориту Добринського родовища.

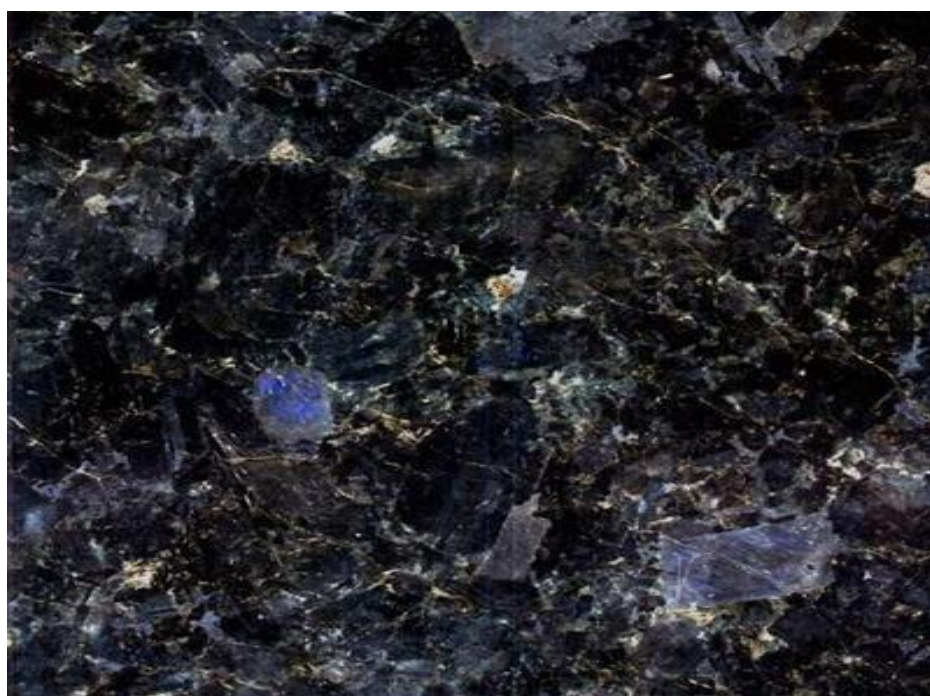


Рисунок 1 - Зовнішній вигляд лабрадориту Добринського родовища

Таблиця 1

Визначення декоративності лабрадориту Добринського родовища за показниками декоративності гірських порід

№	Основні показники декоративності	Визначені параметри	Оцінка
1	Відтінок	Синьо - чорний	7
2	Насиченість	Насичений	4
3	Світлота	Сірувато - чорний	7
4	Структура за абсолютними розмірами	Гігантозерниста	4
5	Структура за відносними розмірами	Не рівномірнoзерниста	1
6	Текстурний малюнок	Однорідний масивний	7
7	Контрастність	Контрасний	1
8	Оптичні ефекти	Іризація	4
9	Просвічуваність	Не просвічує	0
10	Включення	Не прийняті	0
11	Понижуючий коефіцієнт		0,6
12	Підвищуючий коефіцієнт		0,5
Декоративність			10,5

Природна тріщинуватість каменю не висока, що дає нам змогу видобувати блоки за двохстадійною схемою розробки. З оцінки визначення декоративності пропонується видобувати блоки з розмірами – ширина -3 м, висота – 3 м , довжина – 4 м. На рисунку 2 зображено моноліт лабрадориту та схему його розподілу на менші блоки.

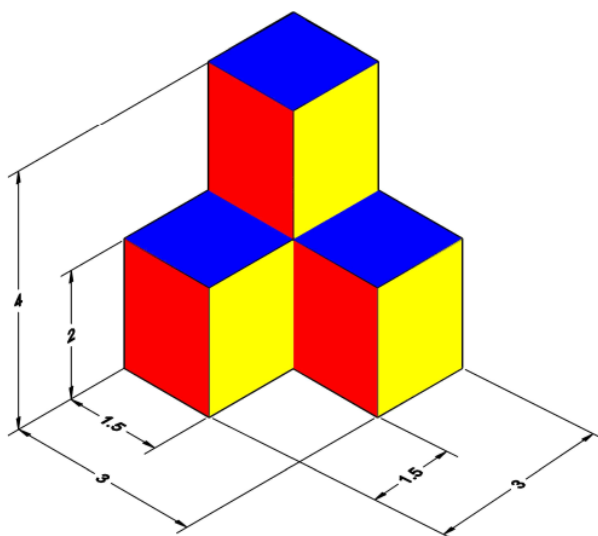


Рисунок 2 – Схема розпилу блоку Добринського родовища

#### **Висновки.**

У результаті дослідження і визначення декоративності корисної копалини встановлено, що лабрадорит розпилюється без викрашувань, приймає полірування високої якості.

Лицьова поверхня всіх полірованих зразків рівна із дзеркальним блиском, що повністю виявляє природне фарбування і малюнок каменю.

По цих породах виконаний комплекс випробувань по їх якості, як матеріал для декоративно-облицювальних виробів (декоративної плитки та предметів інтер'єру) і виготовлення щебеню. Якість корисної копалини відповідає вимогам ДСТУ.

Розраховували декоративність Добринського лабрадориту з оцінкою в 10,5 балів та визначили оптимальні розміри блоку для видобутку за двохстадійною схемою – 3\*3\*4 м.

#### **Список використаних джерел:**

1. Гелета О.Л., Ільченко Т.А., Сергієнко І.А., Кічняєв А.М., Горобчишин О.В., Ляшок В.І. Методика автоматизованої оцінки декоративності гірських порід. *Коштовне та декоративне каміння*. 2017. №1. С. 9 -14.

2. Коробійчук В.В. Управління якістю блоків декоративного каменю за допомогою кваліметричних та інформаційно-комп'ютерних технологій : дис. на здобуття наук. ступеня к-та тех. наук : 05.15.03. Київ, 2008.

3. ДСТУ Б В.2.7-59-97 Будівельні матеріали Блоки із природного каменю для виробництва облицювальних виробів. Загальні технічні умови [Чинний від 1997-03-11]. Київ, 1997. 60 с. (Будівельні матеріали)

4. ДСТУ 23845-86 Породи скельні для виробництва щебенів для будівельних робіт. Технічні вимоги та методи досліджень [Чинний від 1987-07-01]. Москва, 1986. 16 с. (Технічні вимоги та методи досліджень)

5. ДСТУ 7392-85 Щебені для баластового шару ж/д шляху[Чинний від 1986-01-01]. Москва, 1985. 14с. (Технічні умови)

6. ТУ 21-10-69-89 Камінь будовий [Чинний від 1990-01-01]. Москва, 1989. 15 с. (Технічні умови)

*І.А. Дем'янов, студент, О.О. Фролов, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

## **АНАЛІЗ НЕВИБУХОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ ВАПНЯКУ НА КАР'ЄРАХ**

*Проаналізовано існуючі світові технології видобування вапняку відкритим способом. Наведена класифікація невибухових способів розробки вапняків. Встановлено, що застосування на кар'єрах комбайнів є перспективним напрямком розвитку відкритого способу розробки, який дозволяє поєднувати в один процес декілька основних виробничих операцій, а саме: підготовку гірських порід до виймання, безпосередньо виймання і дроблення. Застосування кар'єрних комбайнів виключає переєкстацію розкривних порід в процесі розробки родовища.*

*The existing world limestone mining technologies are analyzed. The classification of non-explosive limestone mining methods is given. It has been established that the use of combines in quarries is a promising direction for the development of an open method of development, which allows combining several main production operations into one process, namely: preparing rocks for excavation, directly extracting and crushing. The use of mining combines eliminates the re-excavation of overburden during the development of the field.*

**Вступ.** На сьогоднішній день в Україні переважна більшість родовищ вапняку застосовує традиційну буропідривної технології видобування. Однак, за рахунок постійного розвитку гірничої справи, створюються перспективи щодо впровадження принципово нових технологій видобування. Невибухова технологія видобутку передбачає використання принципово нового для відкритої розробки родовищ обладнання, яке поєднує в своїй роботі основні процеси гірничого виробництва, зокрема: підготовка порід до виймання, навантаження до транспортних засобів або складування в бурти та значну частину процесу подальшого дроблення.

**Аналіз літературних джерел.** Вапняк є однією з найпоширеніших у використанні гірською породою у світі. Понад три тисячоліття стародавні цивілізації використовували гашене та негашене вапно. Його використання триває і по сьогоднішній день. Вапняк знайшов своє застосування під час виготовлення цементу, для виготовлення будівельних та вогнетривких матеріалів, в дорожньому будівництві та в багатьох інших галузях [1].

Середній коефіцієнт міцності вапняку становить  $f = 8$  за шкалою професора М. М. Протод'яконова та належить до групи напівскельних гірських порід [2]. Для розробки корисних копалин цієї групи необхідно попередньо підготувати масив гірських порід до виймання за допомогою буропідривного або механічного (невибухового) способу [3].

**Мета роботи.** При розробці родовищ вапняку відкритим способом одним з найважливіших рішень для підприємства є визначення технології розробки, яка суттєво впливає на техніко-економічні показники видобування. Як показує практика розробки родовищ вапняків технології невибухової розробки не знаходять широкого використання внаслідок відсутності обґрунтування її параметрів на основі достовірних і простих у визначенні вихідних даних. Тому дослідження, що направлені на обґрунтування застосування невибухової технології відкритої розробки вапняків, є актуальними. У зв'язку з цим метою роботи є обґрунтування застосування невибухової технології розробки вапняків на кар'єрах.

**Матеріали і результати досліджень.** Впродовж багатьох років буропідривні роботи (БПР) вважалися однією з найпоширеніших технологій підготовки гірничої маси до виймання в кар'єрах. Внаслідок аналізу робочих проектів гірничих підприємств, які

займаються розробкою родовищ вапняку, було встановлено, що для розпушення гірничої маси зазвичай використовують буропідливні роботи.

Для реалізації технології БПР, необхідно пробурити свердловини, діаметром від 75 до 320 мм, які розташовані в один або декілька рядів. Після чого у свердловину закладається вибухова речовина та виконується масовий вибух на кар'єрі. Буріння свердловин проводять за допомогою ударно-канатних, пневмоударних або шарошечних бурових станків. Для навантаження розрихленої породи використовують екскаватори або навантажувачі. За потребою, вапняк може пройти очищення від глинистих домішок в миючих барабанах

Для виявлення можливості гірничо-геологічних умов до застосування невибухової технології необхідно враховувати наступні параметри: шаруватість, тріщинуватість масиву та властивості міцності породи. Встановити придатність масиву гірських порід до механічного розпушення можна за допомогою «акустичного» методу. Він дозволяє розподілити кар'єрне поле на виймальні блоки та встановити для кожного з них найбільш ефективний напрямок фронту видобування.

До технологічних параметрів гірського масиву, що впливають на процес механічного розпушення належать: потужність шарів, розміри окремоностей в кожному шарі, характеристики міцності [4].

Реалізація невибухового способу розробки вапняків передбачає використання наступного комплексу обладнання: бульдозерно-розрихлюючого агрегату на базі трактора, фрезерного добувного комбайна, гідромолота в якості навісного обладнання на гідравлічний екскаватор, екскаватора з прямою лопатою, розрихлювача (замість ковша) для гідравлічного екскаватора зі зворотною лопатою [4].

Обладнання, що використовується при невибуховій розробці корисних копалин, за функціональним призначенням поділяють на два класи, а за конструктивними технологічними ознаками – на п'ять груп (рис. 1).

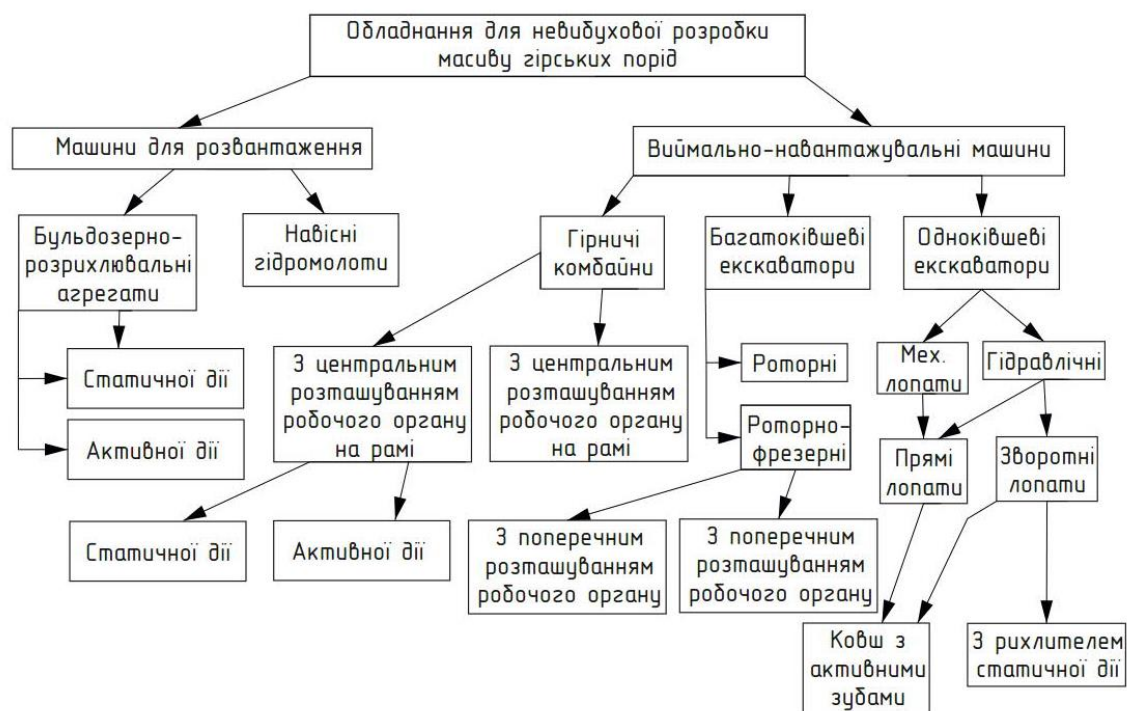


Рис. 1. Схема розподілу обладнання для видобування вапняку

Бульдозер-розпушувач руйнує скельні і мерзлі породи. Найбільший ефект досягається при розпушуванні тріщинуватих і шаруватих гірських масивів.



В даний час значна увага приділяється конструюванню одноківшевих і роторних екскаваторів, використовуваних, як основне обладнання, при невибуховій розробці порід. В основі їхньої дії лежить принцип ударного руйнування, коли зусилля на кожен зуб ковша складає сотні тон, що дозволяє видобувати породи з межею міцності на стискання до 70 МПа. Зокрема, перспективним є екскаватор ЕКГ-5В, оснащений ківшем активної дії (рис.2) [4].

Ударні зуби приводяться у дію потужними пневмоударниками, з можливою енергією удару до 200-250 Дж на 1 см ширини зуба і з частотою ударів 8-12 Гц. Пневмоударні механізми ковша активної дії автоматично включаються в дію при збільшенні опору копання і забезпечують руйнування гірської породи вже на етапі черпання. У країнах Німеччина, Австрія, Швеція та ін. створені та успішно експлуатуються гідравлічні екскаватори для невибухового виймання вапняку [5].

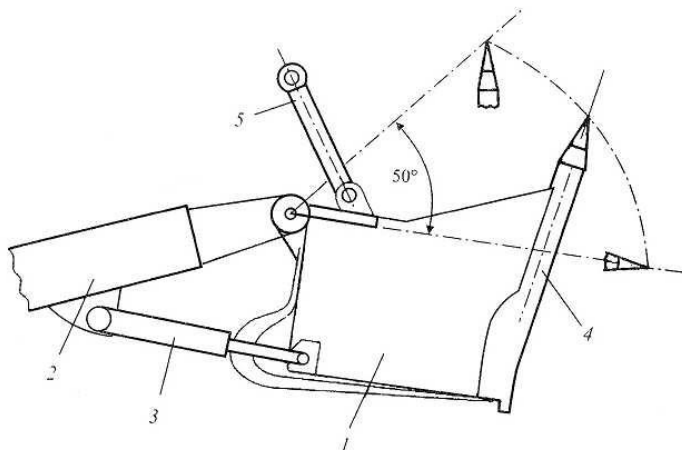


Рис. 2. Конструктивна схема ковша активної дії: 1 – ківш; 2 – рукоять екскаватора; 3 – гідроциліндр повороту; 4 – пневмоударник; 5 – підвіска ковша

Для реалізації безперервної невибухової технології розробки напівскельних і скельних порід створено компактний роторний екскаватор з високим зусиллям різання. На рис. 3 наведено роторний екскаватор компанії «Sandvik Mining and Construction». Промислові випробування підтвердили принципову можливість використання їх для невибухового виймання скельних гірських порід з межею міцності на стискання до 60-80 МПа [4].



Рис. 3. Компактний роторний екскаватор [4]

Одним із напрямків розвитку засобів механізації невибухової технології є створення гірничих комбайнів.

Принципові схеми компоновання кар'єрних комбайнів, які набули найбільшого поширення у світі, залежно від розташування робочого органу, наведено на рис. 4 [4].

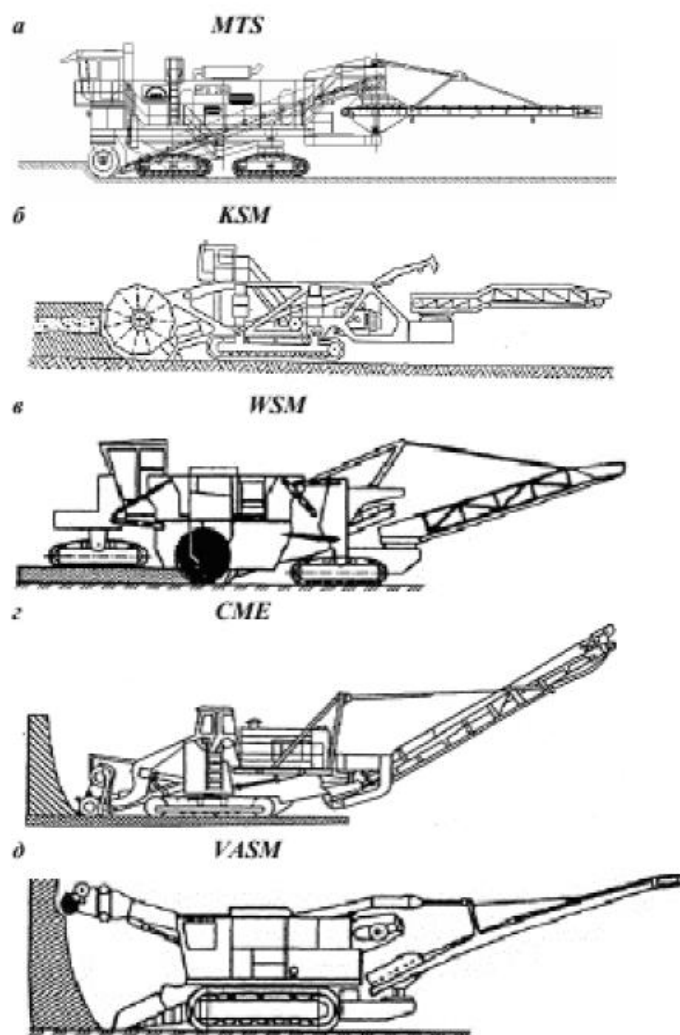


Рис. 4. Принципові схеми компоновання кар'єрних комбайнів залежно від розташування робочого органу: а, б – в передній частині машини, в – на рамі по центру; г – з консольним розташуванням робочого органу на рамі, винесеного на стрілу; д – з роздільним від приймального конвеєра

Дана технологія забезпечує зниження негативних екологічних наслідків, суттєво підвищує безпеку робіт, дозволяє знизити вихід мілкої фракції та збільшує повноту виймання корисної копалини необхідної якості. Окрім цього, однією з суттєвих переваг невибухової технології в порівнянні з БПР є можливість застосування селективного виймання гірничої маси в умовах родовищ, що мають шарову структуру.

Кар'єрні комбайни, на відміну від роторних і одноківшових екскаваторів, які здійснюють виїмку гірських порід майже стаціонарно, являють собою мобільний пристрій з високою швидкістю пересування. Вибосм для комбайнів є поверхня робочого майданчику уступу. Виходячи з практики, найбільшу ефективність показали кар'єрні комбайни безперервної дії з центральним і переднім розташуванням робочого органу, що забезпечують пошарове виймання порід міцністю до 150 МПа [6].

Технологія видобутку із застосуванням на кар'єрах комбайнів є перспективним напрямком розвитку відкритого способу розробки, вона дозволяє поєднувати в один процес кілька основних операцій гірничого виробництва, а саме: підготовку гірських порід до виїмки, безпосередньо виїмку і дроблення. Використання технологічних схем із застосуванням кар'єрних комбайнів, виключає необхідність в переєкскавації великих обсягів розкривних порід в процесі розробки родовища.

Таким чином, невибухова технологія розробки корисних копалин знаходить все більше поширення на відкритих гірничих роботах. Вона має наступні переваги:

- дозволяє вести гірничі роботи поблизу населених пунктів;
- можливість реалізації потокової технології гірничих робіт;
- скорочення чисельності обслуговуючого персоналу;
- зменшення втрат корисних копалин при селективній розробці покладів;
- покращення якості сировини, що видобувається.

**Висновки.** Встановлено, що при невибуховому способі розробки вапняків можна використовувати обладнання, яке за функціональним призначенням поділяють 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, багатокішшеві екскаватори, однокішшеві екскаватори).

Аналіз невибухових способів видобутку вапняку показав, що застосування на кар'єрах комбайнів є перспективним напрямком розвитку відкритого способу розробки, який дозволяє поєднувати в один процес декілька основних виробничих операцій, а саме: підготовку гірських порід до виїмки, безпосередньо виїмки і дроблення. Застосування кар'єрних комбайнів виключає переєкскавацію розкривних порід в процесі розробки родовища.

#### *Бібліографічний список*

1. Иванов В.В. Выбор оптимальной длины фронта горных работ при разработке карбонатных месторождений открытым способом // М.: Горный журнал, № 7, 2010, с. 57-58.
2. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам, 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 414 с.
3. Коженевський С.Р. – Вапняк [електронний ресурс] / С.Р. Коженевський // - Режим доступу: <http://www.uran.donetsk.ua>
4. Пташник Ю.П. Обоснование технологии разработки месторождений для использования выработанных пространств известняковых карьеров в строительстве / Пташник Юлия Павловна. – Красноярск, 2015. – 145с.
5. 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)
6. Губенко, А.А. Современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных комбайнов для безвзрывной послышной 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.

Побігайло Д. П., студент 4 курсу, Криворучко А. О., кандидат технічних наук доцент, державний університет «Житомирська політехніка»

## ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ СТРУКТУРНИХ ТА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОКЛАДІВ ЛАБРАДОРИТУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Зважаючи на обмежене поширення лабрадоритів у світі та наявність у них специфічних споживчих властивостей (іризації), вони є найбільш перспективним експортним природним облицювальним матеріалом.

Коли є повна інформація про родовище, то існує можливість вибору і застосування найкращих для даних умов методології і технології розробки для забезпечення комплексної і повної розробки родовища при умові отримання позитивного економічного ефекту від господарської діяльності підприємства.

Лабрадорит – інтрузивна магматична гірська порода основного складу грубозерниста, в більшості випадків сірого чи темно-сірого забарвлення. Унікальною особливістю лабрадориту є його іризація.

Камінь отримав свою назву у 1780 р. німецьким вченим Абраамом Готлоб Вернером після того, як до нього попала темна з особливими синюватими переливами порода, привезена моравськими місіонерами з острова Сейнт Пол, що знаходиться в протоці Кабота за 300 км від півострова Лабрадор, який і послужив назвою породі і мінералу.

Крім лабрадору у невеликих кількостях (не більше 10%) до лабрадоритів Коростенського плутону входять мінерали з групи піроксенів та олівін, інколи біотит та рогова обманка.

Своєрідна іризація лабрадору носить назву лабрадоресценції. Встановлено, що колір іризації залежить від хімічного складу лабрадору. Так, збільшенням вмісту кальцію призводить до заміни синьої іризації жовтою.

Існує ряд закономірностей іризації лабрадоритів, основні з яких полягають в наступному:

1) іризація облямування приурочена до зон переходу зерен лабрадориту різного хімічного складу;

2) суцільна одноколірна іризація спостерігається у невеликих кристалах, локальна – у крупних кристалах, узорі іризації і малюнки неоднорідного і неодночасного чи хвилястого згасання кристалів співпадають;

3) існує прямий зв'язок іризації з деформацією кристалічної решітки;

4) втрата іризації пропорційна температурі прожарювання;

5) іризація зазнає змін в залежності від метаморфічних змін самої породи: вона міняється від яскравих фіолетово-блакитних тонів у “свіжих” породах до темних блідно-сріблястих і золотистих в породах, мінерали яких зазнали вторинних метасоматичних заміщень; іризація як би “старішає” і залежить від міри зміни плагіоклазів.

Користуючись закономірностями іризації, можна видобувати блоки з необхідним рівнем іризаційних властивостей, визначати напрями площин розпилу, в яких найбільш чітко виражена декоративна властивість іризації. Розрахунок частоти іризації  $i$  (%) можна виконувати за наступною формулою

$$i = nS/100$$

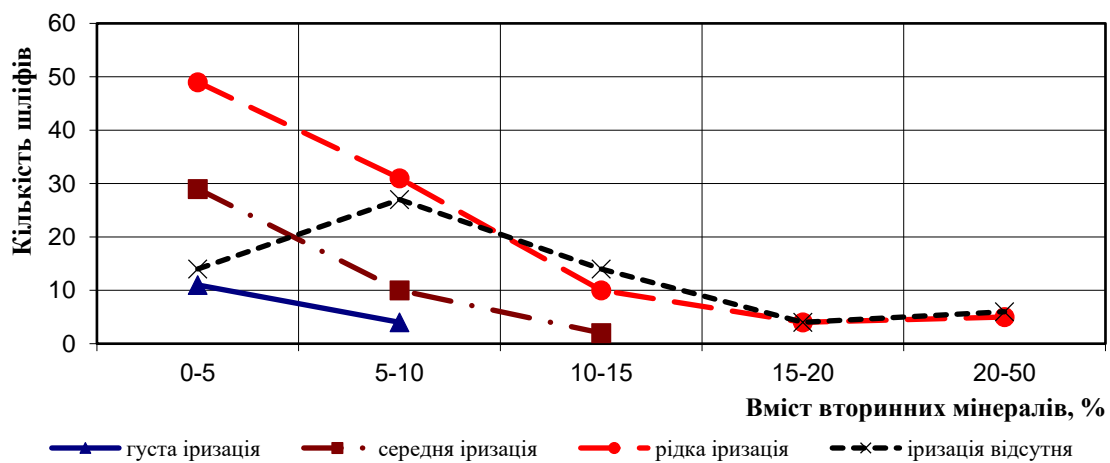


де  $n$  – число іризуючих очок на одиницю площі;  $S$  — середня площа одного іризуючого кристала, см<sup>2</sup>.

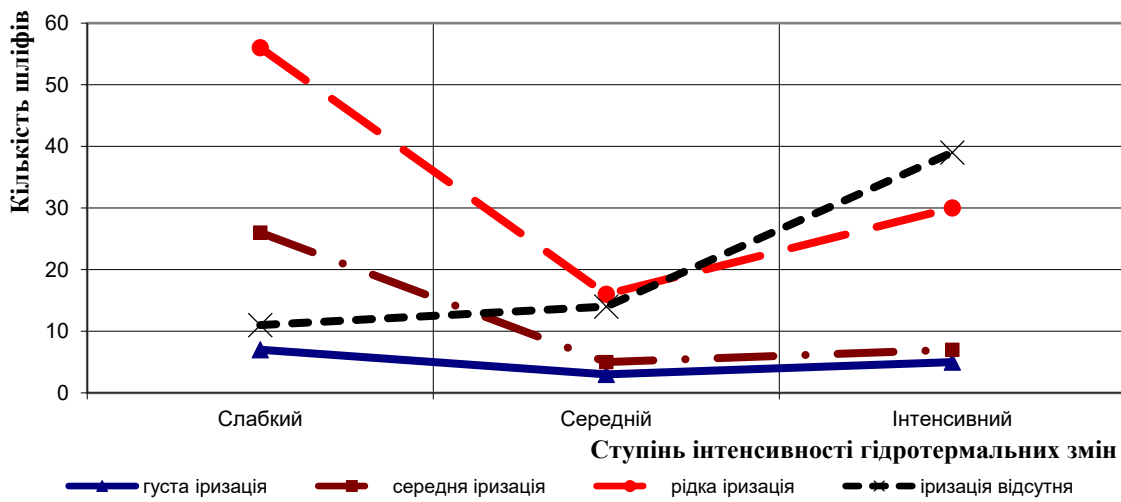
Підрахунки іризації потрібно виконувати на декількох ділянках родовища. Найвірогідніше значення частоти іризації обчислюють як середньозважене з одержаних результатів. Найбільш складні методи оцінки іризації включають також врахування кольору іризуючих очок.

Лабрадорит середнього ступеня метасоматичного заміщення характеризуються неоднорідним, плямистим, світлим сіро-чорним кольоровим фоном, та іризуючими золотистими, зеленуватими, голубуватими, синіми і неіризуючим сріблясто-сірими вкрапленнями.

На ділянках посиленого метасоматозу плями новоутворених мінералів зливаються, утворюючи світло-зеленувато-сіру основу породи. Чим більш інтенсивніші зміни, там менша густина і яскравість іризації. Коли кристали плагіоклазу втрачають здатність іризувати вони набувають сталевосірий чи сріблясто-сірий колір.



а



б

Рис. 1. Графіки залежності інтенсивності іризації від (а) вмісту вторинних мінералів та (б) ступеня інтенсивності гідротермальних метасоматичних змін (за даними Головинського родовища лабрадориту)

За даними натурних спостережень однозначно встановлено негативний вплив гідротермально-соматичних змін та інтенсивність їх прояву на колір породи, густина і яскравість іризації. Чим інтенсивніші зміни, тим слабша іризація, аж до повного її зникнення.

Густа і середня іризація зустрічається практично лише у незмінених різновидів. З збільшенням зміненості породи до середнього ступеня первинна рідка іризація зникає, первинна середня переходить в рідку і частково зникає, а первинна густа – в середню. При інтенсивних змінах іризація або зникає повністю, чи є рідкою і бляклою.

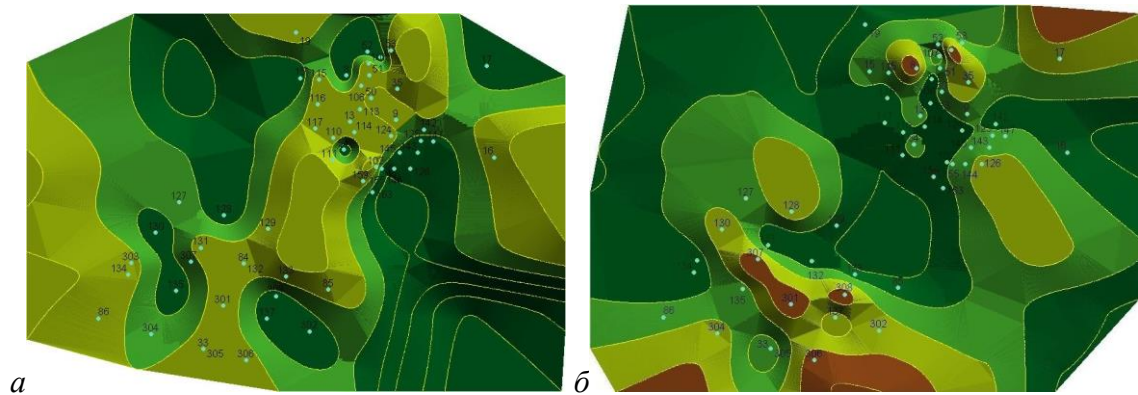


Рис. 2. Плани в ізолініях інтенсивності метасоматичних змін (а) і іризації (б) для горизонту +185 м Головинського родовища лабрадоритів

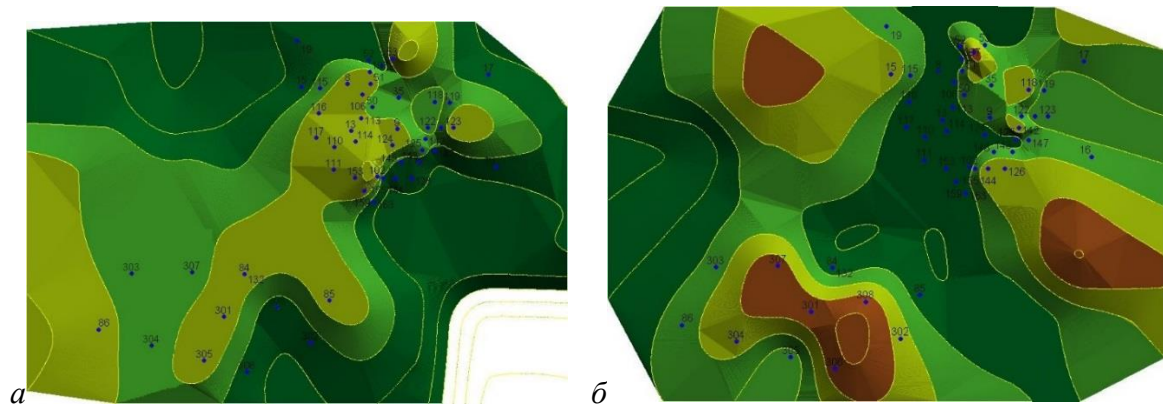


Рис. 3. Плани в ізолініях інтенсивності метасоматичних змін (а) і іризації (б) для горизонту +175 м Головинського родовища лабрадоритів

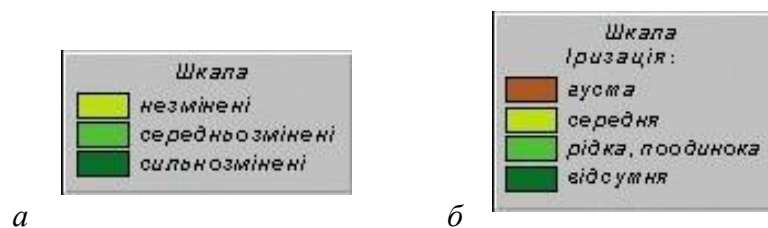


Рис. 4. Колірні шкали значень до планів в ізолініях інтенсивності метасоматичних змін (а) і іризації (б) для Головинського родовища лабрадоритів

Геометризацію декоративності слід проводити по родовищу або його ділянках для оцінки зміни декоративності каменю, план декоративності каменю слід складати в ізолініях для певного горизонту. Для складання плану декоративності необхідно за керовим матеріалом, узятим на різних глибинах, провести розпили і полірування зразків. По отриманим зразкам може виконуватись оцінка декоративності по бальній системі, наприклад, за методикою ВНИПІИстромсыр'я. На плані родовище розділяється на ділянки по класах декоративності шляхом інтерполяції цифрових значень бальної оцінки декоративних властивостей і проведення ліній рівних значень декоративності, які пропонується називати ізодекоратами, що відповідають числовій

сумарній оцінці декоративності відповідного класу. При цьому увагу також слід звертати на наявність і закономірності розміщення та зміни недоліків кольору (жовті відтінки, темні і ржаві плями для гранітів нерівномірність їх розфарбування та ін.), текстури і фактури.

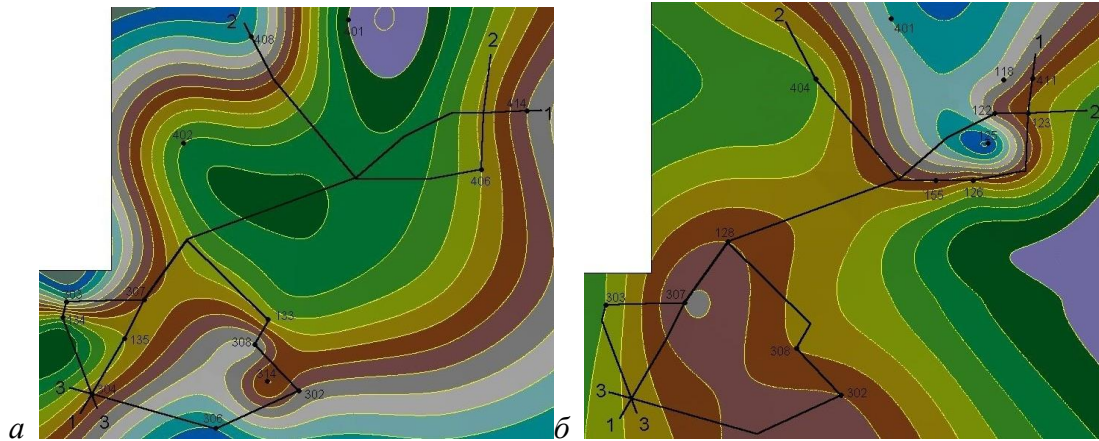
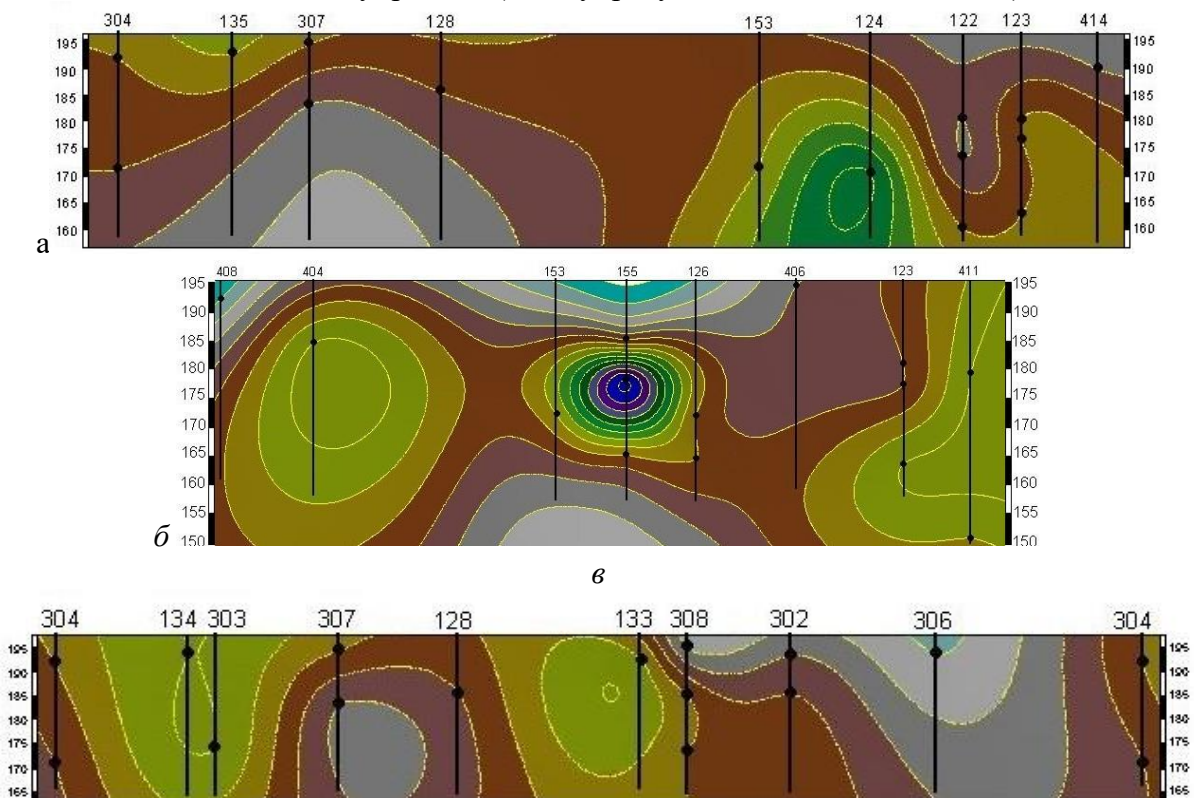


Рис. 2.11. Плани ізодекоративності для Головинського родовища лабрадоритів:  
а – для горизонту 187–196; б – для горизонту 175–186;

Особливо важливо ретельно вивчити включення різних мінералів, які можуть негативно впливати на декоративність, довговічність і солестійкість каменя. Частіше за все такі включення представлені сульфідами, карбонатами, сирицитом, каоліном, які на полірованому камені обумовлюють з часом ржаві плями, раковини і оспини, викришування.

Геометризація ірizaції проводиться схожим чином лише для лабрадоритів та габбро-анортозитів, за показник рекомендується приймати кількість іризуючих очок на одиницю площі або частоту ірizaції (площу іризуючих очок на 1 м<sup>3</sup> площі).



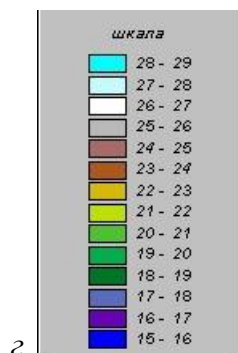


Рис. 2.12. Розрізи ізодекоративності для Головинського родовища лабрадоритів:  
*а – по лінії 1–1; б – по лінії 2–2; в – по контуру 3–3; г – шкала значень декоративності для  
 планів і розрізів*

### **Висновки**

- 1.** Густина і яскравість іризації знаходиться в оберненій залежності від інтенсивності гідротермально-метасоматичних змін.
- 2.** Інтенсивність і яскравість іризації при різних ступенях гідротермальних змін також залежить і від структури породи.
- 3.** Площа розвитку інтенсивно змінених лабрадоритів приурочена до блоку, який характеризується підвищеною тріщинуватістю, слабозмінені лабрадорити приурочені до підвищень покрівлі кристалічних порід, який характеризується слабою тріщинуватістю.
- 4.** В межах одного родовища можуть знаходитись тіла з різними декоративними властивостями.



## ВПЛИВ ЗМІННОГО ПОКАЗНИКА ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН КОНСТРУКЦІЇ ШТОЛЬНІ СИРЕЦЬКОГО САМОПЛИВНОГО КОЛЕКТОРУ В М. КИЄВІ

*Виконані роботи з візуального обстеження технічного стану конструкції та лабораторні дослідження фізичних властивостей ґрунтів на ділянці Сирецького самопливного каналізаційного колектора.*

*Було зафіксовано: нерівномірні зміщення залізобетонних елементів по всій довжині споруди, відмова верхніх елементів конструкції залізобетонного кріплення штольні в районі окремих пікових точок були виявлені сколи верхніх елементів кріплення в місцях примикання до бокових елементів під кутом 45 градусів, збільшення показника текучості від  $I_L = 0,40$  (згідно проектним даним) до значення 1,28 (результати лабораторних досліджень) свідчить про перехід ґрунту в текучий стан, що в свою чергу призвело до формування призми сповзання на всю глибину закладання виробки.*

*Таким чином натурні спостереження стану кріплення штольні Сирецького самопливного колектору підтверджують збільшення навантажень і деформацій оправи підземних споруд при зростанні показника текучості ґрунту, що призводить до ризиків втрати стійкості підземних споруд, а в деяких випадках і до відмови конструкції кріплення.*

*Works on visual inspection of a technical condition of a design and laboratory researches of physical properties of soils on a site of the Syretsky self-flowing collector are executed.*

*It was recorded: uneven displacements of reinforced concrete elements along the entire length of the structure, failure of the upper structural elements of the reinforced concrete gallery in the area of individual peak points were found chips of the upper fasteners in the places of adjacency to the side elements at an angle of 45 degrees, an increase the fluidity index from  $IL = 0.40$  (according to design data) to a value of 1.28 (laboratory results) indicates the transition of the soil to a fluid state, which in turn led to the formation of a sliding prism to the full depth of laying.*

*Thus, full-scale observations of the technical condition of the Syretsky self-flowing collector tunnel fastening confirm the increase in loads and deformations of the underground structure frame with increasing soil fluidity, which leads to risks of loss of stability of underground structures and in some cases failure of the fastening structure.*

**Вступ.** Створення багатофункціональної підземної інфраструктури стає характерною ознакою сучасного урбанізованого простору і має тенденції інтенсивного розвитку. У зв'язку з цим підвищуються вимоги до надійності міських підземних споруд, яка значною мірою визначається взаємодією інженерної споруди з геологічним середовищем. Особливу увагу це питання отримало в умовах змінного геологічного середовища, в якому величина і розподіл навантажень на підземну споруду можуть отримати загрозливий характер. Натурні спостереження за станом конструкцій підземних споруд в умовах змінних геомеханічних характеристик ґрунтів, зумовлених відхиленням фактичних показників вологості від проектних даних, залишаються актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вплив вологості на ґрунти є достатньо добре вивченим для поверхневих будівельних об'єктів, а інструментарій його врахування увійшов до базових проектних методик та нормативних документів [1, 2]. Це зумовлено в першу чергу запобігання можливим просіданням ґрунту під дією навантажень від будівлі, а також небезпечним зсувним явищам. Для підземного будівництва, зокрема для

проектування підземних споруд мілкого закладання, проблему складали лише групи ґрунтів у стані текучості, що було пов'язано зі складністю будівництва в умовах пливунів. Інші категорії вологості не розглядалися як загрозливі, що зменшило увагу до цього фактору. Проте фактор вологості ґрунтів може мати суттєвий вплив на формування навантажень на підземну споруду і діючих зусиль у конструкціях [3], що на сьогодні досліджено недостатньо.

Для споруд мілкого закладання базовою гіпотезою гірського тиску є «гіпотеза сил», де навантаження на кріплення підземної споруди розглядається як вага деякого об'єму ґрунту в межах призми сповзання [4, 5]. Сили тертя, що діють на площинах «призми сповзання», зумовлені зчепленням ґрунту (сн, кПа) та модулем деформації (Е, МПа), тому зміна цих базових показників при збільшенні вологості може призвести до зростання навантажень і діючих згинальних моментів у конструкціях.

**Постановка завдання** - метою роботи є оцінка впливу показника вологості (індексу текучості) ґрунтів на технічний стан підземної споруди мілкого закладання в натурних умовах на прикладі будівництва штольні Сирецького самопливного каналізаційного колектора в м. Києві (у період підвищеної атмосферної вологості).

#### **Матеріали та результати дослідження**

Для визначення можливих наслідків впливу змінного показника текучості ґрунту на залізобетонні елементи конструкції штольні виконані роботи з візуального обстеження технічного стану конструкції на ділянці Сирецького самопливного каналізаційного колектора К1-7 – К1-8 (рис. 1).

Будівництво штольні на зазначеній ділянці відбувалося з вересня по листопад 2019 р. на замовлення ПрАТ «Київводоканал». Будівництво виконувалось закритим (підземним) способом в слабких нестійких ґрунтах, з тимчасовим кріпленням з залізобетонних елементів (блоків): верхнього (ВБ), нижнього (НБ) та двох бокових (ББ), кожен товщиною близько 140 мм (рис. 2). Перед експлуатацією штольня заповнювалась цементно-піщаним розчином.

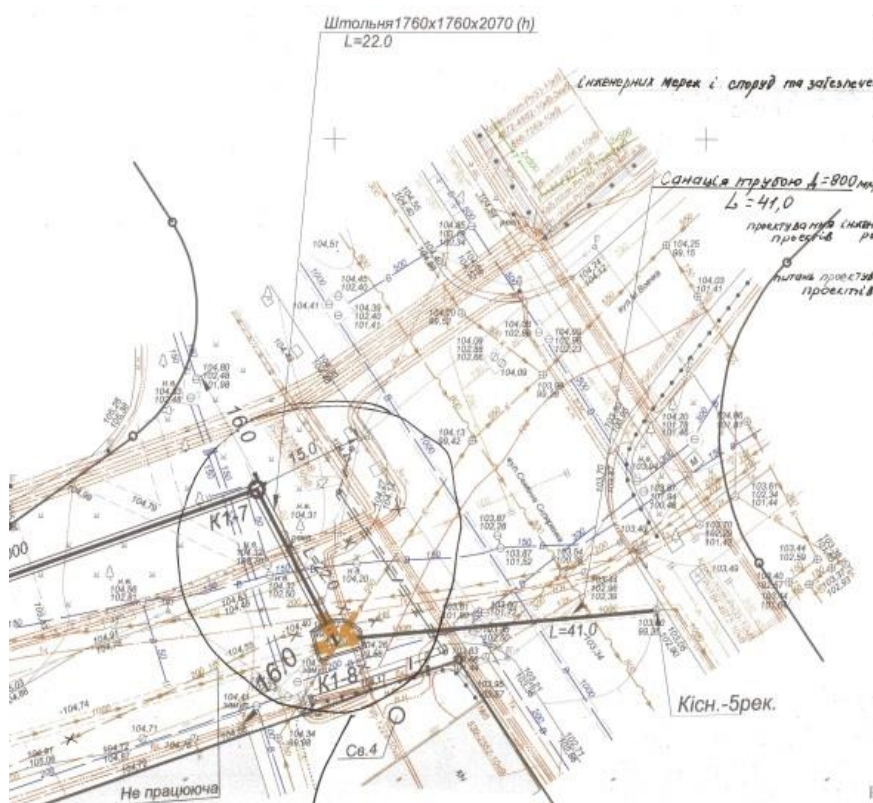


Рисунок 1 – Фрагмент плану трас інженерних мереж.

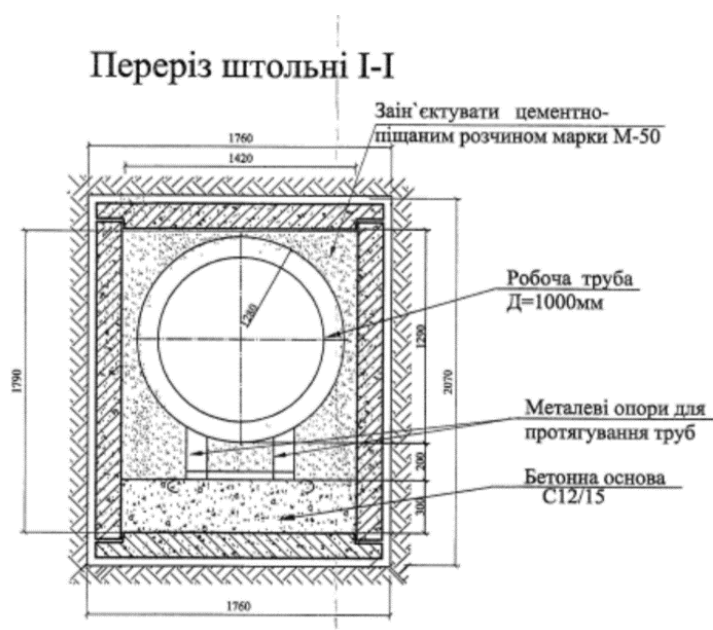


Рисунок 2 – Переріз штольні зі збірних залізобетонних блоків під час експлуатації

В геологічній будові майданчика до розвіданої глибини 8,0 м приймають участь: сучасні насипні відкладення, що підстелені флювіогляціальними піщаними ґрунтами. Основна товща насипу представлена супіском з вмістом будівельного сміття. Флювіогляціальні відклади представлені мілким піском, супіском. Відстань від денної поверхні до покрівлі тунельної оправи на обстежуваній ділянці становить від 4,67 м до 4,68 м.

Під час обстеження штольні Сирецького самопливного колектору було виявлено наступні пошкодження конструкції збірної залізобетонної оправи: нерівномірні зміщення залізобетонних елементів по довжині штольні (рис. 3); окремі випадки деформації елементів у покрівлі понад 80 мм (рис. 4); відмова верхніх елементів конструкції залізобетонної штольні на ПК0+025; в районі окремих верхніх пікових точок були виявлені сколи верхніх елементів кріплення в місцях примикання до бокових елементів під кутом 45 градусів (рис. 5), що свідчить про формування гірського тиску значно вищого за очікувану проектну величину.



Рисунок 3 – Нерівномірне зміщення елементів покрівлі конструкції



Рисунок 4 – Зміщення елемента конструкції понад 80 мм



Рисунок 5 – Відмова верхнього блока (ВБ) на ПК0+025

В період будівництва штольні безпосередньо з ґрунтового масиву в покрівлі були відібрані проби ґрунтів, представлені супісками, та визначені їх характеристики, а саме природна вологість, вологість на межі розкочування, вологість на межі текучості, число пластичності та показник текучості. Режим вологості відповідав календарному періоду "осінь-зима".

Лабораторне визначення фізичних властивостей ґрунтів здійснюється згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [6] в лабораторії Українського Державного науково-дослідного і проектно-вишукувального інститута «УКРНДІВОДОКАНАЛПРОЕКТ». Збільшення показника текучості від  $I_L = 0,40$  (згідно проектним даним) до значення 1,28 (результати лабораторних досліджень) свідчить про перехід ґрунту в текучий стан, що в свою чергу призвело до формування призми сповзання на всю глибину закладання виробки. При такому значенні вологості відбувається суттєве зменшення міцнісних властивостей ґрунтів, що супроводжується збільшенням їх зміщень та навантажень і зростанням згинальних моментів



у конструкції, що призвело до небезпечних деформацій окремих елементів оправи.

**Висновки.** Таким чином натурні спостереження стану кріплення штольні Сирецького самопливного колектору підтверджують збільшення навантажень і деформацій оправи підземних споруд при зростанні показника текучості ґрунту, що призводить до ризиків втрати стійкості підземних споруд, а в деяких випадках і до відмови конструкції кріплення. Це свідчить про важливість залучення до проектної практики ймовірнісних методів для відображення змінності геологічного середовища при визначенні параметрів кріплення підземних споруд. Такий підхід дозволить враховувати змінний (імовірнісний) характер фізико-механічних властивостей ґрунтів і забезпечити надійний стан підземних споруд.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Швець, В.Б., Шашенко, О.М. та ін. (2014) *Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: Підручник*. Дніпро: Пороги, 231.
2. Мінрегіонбуд. (2014) *ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва*. Київ: Україна.
3. Гайко Г.І., Матвійчук І.О. *Аналіз залежностей міцнісних властивостей глинистих ґрунтів від зміни вологості // матеріали 13-ої міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «перспективи розвитку будівельних технологій»*. – Дніпро, 2019. – С. 149-152.
4. Tajdus, A., Sala, M., & Tajdus, K. (2012) *Geomechanika w budownictwie podziemnym. Projektowanie I budowa tuneli*. Krakow: AGH, 762.
5. Бульчев, Н.С. (2000) *От гипотез горного давления к теории расчета подземных сооружений. Подземное строительство в России на рубеже XXI века*. Москва: ТАР, 105.
6. Мінрегіонбуд. (2010) *ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей*. Київ: Україна.

*О.С. Кононович, студент, Т.В.Косенко, ст.викл., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВІДРОБКИ УСТУПІВ М'ЯКИХ ПОРІД НА КАР'ЄРАХ**

*Проаналізовано найпоширеніші технологічні схеми відробки уступів на кар'єрах м'яких порід. Доведено, що при виборі технологічної схеми відпрацювання робочих уступів потрібно враховувати гірничотехнічні та гірничо-геологічні умови розробки корисних копалин та розкривних порід, які насамперед впливають на вибір окремих елементів схеми в залежності від обладнання, а саме типу вибою, типу заходки та схеми подачі транспорту. Відзначено, що в останні роки на кар'єрах з виймання м'яких порід стали поширеними екскаватори типу зворотна лопата.*

*The most common technological schemes of ledges in soft rock quarries were analyzed. It was proved that for choosing the technological scheme of the ledges working it is necessary to take into account mining-technical and mining-geological conditions of development of minerals and overburden, which first of all influence the choice of the elements of the scheme depending on the equipment, namely the type of the face of the quarry, the pass and the transport supply scheme. It is noted that in recent years, backhoe excavators have become common in soft rock quarries.*

**Вступ.** Різнотипність виймально-навантажувального обладнання і транспортних засобів, що використовуються для різних гірничо-геологічних умов, викликає необхідність розробки і удосконалення різних технологічних схем ведення гірничих робіт на кар'єрах. Це можливо на основі оптимізації параметрів і елементів систем розробки, а також якісних та кількісних показників основного і допоміжного обладнання для різних гірничотехнічних умов розробки родовищ.

На багатьох кар'єрах з розробки м'яких порід, зокрема каолінів, технологічні схеми відпрацювання уступів є застарілими, оскільки вони у свій час були обрані, як правило, не за критеріями досягнення найкращих техніко-економічних показників (за собівартістю, трудомісткістю, приведеними витратами та продуктивністю устаткування). Тому вибір ефективних технологічних схем відпрацювання розкривних та видобувних уступів кар'єрів родовищ каолінів є актуальним.

**Аналіз літературних джерел.** Екскавація вважається основним в загальному процесі видобутку корисних копалин відкритим способом. Експлуатаційні витрати на виймально-навантажувальні роботи мають значну питому вагу в загальних витратах на розробку. Забезпечення максимальної продуктивності екскаваторів сприяє підвищенню ефективності відкритої розробки корисних копалин в цілому [1].

В типових технологічних схемах розробки уступів передбачається застосування оптимальних параметрів та елементів систем розробки, раціонального поєднання кількості та продуктивності основного гірничого та транспортного обладнання, рекомендується тип та кількість допоміжного обладнання та раціональна організація виконання робіт [1].

Технологічні схеми можуть розроблятися як при проектуванні відкритих гірничих робіт, так і на діючих підприємствах. В першому випадку вибір схеми починається з вибору типу екскаватора в залежності від об'ємів гірничих робіт та умов залягання порід. У другому випадку вибір схеми здійснюється для екскаватора, що є в наявності з урахуванням умов [1].

При відробці уступів на кар'єрах існують дві групи технологічних схем: із застосуванням екскаваторів типу «пряма лопата» та застосуванням гідравлічних екскаваторів типу «зворотна лопата».

**Метою роботи** є аналіз існуючих технологічних схем відпрацювання уступів м'яких порід на кар'єрах для подальшого їх вибору та застосування.

**Матеріали і результати досліджень.** «Пряма лопата» є основним робочим органом виймально-навантажувального обладнання для розробки корисних копалин вище рівня стояння екскаватора. Типові технологічні схеми із застосуванням залізничного та автомобільного транспорту складені для найбільш розповсюджених екскаваторів типу ЕКГ [1].

Зазвичай в типових технологічних схемах передбачається установка екскаваторів на рівні або нижче рівня розташування транспортних засобів.

Розміри елементів робочих площадок уступів для технологічних схем визначаються в залежності від фізико-механічних властивостей порід, а також параметрів гірничо-транспортного обладнання. Найбільш поширені типові технологічні схеми із застосуванням екскаваторів типу «пряма лопата» в поєднанні з автомобільним транспортом представлені на рисунках 1-4.

Кожна схема характеризується певними параметрами гірничих робіт, які встановлюються з урахуванням конкретних гірничо-геологічних умов, вимог оптимальності гірничого та транспортного обладнання, дотримання безпеки [1].

Перші гідравлічні екскаватори в Європі створені в Німеччині у 1955 році. А вже на початку ХХІ століття понад 50 закордонних фірм виготовляють гідравлічні екскаватори. Гідравлічні екскаватори в багатьох видах гірничих робіт поступово витісняють механічні екскаватори і колісні навантажувачі. Зокрема, у 1970 році в загальному світовому обсязі екскаваційних робіт частка гідравлічних екскаваторів складала 15,7%, а у 1990 року – вже 64,3%. Така тенденція застосування гідравлічних екскаваторів пояснюється перевагами їх конструкції в порівнянні з конструкцією інших виймально-навантажувальних машин [2]. Одноковшеві гідравлічні екскаватори мають високі зусилля копання, більші можливості для виконання селективної виїмки і можуть здійснювати зачистку підшви вибою самостійно. Високі зусилля копання дозволяють в певних випадках скоротити, і навіть повністю відмовитися від вибухової підготовки порід до виймання.

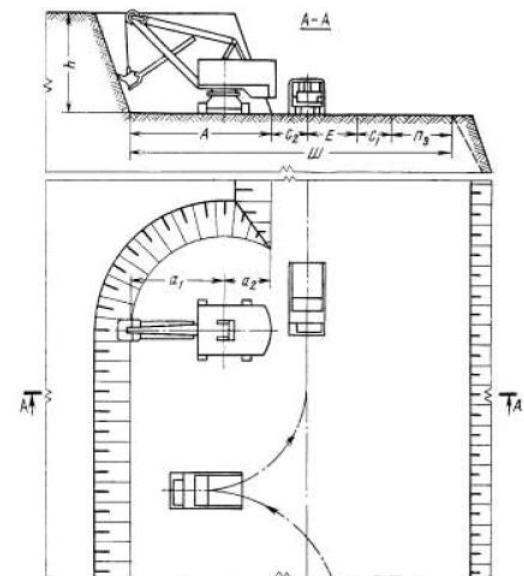


Рис. 1. Технологічна схема розробки уступу без попереднього рихлення

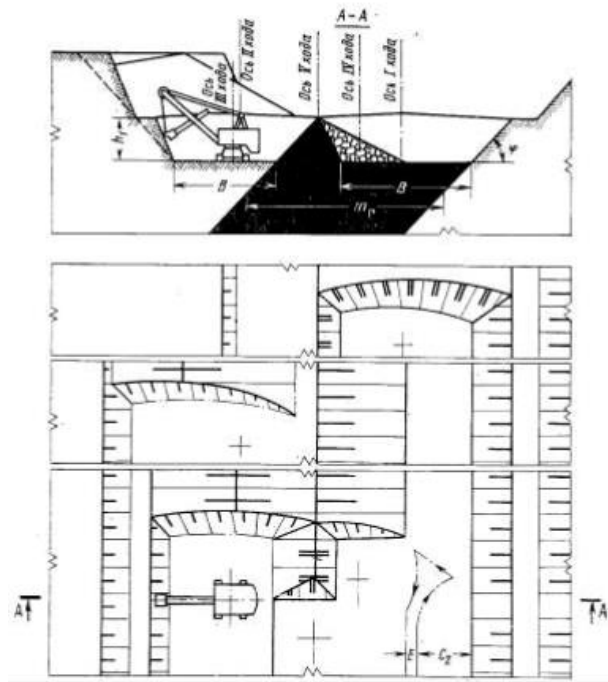


Рис. 2. Схема селективної розробки уступів

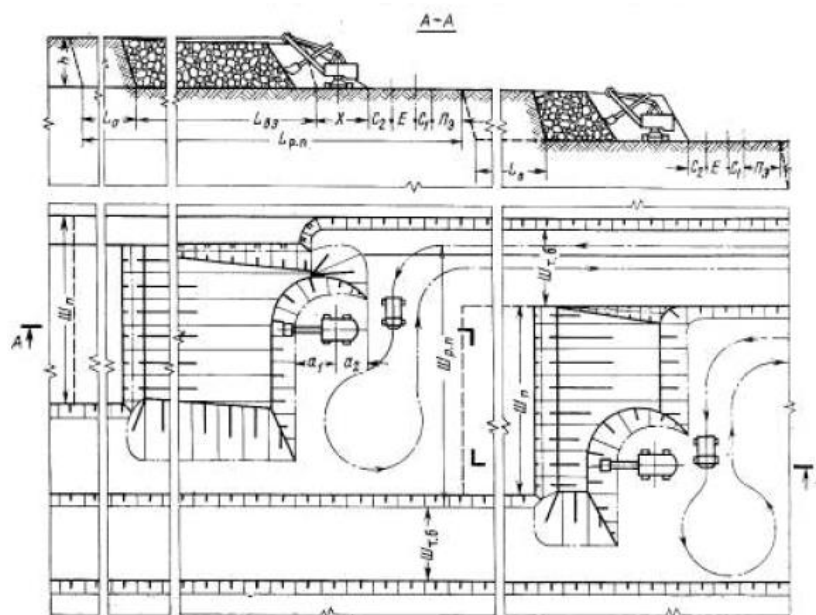


Рис. 3. Технологічна схема розробки уступу поперечними заходками

На відміну від механічних лопат і навантажувачів, гідравлічні екскаватори завдяки особливій конструкції робочого обладнання забезпечують копання з максимальним зусиллям на будь-якій висоті занурення ковша. У порівнянні з колісними навантажувачами гідравлічні екскаватори мають менший питомий тиск на підшву, а швидкість їх пересування у декілька разів більша, ніж у механічних екскаваторів. Більш висока технічна і експлуатаційна продуктивність гідравлічних екскаваторів досягається за рахунок скорочення тривалості циклу черпання. Крім того, гідравлічні екскаватори відрізняються від механічних більшою компактністю і при певних умовах мають кращі показники продуктивності на одиницю маси [2].

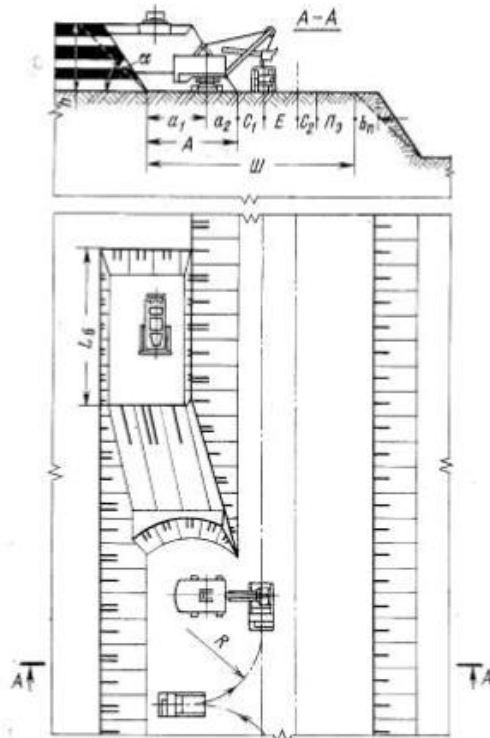


Рис. 4. Технологічна схема розробки корисних копалин з використанням бульдозера-розпушувача та навантаженням на рівні стояння

В останні роки широке поширення у світі знаходять гідравлічні екскаватори типу «зворотна лопата» (ЕГЗ), що мають ряд переваг в порівнянні з мехлопатами: зусилля їхнього копання в 1,5 рази вище, що дозволяє, в деяких випадках, відмовитися від підготовки гірничої маси вибухом; маса екскаватора в 1,8-2,5 рази менша, що різко знижує витрати на їх придбання та доставку; продуктивність при певних умовах вище. Ці переваги, а також підвищені енергосилові характеристики і здатність розробляти гірничу масу у вибої стружками товщиною 0,27-0,3 м визначають технічну і економічну доцільність застосування екскаваторів ЕГЗ для безвибухової селективної виїмки тонких шарів корисних копалин. При цьому можуть бути різко скорочені не тільки втрати корисної копалини, але й її засмічення в процесі видобутку у зв'язку з відсутністю процесу попереднього буропідривного розпушування гірського масиву [2].

У зв'язку з тенденцією до впровадження маловідходної розробки родовищ відкритим способом актуальним є залучення в експлуатацію малопотужних і складних пластів корисних копалин, які найбільш доцільно розробляти зворотними гідравлічними екскаваторами [2].

Однак, основна перевага гідравлічних екскаваторів типу «зворотна лопата» полягає у можливості застосування декількох різновидів технологічних схем відробки уступів (рис. 1.5). Найбільш поширеними є три основні схеми. При використанні першої схеми гідравлічні екскаватори розташовуються на покрівлі видобувного уступу, екскаватор виймає породу за допомогою нижнього черпання. При роботі за другою схемою екскаватор розташовується на нижньому майданчику уступу, наповнення ковша проводиться верхнім черпанням. При третій комбінованій схемі екскаватор розташовується на підступі, поєднуючи переваги верхнього і нижнього черпання [3].

Зворотна гідравлічна лопата може також (при відступаючому ході) виймати шари в напрямку зверху вниз, утворюючи укис забою від пологого до вертикального або (при необхідності) ступінчастої форми. З точки зору зменшення осипання корисної копалини з укусу і засмічення його породу, це є важливим при селективній виїмці.

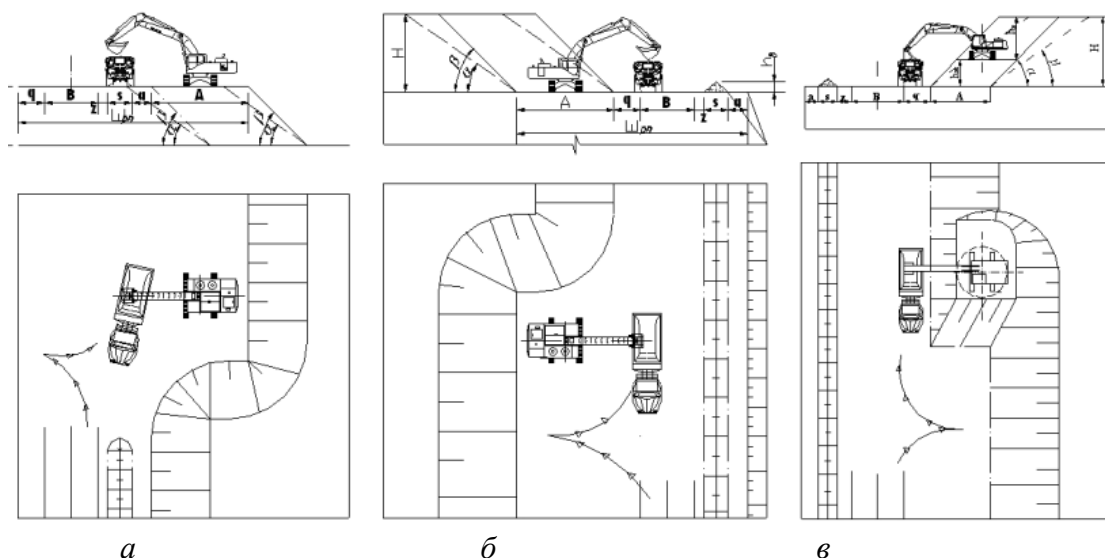


Рис. 1.5. Основні технологічні схеми ведення гірничих робіт при використанні гідравлічних екскаваторів типу зворотна лопата: *а* – нижнє черпання; *б* – верхнє черпання; *в* – комбіноване черпання; *A* – ширина призми можливого обвалення уступу; *s* – ширина ґрунтового валу; *z* – відстань від підшви валу до кромки проїзної частини; *p* – ширина майданчику для маневрів автосамоскидів при подачі під навантаження; *q* – зазор між краєм майданчику і підшвою

Таким чином, досить широкий діапазон технологічних можливостей гідравлічних екскаваторів зі зворотною лопатою (утворення різних форм виробок і укосів вибоїв) дозволяє їм працювати без залишення у підшві виймання призм недобору і тим самим зменшує експлуатаційні втрати корисної копалини [3].

**Висновки.** Встановлено, що незважаючи на наукові дослідження в даному напрямку, питання раціонального просторового розташування обладнання в технологічній схемі залишаються актуальними. Доведено, що при виборі технологічної схеми відпрацювання робочих уступів на кар'єрах потрібно враховувати гірничотехнічні та гірничо-геологічні умови розробки корисних копалин та розкривних порід, які насамперед впливають на вибір окремих елементів схеми в залежності від обладнання, а саме тип вибою, тип заходки та схема подачі транспорту.

Відзначено, що в останні роки на кар'єрах з виймання м'яких порід стали поширеними екскаватори типу зворотна лопата. При певних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умовах вони мають ряд переваг перед екскаваторами типу пряма лопата, а саме можливість його розташування в різних частинах вибою та можливість розробляти породи вище та нижче рівня стояння.

#### *Бібліографічний список*

1. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М.: «Недра», 1982. – 405 с.
2. Мацак Б.В. Исследование технологии разработки горизонтальных маломощных сложноструктурных пластов угля с использованием обратных гидравлических лопат /Б.В. Мацак. – М.: «Недра», 2000. – 186 с.
3. Логинов Е.В. Особенности применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Научный журнал — 2016. № 6(7). — С. 152-154.

*І.М. Євтушенко, студент, О.О. Фролов, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ РОЗРОБКИ ВАПНЯКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРЕЗЕРНИХ КОМБАЙНІВ**

*Розглянуто основні технологічні процеси при видобуванні вапняків на кар'єрах з використанням фрезерних комбайнів. Встановлено, що застосування фрезерних комбайнів є перспективним напрямком розвитку відкритого способу розробки, що дозволяє поєднувати в один технологічний процес декілька основних операцій процесу видобутку, зокрема підготовку гірських порід до виймання, безпосередньо виймання та дроблення.*

*The main technological processes in the extraction of limestone in quarries using milling combines are reviewed. It has been established that using of the milling combines is a promising direction of development of the open-cut mining. It allows to combine several basic mining operations, including preparation of rocks for extraction, direct extraction and crushing, in one technological process.*

**Вступ.** При розробці родовищ корисних копалин відкритим способом одним з найважливіших рішень для гірничодобувного підприємства є визначення технології розробки на кар'єрі, яка, в свою чергу, суттєво впливатиме на ряд технологічних процесів видобування та подальшої переробки корисної копалини. На сьогоднішній день в Україні технології невибухової розробки родовищ вапняків не знаходять широкого використання внаслідок відсутності обґрунтування її параметрів технологічних процесів. Тому дослідження з обґрунтування параметрів технологічних процесів невибухової технології відкритої розробки вапняків, є актуальними.

**Аналіз літературних джерел.** Невибухова технологія розробки родовищ вапняку передбачає можливість використання, в якості виймально-навантажувального обладнання, кар'єрних комбайнів фрезерного типу [1-3]. Найбільш раціональне використання комбайнів досягається в діапазоні міцності порід від 3 до 10 за шкалою М. М. Протод'яконова та межею міцності на стискання від 30 до 70 МПа.

За рахунок використання комбайну, знижується необхідність у додатковому дробленні, оскільки максимальний розмір шматків гірничої маси буде значно меншим в порівнянні з видобуванням за традиційною технологією, яка передбачає застосування буропідривного методу розробки вапняку [2].

Відпрацювання корисної копалини виконується наступним чином: фрезерні кар'єрні комбайни рухаються видобувними заходки, переміщуючись в прямому та у зворотньому напрямках. Вапняк завантажується в автосамоскиди або відвантажується в бурти, а потім переміщується навантажувачем до тимчасових складів [3].

**Мета роботи** є встановлення параметрів технологічних процесів невибухової технології відкритої розробки вапняків із застосуванням фрезерних комбайнів.

**Матеріали і результати досліджень.** Основними технологічними процесами при роботі фрезерного комбайну з транспортним обладнанням є: 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.

Технологічні схеми роботи фрезерного комбайну наведено на рис.1[4].

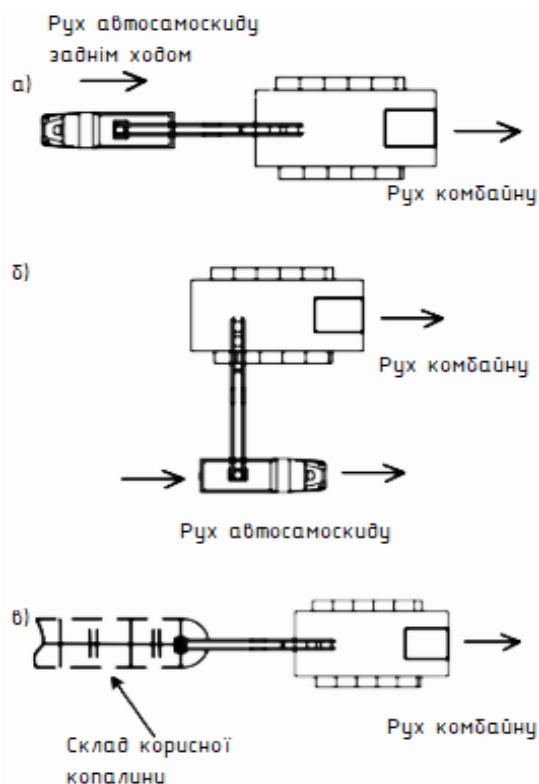


Рис. 1. Схеми роботи фрезерного комбайну: *а, б* – з навантаженням корисної копалини до автосамоскиду, *в* – з розвантаженням корисної копалини на склад

Для транспортної системи розробки, коли гірничі роботи ведуться крупними блоками, найбільш раціональною є схема відпрацювання комбайном, за формою, подібною до еліпсу – з розвитком гірничих робіт від меж кар'єрного поля до його центру.

Послідовність виконання технологічних операцій при видобуванні вапняку фрезерними комбайнами наступна:

- відпрацювання шару розчистки покрівлі пласта корисної копалини в першому видобувному блоці з переміщенням його до відпрацьованої ділянки, формуючи при цьому тимчасові бурти пустої породи (рис. 2);
- видобувні роботи в першому блоці відпрацювання (рис. 3);
- видалення шару розчистки в наступному блоці;
- видобувні роботи в наступному блоці.

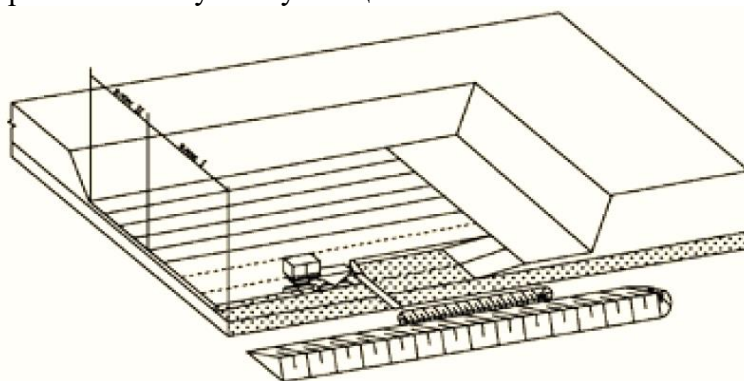


Рис.2. Система розчистки першого видобувного блоку



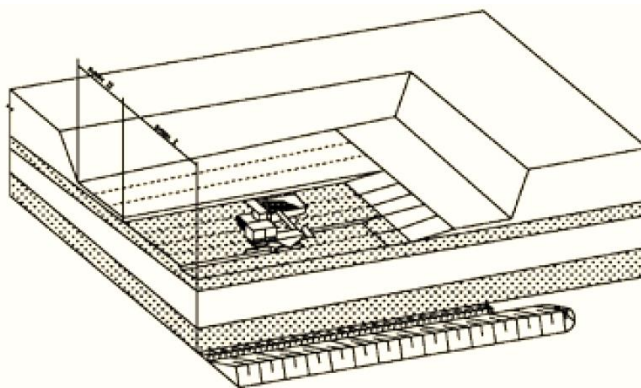


Рис.3. Видобувні роботи на першому блоці розробки з завантаженням гірничої маси в автосамоскид

При невибуховому вийманні вапняку кар'єрними комбайнами, руйнування відбувається за рахунок подолання опору породи на зрізування різцями фрезерного робочого органу. Зусилля на різці створює напружений стан в контактуючому з ним масиві гірської породи з формуванням ущільненого ядра. Геометричні розміри ущільненого ядра швидко зростають до появи в масиві тріщинуватості. Після чого ріст ядра зупиняється і воно починає відігравати роль клину, який збільшує тріщину та відколює елемент породи від масиву.

Максимальний розмір шматка корисної копалини, яка була відокремлена комбайном, значно менший ніж за буропідривною технологією. Для цементної промисловості необхідна вихідна фракція не менше 70 мм. Фрезерний комбайн здатен надавати близько 90-95 % маси, що відповідає вказаним кондиціям.

До недоліків технології слід віднести часте пересування обладнання внаслідок зменшення довжини ділянки, що підлягає відпрацюванню, а також збільшується час на підготовчі операції з нівелювання робочих площадок.

Технологічний процес видобування вапняків фрезерним комбайном Wirtgen 2200 SM наведено на рис. 4.



Рис.4. Робота комбайна Wirtgen 2200 SM з автосамоскидом

Технічні характеристики комбайну 2200 SM Wirtgen наведені в табл. 1.

Таблиця 1

## Технічна характеристика комбайну 2200 SM Wirtgen

№	Параметри	Одиниці вимірювання	Значення
1	Максимальна ширина фрезерування	мм	2200
2	Глибина фрезерування з конвеєрною системою	мм	0-300
3	Глибина фрезерування в режимі складування в бурти	мм	0-250
4	Кількість різців	шт	76
5	Діаметр окружності різання	мм	1115
6	Номінальна потужність двигуна при 2 100 обертів за хвилину	кВт/л.с.	708/950
7	Витрата палива при повному навантаженні	л/год	187
8	Максимальний повздовжній ухил машини при роботі на підйомах чи спусках	%	25
9	Транспортні габарити машини разом з фрезерним агрегатом:		
	- Довжина	мм	9700
	- Ширина	мм	3230
	- Висота	мм	3000

**Висновки.** Встановлено, що застосування на кар'єрах комбайнів є перспективним напрямком розвитку відкритого способу розробки, який дозволяє поєднувати в один процес декілька основних операцій процесу видобутку, а саме: підготовку гірських порід до виймання, безпосередньо виймання та дроблення. Використання кар'єрних комбайнів, виключає необхідність переєкспавації розкривних порід родовища та покращує техніко-економічні показники роботи підприємства.

*Бібліографічний список*

1. 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.

2. Штейнцайг Р.М. Фрезерные комбайны – эффективное оборудование для открытой разработки скальных пород / Р.М. Штейнцайг // Мировая горная промышленность 2004-2005: история достижения, перспективы. –М.: НТЦ Горное дело, 2005. С 298-318.

3. 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.

4. Литвинчук І.Д. Удосконалення технології видобування вапняків в умовах Гуменецького родовища/ Дис. ... ступ. магістра. – К., 2019. – 103 с.

Піцул Д.Г., студ. гр. ОС-зп71, Вапнічна В.В., к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### Обґрунтування застосування методу «стіна в ґрунті»

Спеціальна технологія, яка має назву «стіна в ґрунті» дозволяє виконувати зведення підземних споруд в тісному сусідстві з існуючими будівлями і спорудами. «Стіна в ґрунті» дозволяє виконувати огороження котлованів в умовах щільної забудови і в безпосередній близькості від комунікацій. Найчастіше, це єдине рішення при зведенні підземних об'єктів. Також вона оптимальна в умовах реконструкції історичних пам'яток, при освоєнні підземного простору нижче рівня ґрунтових вод і для створення протифільтраційних завіс в гідротехнічних спорудах.

Цей тип огорожі виготовляється з виїманням ґрунту під захистом бетонітового розчину. Потім встановлюється арматурний каркас, і розчин заміщається бетоном. Технологія дозволяє згодом використовувати «стіну в ґрунті» як несучу конструкцію, а також як конструкцію, яка виключає доступ ґрунтових вод до заглиблених споруд, що експлуатуються.

Її застосування максимально виправдано при будівництві великих об'єктів. Часом «стіна в ґрунті» є єдиною технологією для будівництва станції метрополітену або підземної автостоянки. Даний метод кардинально вирішує проблеми, з якими стикається замовник в центрі міста: вузькі майданчики будівельних об'єктів, обмеження в русі, збереження цілісності будівель, мінімізація скидання стічних вод, забезпечення екологічної безпеки.

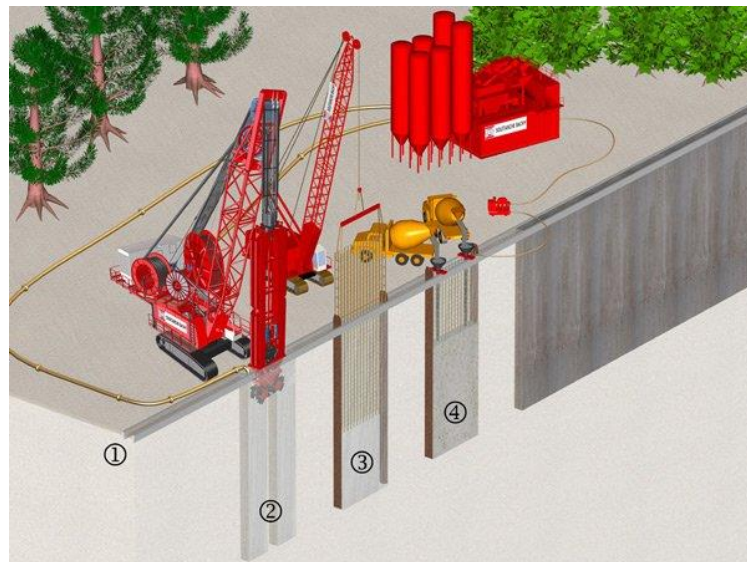


Рисунок 1 - Схема технології «стіна в ґрунті»

Можливе застосування неармованої «стіни в ґрунті» для виконання функції протифільтраційної діафрагми, а саме:

- в тілі і основі земляних гребель;
- в тілі бетонних гребель;
- в тілі і основі дамб верхових водойм ГАЕС, ставків-охолоджувачів АЕС, по бортах каналів;

- по периметру відстійників і шламонакопичувачів нафтопереробних, хімічних і металургійних підприємств;
- по бортах кар'єрів відкритого видобутку корисних копалин і великих будівельних котлованів замість водозниження.

#### **Послідовність операцій:**

1. По периметру майбутнього котловану споруджується монолітна залізобетонна спрямовуюча стінка - форшахта. Вона забезпечує проектний напрям, необхідну точність спорудження стіни і запобігає обваленню ґрунту у верхній частині траншеї.
2. Розробляється траншея під стіну. Розробка проводиться двощелепним гідравлічним грейфером. При розробці ґрунту траншея заповнюється бентонітовим розчином, який запобігає обваленню стінок.
3. Відбувається підготовка траншеї до бетонування. Спеціально підготовлені арматурні каркаси переводяться в вертикальне положення і опускаються в траншею. Після монтажу каркасів в траншею занурюють бетонолитні труби з прийомними воронками.
4. Проводиться бетонування стіни, при цьому бетонна суміш витискає бентонітовий розчин, потім він відкачується насосом і подається на установку регенерації. Темп бетонування становить 20-30 м<sup>3</sup> / год.
5. Проводиться розробка ґрунту котловану та влаштування кріплення стіни. Котлован розробляється ярусами [1].

Траншею розробляють екскаватором Е-652Б5, обладнаним штанговими виїмками плоским гідравлічним грейфером. Екскаватор для ґрунту встановлюють по осі траншеї і розробку ґрунту проводять способом «на себе». Розробку траншеї проводять захватками в два проходи грейфера: перша захватка довжиною 4 м, наступні - довжиною по 3 м.

На початку робіт на захватці траншею розробляють на глибину 0,85 м, після чого в неї встановлюють металеву інвентарну форшахту, яка складається з двох двотаврових балок №955 із навареними на їх полки поздовжніми листами і поперечними ребрами жорсткості, між двотаврів для фіксації точної ширини траншет тимчасово встановлюють діафрагми-розпірки, які знімають після установки форшахти в траншею.

Після закріплення форшахти проводять подальшу розробку траншеї на проектну глибину до 8,5 м з одночасним заповненням траншеї розчином бентонітової глини для закріплення стінок траншеї від обвалення. Обов'язковою умовою при ритті траншеї є підтримка рівня розчину в траншеї не нижче 10-20 см від верху форшахти. Забороняється при будь-яких умовах знижувати рівень розчину до основи форшахти. Це може привести до порушення стійкості стінок траншеї і їх обвалення.

Розчин бентонітової глини готують на спеціальній глінорозчинувальній установці, розташованій на будівельному майданчику поблизу місця роботи. Розчин в траншею, яка розробляється потрапляє самопливом по трубах або подається насосами. На розчинній установці встановлюють глінорозмішувач, гідроциклон з насосом, кран для подачі бентоніту в глинозмішувач, три ємності об'ємом не менше 10 м.куб. кожна і бак для хімічних реагентів.

Для приготування розчину необхідно застосовувати бентонітові глини. Глинистий розчин в розчинорозмішувачі рекомендується готувати наступним чином. Спочатку засипати половину необхідної кількості глинопорошків, залити водою, перемішувати протягом 15-20 хв, потім додати решту глинопорошків і знову ретельно перемішувати протягом 15-20 хв.

Тиксотропний глинистий розчин повинен містити в розпушеному стані частки ґрунту і створювати на ньому практично водонепроникну глинясту плівку. Для поліпшення показників якості глинистих розчинів застосовують наступні хімічні добавки: кальційовану соду, каустичну соду, рідке скло, кухонну сіль, вапно, фосфати та інші хімічні реагенти другої групи, додають в кількості 3-5% від загального об'єму і призначаються лабораторією після повного дослідження якості глини, яка застосовується для приготування глинистих розчинів.

Основними способами забезпечення несучої здатності «стіни в ґрунті» на горизонтальні навантаження є установка ґрунтових анкерів, пристрій распорной системи і спорудження нульового циклу напівзакритим способом за схемою «зверху-вниз» (технологія semi-top-down).

Переваги: «Стіна в ґрунті» надає можливість в основному на великій глибині зводити конструкції торговельних комплексів, об'єктів побутового обслуговування, автостоянок, складів, транспортних і інженерних тунелів і колекторів.

Така компоновка дозволила скоротити довжину станційного комплексу до 225 м, раціонально використовувати підземний простір, уніфікувати конструкцію. Станція органічно вписалася в містобудівну ситуацію. Іншим прикладом дворівневої станції є "Дніпровська", також розташована на лівому березі. У зоні будівництва щільної міської забудови. З урахуванням відносно невеликих пасажиропотоків "Дніпровська" була запроєктована з бічними платформами.

«Стіна в ґрунті» служить не тільки огорожею глибоких котлованів, але також може бути одночасно капітальним фундаментом і стіною споруджуваного споруди. Роботи виконуються в умовах цілорічного будівництва.

У порівнянні з давно відомими способами огороження будівельних котлованів «стіна в ґрунті» має низку даних технічних переваг:

1. Можливість влаштовувати котловани там, де звичайні способи їх кріплення неефективні або неможливі зовсім.

2. Досить висока водонепроникність.

3. Висока надійність і можливість роботи в складних геологічних умовах.

4. Високі темпи спорудження (до 200 погонних метрів готової стіни в місяць на один верстат).

5. Повна відсутність динамічних коливань ґрунту, що дозволяє здійснювати будівництво в безпосередній близькості від існуючих будівель і комунікацій.

6. Низький рівень шуму на всіх етапах робіт.

Є й недоліки, точніше, обмеження: метод не використовується на територіях з сильними підземними течіями; при виявленні залишків кам'яної кладки, металоконструкцій, великих шматків бетону; на пухких ґрунтах; при наявності в ґрунті великих порожнин і пустот.

### **Бібліографічний список**

1. ДБН В 2.1.- 10: 2018 Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ.: Мінрегіон України, 2018.- 35 с.