

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗМІСТУ ОСВІТИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ДНІПРОВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА»
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ТЕЗИ

III Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми гірництва та будівництва»



м. Житомир
20 листопада 2025 року

УДК 62; 69
Т11

Сучасні проблеми гірництва та будівництва: тези III Всеукраїнської науково-практичної конференції, 20 листопада 2025 року. - Житомир: Житомирська політехніка, 2025. - 165 с.

Рекомендовано до друку Вченою радою Державного університету «Житомирська політехніка»

Протокол № 20 від 18.12.2025 р.
ISBN 978-966-683-722-9

УДК 62; 69

Представлено доповіді учасників III Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми гірництва та будівництва». Наведено аналіз та результати досліджень сучасних проблем гірництва та будівництва.

Конференція проводилася на базі Державного університету «Житомирська політехніка» в змішаному режимі з використанням технологій Google Meet – 20 листопада 2025 року.

Наукове електронне видання

ТЕЗИ
III Всеукраїнської науково-практичної конференції
«Сучасні проблеми гірництва та будівництва»

м. Житомир, 20 листопада 2025 року

Редактори: *С.І. Башинський*
В.І. Шамрай

Верстка та макетування: *І.А. Піскун*

Матеріали подано в авторській редакції

Об'єм даних – 23,3 МБ

Видавець і виготівник
Державний університет «Житомирська політехніка»,
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005

Свідectво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
ЖТ № 08 від 26.03.2004 р.

СЕКЦІЯ 1 ГІРНИЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Kozii Ye.S.</i>	19
GERMANIUM IN DONBAS COAL AS A STRATEGIC ELEMENT <i>Institute of Geotechnical Mechanics named by M.S. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine</i> <i>Technical University «Metinvest Polytechnic»</i>	
<i>Vashchenko Iryna, Khomenko Volodymyr</i>	21
POTENTIAL OF ADVANCED HEAVY-OIL RECOVERY TECHNOLOGIES FOR FUTURE DEVELOPMENT IN UKRAINE: A BRIEF GLOBAL REVIEW <i>Dnipro University of Technology</i>	
<i>Баталов С.О., Назаренко В.О.</i>	23
ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ СТОРІН ПОЛІГОНОМЕТРИЧНОГО ХОДУ І ЇЇ ВПЛИВ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КУТА <i>Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»</i>	
<i>Бовсунівська С.С., Наумов Я.О.</i>	25
МІНЕРАЛИ-ІНДИКАТОРИ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХНЄ ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	
<i>Вахнюк С.В., Семенюк В.В.</i>	27
ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА НАСЛІДКІВ НЕЗАКОННОГО ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ НА УКРАЇНСЬКОМУ ПОЛІССІ <i>Національний університет водного господарства та природокористування</i>	
<i>Воловик В.А., Хоменко В.Л.</i>	28
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ГУСТИНИ ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН В ПРОЦЕСІ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН <i>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»</i>	

<i>Гнітецький О.М., Котенко В.В.</i>	29
ПРАКТИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ ВИКОНАНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ НА ОСНОВІ ПОРІВНЯННЯ ЦИФРОВИХ 3D-МОДЕЛЕЙ ВІДКРИТОЇ ГІРНИЧОЇ РОЗРОБКИ, СТВОРЕНИХ ЗА ДАНИМИ АЕРОФОТОЗНІМАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	
<i>Горшкальов К.А., Наумов Я.О.</i>	31
ЗНАЧЕННЯ ДОМІНУЮЧИХ МІНЕРАЛІВ У ФОРМУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	
<i>Дзьоба М.В., Косенко Т.В., Фролов О.О.</i>	33
СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОЛОГІЧНОЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ SURFER-3D	
<i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	
<i>Долнер В.В., Мельничук Є.Ю.</i>	35
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПРИ ВИДОБУВАННІ БЛОЧНОЇ СИРОВИНИ	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	
<i>Єрмаков А.О., Кучерук М.О.</i>	37
СОЛЯНІ РОДОВИЩА ЯК СКЛАДОВА ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ УКРАЇНИ	
<i>Національний університет водного господарства та природокористування</i>	
<i>Заєць В.В., Трофимчук Ю.В.</i>	38
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ MICROMINE У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ МАГІСТЕРСЬКОГО РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ	
<i>Національний університет водного господарства та природокористування</i>	

Захарчук В.О., Остафійчук Н.М. ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ ГІРНИЧИМ ТРАНСПОРТОМ: ІННОВАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	39
Зелінський М.Р., Башинський С.І., Циганенко-Дзюбенко І.Ю. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ МІНЕРАЛІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ЇХ ФОТОЗНІМКАМИ <i>Відокремлений підрозділ «Науковий ліцей» Державного університету «Житомирська політехніка» Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	40
Казмирик В.П., Піскун І.А. АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТУПЕНЮ ЗНОШУВАННЯ ЗУБІВ КОВША ЕКСКАВАТОРА НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕКСКАВАЦІЙНИХ РОБІТ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	42
Карнович С.О., Антонюк П.П., Куницька М.С., ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ У ГІРНИЦТВІ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	44
Касянчук О.О., Дідківський К.А. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ, ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ МОБІЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	45
Козлов Д.В., Шамрай В.І. ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ ОПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ЯК КРИТЕРІЙ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	47
Кокарев О. Л., Шишко С. М., Криворучко А.О. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИДОБУВАННЯ БЛОКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АЛМАЗНО-КАНАТНИХ МАШИН <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	48

<i>Корнієнко В.Я., Васильчук О.Ю.</i>	51
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ БУРШТИНУ З ГЛИНИСТИХ РОДОВИЩ ВОЛИНИ	3
<i>Національний університет водного господарства та природокористування</i>	
<i>Коровяка М.Є., Пащенко О.А.</i>	52
ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОЦЕСИ ТА ВИКЛИКИ ПРИ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ	
<i>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»</i>	
<i>Кравченко О.О., Бруй Г.В.</i>	54
АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИЗ'ЮНКТИВНИХ ПОРУШЕНЬ У СЛАБОМЕТАМОРФІЗОВАНИХ ПОРОДАХ	
<i>Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»</i>	
<i>Криворучко М.А., Криворучко А.О. Савич І.В.</i>	55
АНАЛІЗ І ОЦІНКА ЧИННИКІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ РІВЕНЬ ЗНОШУВАННЯ АЛМАЗНОГО КАНАТУ	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка» ПП «Спецтехсервіс»</i>	
<i>Кучерук М.О., Корнієнко В.Я.</i>	58
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ТОРФУ	
<i>Національний університет водного господарства та природокористування</i>	
<i>Лебеденко В.В., Григор'єв Ю.І.</i>	59
ДИНАМІЧНИЙ БОРТОВИЙ ВМІСТ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ МІНЕРАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ	
<i>Криворізький національний університет</i>	
<i>Лук'яненко Т.С., Шамрай В.І.</i>	60
ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ БУДІВЕЛЬНОГО ПІСКУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЯКОСТІ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	

Марчук А.П., Темченко А.Г. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ В УМОВАХ ТДВ «БЕРЕЗІВСЬКИЙ КАР'ЄР» <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	61
Микитенко С.В., Кузнецов О.О., Цигода В.В. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВИХ ПИЛ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗАННЯ КАМ'ЯНИХ ПОРІД <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	63
Мисенко Я.В., Фролов О.О. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	64
Мітченко Д.В., Долгіх О.В. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ СКАНУВАННЯ НА ТОЧНІСТЬ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗСУВНИХ ПОВЕРХОНЬ <i>Криворізький національний університет</i>	66
Назаров Р.А., Долгіх О.В. ПРОБЛЕМА ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНИХ СКАНЕРІВ В КАР'ЄРАХ КРИВОРІЖЖЯ <i>Криворізький національний університет</i>	67
Напіральський О.Г., Омельчук Б.С. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В БУДІВНИЦТВІ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	68
Николаєнко І. В., Горба Д. В. ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСКАВАТОРНИХ РОБІТ: ПОРІВНЯННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ІШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	70

<i>Ніконов І.О., Шамрай В.І.</i>	72
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПУЛЬПИ ТИТАНО-ІЛЬМЕНІТОВИХ ПІСКІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ОПТИМІЗАЦІЮ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНОГО ТРАНСПОРТУ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	
<i>Остапчук А.О., Фролов О.О.</i>	73
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАПОБІЖНИХ ЦІЛИКІВ ПРИ ВІДРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН В НЕРОБОЧИХ БОРТАХ КАР'ЄРІВ <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	
<i>Пилипчук Д. І., Григор'єв Ю. І.</i>	75
ДОВГОСТРОКОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНИХ ДРОБАРНО- ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ <i>Криворізький національний університет</i>	
<i>Поплавський А.А., Криворучко А.О.</i>	76
ОЦІНКА ТРІЩИНУВАТОСТІ БИСТРІЄВСЬКОГО РОДОВИЩА ГАБРО З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ВИХОДУ БЛОКІВ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	
<i>Сальник Є.І., Собко Б.Ю.</i>	78
ОСОБЛИВОСТІ ВІДКРИТОЇ РОЗРОБКИ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РОДОВИЩ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ В СУЧАСНИХ УМОВАХ <i>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»</i>	
<i>Семенюк В.В., Корнієнко В.Я.</i>	79
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛОГОСТІ БУРШТИНОВІСНИХ ПОРІД ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ <i>Національний університет водного господарства та природокористування</i>	
<i>Скорик М.А., Котенко В.В.</i>	80
ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ХМАРИ ТОЧОК БЛОКУ ОБЛИЦЮВАЛЬНОГО КАМЕНЮ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	

Слободян М.О., Темченко А.Г. ВПЛИВ ТЕКТОНІЧНИХ ПОРУШЕНЬ НА УМОВИ ЗАЛЯГАННЯ ПОКЛАДІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН ТА ЇХ РОЗРОБКУ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	82
Соколовський В.О., Цигода В.В., Коробійчук В.В. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПІДРИВНИХ РОБІТ У ТЕКТОНІЧНО ПОРУШЕНИХ МАСИВАХ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	84
Стратейчук Є.Р., Войтенко К.М., Фролов О.О. СТАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ПРИ СУЦІЛЬНО-КАМЕРНІЙ СИСТЕМІ РОЗРОБКИ РУДНИХ РОДОВИЩ <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	85
Терещук Р.Г., Остафійчук Н.М. ПЕРСПЕКТИВИ ОСВОЄННЯ РОДОВИЩ КРИТИЧНОЇ СИРОВИНИ В УКРАЇНІ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	87
Толкач О.М., Панченко Д.С. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОНУСНИХ ДРОБАРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ RFID <i>Державний університет «Житомирська політехніка» ТОВ «Гранітний кар'єр»</i>	89
Флюх М.В., Гребенюк Т.В. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН ШЛЯХОМ ЛОКАЛЬНОГО ХІМІЧНОГО РОЗМ'ЯКШЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	91
Шапар Я.Р., Панасюк А.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	93
Шепель П.В., Башинський С.І. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОФІЛІТОВОЇ СИРОВИНИ В ЯКОСТІ ТЕРМОГЕНЕРУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	95

<i>Шлапак В.О., Тарнавський Д.О.</i> КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН: ТЕХНОЛОГІЇ, БЕЗПЕКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	96
<i>Ярошовець-Баранова К.А.</i> СУЧАСНИЙ СТАН ТОРФОВИХ ПОКЛАДІВ ЖИТОМИРЩИНИ <i>Інститут геологічних наук НАН України</i>	98

СЕКЦІЯ 2 ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА

- Банцер В. Ю., Припотень Ю. К.,* 100
ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАСТАРІЛИХ
ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ У БАГАТОПОВЕРХОВИХ
БУДІВЛЯХ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Болотюк Н.С., Вапнічна В.В.* 101
ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙ НА
ЩІЛЬНУ ЗАБУДОВУ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТУНЕЛЮ МЕТРО
*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
- Верезумський А.В., Шамрай В.І.* 103
ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОПОЛІМЕРНОЇ АКТИВНОСТІ
ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ГРАНІТОЇДНИХ ПОРІД
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Вилобков Д.А., Фролов О.О.* 104
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СЕЙСМІЧНИХ КОЛИВАНЬ НА
СТІЙКІСТЬ ДІЮЧОГО ТУНЕЛЮ ПРИ ВИКОНАННІ
ВИБУХОВИХ РОБІТ
*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
- Гаважук М. Б., Підвисоцький В. Т.* 106
АНАЛІЗ ТЕХНОГЕННИХ ЗМІН ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО
СЕРЕДОВИЩА М. ЖИТОМИР
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Гайдамака Д.В., Косенко Т.В., Вапнічна В.В.* 108
ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ БЕТОНУ: ВІД ПАСИВНИХ
БАР'ЄРІВ ДО АКТИВНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СИСТЕМ
*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
- Зелінський Я.Й., Шамрай В.І.* 110
ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ УТИЛІЗАЦІЇ ШЛАМУ
КАМЕНЕОБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ
КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ
Державний університет «Житомирська політехніка»

Івахненко Д. І., Гребенюк Т. В. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА: МИНУЛЕ, СУЧАСНІСТЬ І МАЙБУТНЄ <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	111
Кузнєцов В. А., Мішук К. М. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ PERMEABLE PAVING В ДОРОЖНЬОМУ ПОКРИТТІ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ <i>Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізький національний університет</i>	112
Латчук В.А., Козішкурт С.М. ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЛАНДШАФТНОГО ЗРОШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ <i>Національний університет водного господарства та природокористування</i>	114
Лозовський О.І., Байда Д.М. НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ СУПРОВІД РОБІТ З ВЛАШТУВАННЯ МОНОЛІТНОЇ ПЛИТИ ПІДСИЛЕННЯ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ З МОРОЗОСТІЙКОГО ТА ВОДОНЕПРОНИКНОГО БЕТОНУ МОСТУ ЧЕРЕЗ РІЧКУ СІБ НА КМ 484+370 АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ М-12 (М. ГАЙСИН ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ) <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	116
Нестерук Б.О., Піскун І.А. ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ АДАПТАЦІЇ ЗАНЕДБАНОВОГО ГОТЕЛЮ У С. СТАРА КОТЕЛЬНЯ ПІД СОЦІАЛЬНЕ ЖИТЛО ДЛЯ ВПО <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	118
Олійник О.В. ГРАНІТНИЙ ШЛАМ ЯК КАТАЛІЗАТОР НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПІКАННЯ КЕРАМІЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ <i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	120
Постернак О.С., Постернак І.М. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ І БІОКЛІМАТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВІ <i>Одеська державна академія будівництва та архітектури</i>	122

<i>Сав'як В.В., Козішкурт С.М.</i>	124
АДАПТАЦІЯ ІЗРАЇЛЬСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ ДЛЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ УКРАЇНИ	
<i>Національний університет водного господарства та природокористування</i>	
 <i>Шуляк А.В., Шамрай В.І.</i>	126
ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОНАПОВНЮВАЧІВ З ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ В БЕТОНАХ	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	

СЕКЦІЯ 3 ЄВРОПЕЙСЬКІ СТУДІЇ В ГАЛУЗІ ГІРНИЦТВА ТА ЕКОЛОГІЇ

- Давидова І.В., Корбут М.Б.* 127
РЕФОРМА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ
*Державний університет «Житомирська політехніка»
Національний університет «Львівська політехніка»*
- Ігнатюк Р.М., Шамрай В.І.* 129
АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ПЕРЕВАГ БЕЗВИБУХОВИХ МЕТОДІВ
ВИДОБУТКУ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ ТА ЇХ ВІДПОВІДНІСТЬ
ВИМОГАМ ДИРЕКТИВ ЄС ПРО ШУМ І ВІБРАЦІЮ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Кириленко Н. П., Пацева І.Г., Герасимчук Л.О.* 130
ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ В ГІРНИЦТВІ: ШЛЯХ
ГАРМОНІЗАЦІЇ З ДИРЕКТИВОЮ 2011/92/ЄС
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Махно А.М., Мамрай В.В.* 132
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ВИРОБІВ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ
СТАНДАРТАМ EN ЗАСОБАМИ ГІДРОАБРАЗИВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Меринов Р.Р., Шамрай В.І.* 133
РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА КОМПЛЕКСНОЇ
ПЕРЕРОБКИ ШЛАМУ КАМЕНЕОБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ
ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ДИРЕКТИВИ ЄС ПРО ВІДХОДИ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Пащенко Д.О., Папіж Ю.С.* 134
СТАЛІЙ РОЗВИТОК ТА ЄВРОПЕЙСЬКІ СТУДІЇ В ГАЛУЗІ
ГІРНИЦТВА ТА ЕКОЛОГІЇ
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

<i>Устименко В. І.</i>	136
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ ВИДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВІСТЬ КРАЇН ЄС У КОНТЕКСТІ ПРАКТИК СТАЛОГО РОЗВИТКУ	

Державний університет «Житомирська політехніка»

<i>Шамрай В.І.</i>	137
ВИКОРИСТАННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ ЯК ЗАМІСНИКА КЛІНКЕРУ В ЦЕМЕНТНИХ СИСТЕМАХ ВІДПОВІДНО ДО ПРИНЦИПІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ ЄС	

Державний університет «Житомирська політехніка»

**СЕКЦІЯ 4 ПРОДОВОЛЬЧА БЕЗПЕКА НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ
ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ**

- Бондар Б.О., Можарівська І.А., Кравченко Н.В.* 138
АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РІПАКУ ОЗИМОГО ТА ЙОГО
МІСЦЕ У ПРОДОВОЛЬЧІЙ БЕЗПЕЦІ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Боровик М.М., Можарівська І.А.* 139
ГОСПОДАРСЬКА ОЦІНКА ГІБРИДІВ КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Броцький А.С., Кравченко Н.В., Можарівська І.А.* 140
БІОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДО ПОСУХИ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Вигера С. М., Горнічний Б. Р.* 142
РОЗВИТОК ПОПЕЛИЦІ ТА ЇЇ КОНТРОЛЬ У ПОСІВАХ ГРЕЧКИ В
СФГ «ОБЕРІГ» ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Вигера С. М., Ключевич М.М.* 144
НАТУРОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ НАТУРОПАТІЇ – АКТУАЛЬНІСТЬ
СУЧАСНОСТІ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Вигера С. М., Франко Б. П.* 146
ЗАХИСТ СОНЯШНИКА ВІД НЕСПРАВЖНЬОЇ БОРОШНИСТОЇ
РОСИ
В СІВОЗМІНІ ТОВ «МАЯК-Р» ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ
Державний університет «Житомирська політехніка»
- Власюк А.В., Можарівська І.А., Кравченко Н.В.* 148
АГРОТЕХНІЧНІ ІННОВАЦІЇ У ВИРОЩУВАННІ СОЇ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ
Державний університет «Житомирська політехніка»

Галицький В.О., Швець Б.С., Кравченко Н.В. СУЧАСНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА АДАПТАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРТІВ СОЇ (GLYCINE MAX (L.) MERR.) В УМОВАХ ПІВНІЧНО- СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ Сумський національний аграрний університет Державний університет «Житомирська політехніка»	149
Гнітецький М.О., Любиченко В.О., Кравченко Н.В. МІКРОКЛОНАЛЬНЕ РОЗМНОЖЕННЯ РОСЛИН Сумський національний аграрний університет Державний університет «Житомирська політехніка»	150
Горецький М.А., Кравченко Н.В., Можарівська І.А. ВПЛИВ УРБАНІЗАЦІЇ НА ПРОДОВОЛЬЧУ БЕЗПЕКУ:РИЗИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ Державний університет «Житомирська політехніка»	152
Ключевич М.М., Бугира В. В. PHYLOTRETA VITTULA REDT. У ПОСІВАХ КУКУРУДЗИ ТА КОНТРОЛЬ ЇЇ РОЗВИТКУ В СФГ «ЗЛАГОДА» ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ Державний університет «Житомирська політехніка»	154
Ключевич М.М., Вигера С. М. МЕТОДОЛОГІЯ ЗАПИЛЕННЯ КВІТКОВИХ РОСЛИН В КУЛЬТУРНИХ І ХОМОПРИРОДНИХ ФІТОЦЕНОЗАХ Державний університет «Житомирська політехніка»	156
Ключевич М.М., Майструк О.В. КОНТРОЛЬ МІКОЗІВ У ПОСІВАХ СОЇ В ФГ «ГРОЦЬКИЙ» ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ Державний університет «Житомирська політехніка»	158
Ключевич М.М., Сорока В.В. СЕПТОРІОЗ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА КОНТРОЛЬ ЙОГО РОЗВИТКУ В ДП «НОВА ПЕРЕМОГА» ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ Державний університет «Житомирська політехніка»	160
Красовський А.В., Можарівська І.А. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО Державний університет «Житомирська політехніка»	161

<i>Мельник О.В., Зайчук А.С., Кравченко Н.В.</i>	162
ПРОДОВОЛЬЧА БЕЗПЕКА НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ УРБАНІЗАЦІЇ	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	
 <i>Сабашук Л.В., Можарівська І.А., Кравченко Н.В.</i>	164
ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД РІВНЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ В УМОВАХ ТОВ «СІГНЕТ- ЦЕНТР»	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	
 <i>Четверик Б.М., МIRONЧУК Д.С., Кравченко Н.В., Можарівська І.А.</i>	165
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ САДІННЯ КАРТОПЛІ	
<i>Сумський національний аграрний університет</i>	
<i>Державний університет «Житомирська політехніка»</i>	

UDC 550.42:553.94

Kozii Ye.S.**Candidate of Geological Sciences****Senior Research Fellow***of Laboratory of Studies of Structural Changes Rocks,
Institute of Geotechnical Mechanics named by M.S. Poliakov
of National Academy of Sciences of Ukraine***Associate Professor***of the Department of Mining,
Technical University "Metinvest Polytechnic"*

GERMANIUM IN DONBAS COAL AS A STRATEGIC ELEMENT

Critically important minerals find wide application in modern high-tech sectors, and one of the metals that is considered critical for both the United States of America and the European Union is germanium [1,2]. It is a solid, brittle semimetal that was first used approximately 70 years ago as a semiconductor material in radar systems and as a material for the first transistors [3]. As a strategic and critical material, germanium was added to the U.S. National Defense Stockpile as early as 1984 [3]. Due to rapid technological progress, germanium has gained the status of a key material of the 21st century, and today this metal and its derivatives are indispensable in a wide range of fields, including fiber optics, infrared systems, solar energy, detectors, optoelectronics and microelectronics, catalysis, as well as applications in metallurgy, medicine, pharmaceuticals, cosmetics, and phosphor production [4].

Germanium possesses a number of exceptional properties, making it one of the primary materials in semiconductor technology. It is used for the production of diodes, various types of triodes, thermistors, α -particle counters, phototransistors, photoresistors, as well as optical lenses, filters, Hall sensors, and more [5]. Global imports of metallic germanium and germanium dioxide show steady growth. The People's Republic of China maintains its position as the world's leading producer and exporter of this element. The government continuously strengthens export control by implementing licensing programs. Under these regulations, exporters are required to obtain an export license for each batch of products and provide authorities with complete information about the foreign buyer and the final use of the germanium [2].

Coal is considered as a potential source of a number of critically important elements and deserves special attention due to its elevated content of various trace elements, including germanium [6]. The significance of research on germanium is further underscored by the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated July 16, 2021, "On Stimulating the Exploration, Extraction, and Enrichment of Minerals of Strategic Importance for Sustainable Development and the Defense Capability of the State," as well as by Presidential Decree No. 306/2021, which implements this decision. After reviewing a range of issues related to meeting the national economy's needs for strategically important raw materials, with the aim of protecting national economic interests and enhancing the country's defense capability, the National Security and Defense Council of Ukraine decided to approve a list of metallic ores and non-metallic minerals that are of strategic importance for the sustainable development of the economy and the country's defense capability [5]. In these documents, germanium ores are included in the list of minerals recognized as having strategic significance for sustainable development and the defense capability of the state.

In the past, Ukraine had developed a substantial germanium production complex, which was driven by two factors: the presence of coal seams rich in germanium and high demand from the semiconductor and opto-mechanical enterprises of the former USSR, which were oriented toward the defense sector. This complex included the workshop of the Zaporizhzhia Titanium-Magnesium Plant, the Sievierodonetsk Chemical-Metallurgical Plant, and more than ten domestic coking plants [4]. During the soviet period, Ukraine was the single monopolistic producer of germanium in the USSR, producing up to approximately 5 tons of this metal annually [1]. Production was carried out at 13 coking plants, which operated chemical units for the by-product extraction of germanium from coal coking wastewater [7].

In the early 2000s, the Zaporizhzhia Titanium-Magnesium Plant was one of the five leading global producers of germanium. At the same time, domestic scientists and industry specialists, particularly from the Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, were actively working on implementing a new technology for obtaining ash-derived germanium concentrate from coal combustion at thermal energy enterprises [4].

As a result of the depletion of argillite reserves at the Novikovske deposit and the physical deterioration of equipment at coke-chemical plants, the domestic germanium production complex came to a complete halt. Ukraine not only lost its status as a global exporter of germanium products but was also forced to import this element and its compounds, which led to a reduction in the production of its own high value-added product range [4].

Ukraine possesses significant overall germanium resources as an accompanying component in the coal of the Donbas and the Lviv–Volyn coal basins. According to estimates, germanium reserves in coal across 204 mine fields and sites exceed 91,000 tons, with its content ranging from 0.3–1.3 g/t in anthracite to 3.8–9.2 g/t in coal with a low degree of coalification [1].

Currently, coal deposits in Ukraine that are characterized by germanium metal content are not being fully and comprehensively exploited, the reserves of this strategic metal are written off in accordance with coal extraction. To relaunch the domestic germanium production complex, it is critically necessary to conduct continuous monitoring of the germanium content in commercial coal and in the coal seams under development, as well as to modernize and restore the units at coke-chemical plants used to obtain germanium concentrate, employing advanced resource-saving technologies for processing coal tar wastewater.

References:

1. Михайлов В.А., Шевченко В.І., Огар В.В., Курило М.В., Шунько В.В., Грінченко О.В., Омельчук О.В., Михайлова Л.С. Металічні корисні копалини України : Підручник . – К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2007. 218 с.
2. Бурлуцький М., Литвинюк С. (2025). Германій як елемент критичної сировини. Буровугільні родовища Закарпаття як джерело для отримання германію в Україні. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 4(107), 89-94. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.107.11>
3. U.S. GEOLOGICAL SURVEY MINERALS YEARBOOK, 2017, National Minerals Information Center: U.S. Geological Survey, 30.1-30.8.
4. Череватський Д. Ю. (2021). Гетерархії як форма розвитку вугільних підприємств у сучасних умовах: дис. ... д-ра екон. наук: 08.00.04 «Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)» / Ін-т економіки промисловості НАН України. Київ. 454 с.
5. Рішення Ради національної безпеки і оборони України «Про стимулювання пошуку, видобутку та збагачення корисних копалин, які мають стратегічне значення для сталого розвитку економіки та обороноздатності держави» від 15 квітня 2021 року, введене в дію Указом Президента України від 21 квітня 2021 року № 165/2021.
6. Бучинська І.В., Матрофайло М.М., Побережський А.В., Ступка О.О., Лазар Г.І. Поширення германію у вугіллі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Геологічний журнал. 2023. № 4 (385). С. 35–49. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.284910>
7. "Мінеральні ресурси України і світу". Геоінформ України, 2003, 427 с.

Iryna Vashchenko, PhD student
Scientific supervisor: Volodymyr Khomenko, PhD, Associate Professor
Oil and Gas Engineering and Drilling Department
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

POTENTIAL OF ADVANCED HEAVY-OIL RECOVERY TECHNOLOGIES FOR FUTURE DEVELOPMENT IN UKRAINE: A BRIEF GLOBAL REVIEW

Heavy oil constitutes one of the most technically challenging categories of hydrocarbon resources due to its extremely poor mobility, elevated viscosity, and high content of resins, asphaltenes, and heavy fractions. These properties significantly limit the efficiency of conventional production techniques and lead to very low natural recovery factors. Nevertheless, heavy oil represents a strategically important component of global energy portfolios, especially in regions where conventional light crude reserves have already reached maturity. For this reason, studying global experiences in heavy-oil extraction and identifying technologies that may be applicable in countries such as Ukraine remain highly relevant and timely directions of scientific inquiry [1].

At the global level, heavy-oil resources are widely distributed across several major sedimentary basins. The largest accumulations are located in Canada's Athabasca region, Venezuela's Orinoco Belt, and selected basins in China and the Middle East [5]. These regions have become centers of technological innovation, where thermal, solvent-based, and hybrid recovery methods have been tested, improved, and adapted over several decades. The global distribution of these resources is illustrated in **Figure 1**, which highlights the scale and geographic concentration of heavy-oil deposits.



Figure 1: Heavy oil global view showing reserves and production strategy being used (Dusseault, 2024).

The sustained development of these regions has led to significant technological progress. Classical thermal methods such as cyclic steam stimulation (CSS) and steam-assisted gravity drainage (SAGD) remain the most widely applied techniques [2]. CSS relies on cyclic injection of steam into the same wellbore, enabling temporary viscosity reduction and improved mobility during the production phase. SAGD, on the other hand, uses a pair of horizontal wells positioned vertically one above another, in which continuous steam injection into the upper well forms a steam chamber, allowing the heated oil to drain into the lower well. Although these approaches have proven effective, they are highly energy- and water-intensive, which has motivated the development of more sustainable alternatives [3].

In recent years, attention has increasingly shifted toward environmentally optimized and low-carbon technologies. Solvent-based processes, such as VAPEX (vapor extraction), aim to reduce energy consumption by relying on injected solvents rather than high-temperature steam. Hybrid processes that combine light solvents with steam or controlled in-situ combustion have shown promise in reducing water use while maintaining acceptable recovery factors. Other emerging approaches include nano-enhanced fluids, low-temperature heating strategies, and techniques enabling improved reservoir contact while minimizing operational footprint [2-4]. Collectively, these innovations reflect the global transition toward more efficient and cleaner heavy-oil extraction methods.

While Ukraine currently lacks industrial heavy-oil projects, geological assessments indicate the presence of viscous hydrocarbons within the Dnipro-Donets Basin and several adjacent regions [5]. These resources have historically remained underdeveloped due to a combination of technological, economic, and infrastructural constraints. However, the accumulated global knowledge provides an opportunity to rethink the potential of such deposits within Ukraine's long-term energy strategy. Instead of replicating large-scale foreign projects, Ukraine may benefit from targeted pilot trials, which would evaluate the adaptability of selected methods to local conditions - such as heterogeneous lithology, moderate reservoir thickness, and varying thermal stability.

Furthermore, integrating global experiences into Ukrainian research practice could support the formation of an effective scientific and technological foundation for future development. This may include laboratory screening of viscosity-reducing agents, numerical simulations of simplified recovery scenarios, and comparative assessment of energy and water requirements for different methods under Ukrainian geological constraints [1, 3]. Such an approach aligns with the broader international shift toward environmentally responsible extraction, where reducing emissions, optimizing energy consumption, and minimizing surface impact have become central priorities [4].

In the long term, the development of heavy-oil resources in Ukraine - if based on well-chosen, scientifically justified, and economically reasonable technologies – could contribute to improving national energy resilience. Rather than viewing heavy oil solely as a technological challenge, it may be considered a potential strategic reserve whose utilization depends on the country's ability to select the appropriate, low-risk recovery schemes. Therefore, systematic analysis, careful method selection, and small-scale pilot implementation are essential first steps toward evaluating the real feasibility of heavy-oil development in Ukraine.

References:

1. Alberta Energy Regulator. ST98: Alberta Energy Outlook - Heavy Oil and Oil Sands Overview. Edmonton: Alberta Energy Regulator, 2022. 208 p.
2. Buttler, A., et al. Advances in Heavy Oil Recovery Technologies. *Journal of Petroleum Technology*, 2021, Vol. 73, No. 8, pp. 34-39.
3. Farouq Ali, S. M. *Heavy Oil Recovery and Upgrading*. Amsterdam: Elsevier, 2019. 800 p.
4. Greaves, M., Xia, T. Field and Laboratory Insights into THAI and CAPRI Processes. *Energy & Fuels*, 2017, Vol. 31, No. 5, pp. 4534-4548.
5. U.S. Geological Survey. *World Petroleum Assessment - Heavy Oil Resources*. Reston, VA: USGS, 2021. 156 p.

Баталов С.О., бакалавр 3 курс, група ГСм-24-1п,
гірничо-металургійний факультет
Науковий керівник: Назаренко В.О., д.т.н., професор
Технічний університет "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА", м. Запоріжжя, Україна

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ СТОРІН ПОЛІГОНОМЕТРИЧНОГО ХОДУ И ЇЇ ВПЛИВ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КУТА

Підземні опорні маркшейдерські мережі є головною геометричною основою для виконання зйомок гірничих виробок і вирішення гірничо-геометричних задач, пов'язаних із забезпеченням раціональної та безпечної розробки родовищ корисних копалин. Побудова опорних маркшейдерських мереж здійснюється за технічним проектом, складеним з урахуванням перспективного плану розвитку гірничих робіт.

Мета роботи: визначити оптимальну довжину сторін полігонометричного ходу и проаналізувати її вплив на точність вимірювання горизонтального кута.

В роботі вирішуються такі завдання:

- оцінка точності кутових і лінійних вимірювань, визначення оптимальної довжини сторони опорної маркшейдерської мережі;
- визначення залежності похибки горизонтального кута від довжин сторін.

Похибка вимірювання горизонтального кута залежить від способу вимірювання і вид помилок центрування теодоліта і сигналів:

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{m_i^2 + \frac{e^2 \rho^2}{a^2 b^2} (a^2 + b^2 - ab \cos \beta)} \quad (1)$$

де m_i – інструментальна похибка; e – лінійна похибка центрування теодоліта і сигналів; $e = 1,2$ мм (центрування шнуровим виском); a, b – довжини сторін кута, що вимірюється; β – величина кута, що вимірюється, $\beta = 0-360^\circ$; ρ – радіан, $\rho = 206265''$.

При вимірі кута способів прийомів інструментальна похибка:

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_0^2}{n} + \frac{m_v^2}{n}} \quad (2)$$

де m_0 – похибка відліку; m_v – похибка візування на сигнал; n – число повторень або прийомів.

Похибка візування визначається за формулами:

$$m_v = \pm \frac{d}{12} \quad (3)$$

$$m_v = \pm \frac{60}{V} \quad (4)$$

де d – кутова відстань між нитками бісекторі, секунд; v – збільшення зорової труби теодоліта.

Величина помилки відліку залежить від типу відлікових пристосувань. При відліку по двох сторонах з подальшим їх усередненням:

$$m_0 = \pm \frac{t}{3,5} \quad (5)$$

де t – ціна поділки шкали.

Інструмент: теодоліт 2Т5К ($t = 6$, $d = 40$, $V = 27,5$).

Визначивши необхідні дані, обчислюємо інструментальну помилку:

$$\begin{aligned} m_0 &= \pm \frac{6''}{3,5} = \pm 1,7''; \\ m_v &= \pm \frac{60}{27,5} \pm 2,18''; \\ m_v &= \pm \frac{40}{12} \pm 3,33''; \\ m_i &= \pm \sqrt{\frac{1,7^2}{1} + \frac{3,33^2}{1}} = \pm 3,7'' \end{aligned}$$

Після обчислення інструментальної помилки, похибки візування і відліку беремо значення довжин ліній і досліджуємо точність вимірювання горизонтального кута в залежності від збільшення довжини сторони.

Обчислення значень m_β зведені у таблицю 1.

За даними табл. 1 побудовано графік (рис. 1) залежності похибок вимірювання кутів від довжини сторін. За графіком знаходимо найбільш оптимальну довжину сторони опорної мережі.

Таблиця 1.

Точність вимірювання горизонтального кута в залежності від збільшення довжини сторони

Кут, град	Довжина сторін, м														
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
0	13,169	7,651	6,105	5,461	5,136	4,950	4,835	4,758	4,705	4,667	4,639	4,617	4,600	4,586	4,575
10	13,257	7,689	6,126	5,474	5,145	4,957	4,840	4,762	4,708	4,670	4,641	4,618	4,601	4,587	4,576
20	13,515	7,801	6,188	5,514	5,172	4,976	4,854	4,774	4,718	4,677	4,647	4,624	4,606	4,591	4,579
30	13,926	7,979	6,289	5,577	5,215	5,007	4,878	4,792	4,732	4,689	4,657	4,632	4,613	4,597	4,585
40	14,465	8,216	6,423	5,662	5,274	5,050	4,910	4,817	4,752	4,705	4,670	4,644	4,623	4,606	4,592
50	15,104	8,498	6,584	5,766	5,345	5,101	4,949	4,847	4,777	4,725	4,687	4,658	4,635	4,616	4,602
60	15,811	8,814	6,766	5,883	5,426	5,161	4,994	4,883	4,805	4,748	4,706	4,674	4,649	4,628	4,612
70	16,559	9,151	6,962	6,010	5,514	5,225	5,043	4,921	4,836	4,774	4,727	4,692	4,664	4,642	4,624
80	17,320	9,496	7,165	6,143	5,607	5,293	5,095	4,962	4,869	4,801	4,750	4,711	4,680	4,656	4,636
90	18,071	9,840	7,368	6,277	5,701	5,363	5,148	5,004	4,902	4,828	4,773	4,730	4,697	4,670	4,649
100	18,793	10,173	7,566	6,408	5,794	5,431	5,200	5,045	4,936	4,856	4,796	4,750	4,714	4,685	4,662
110	19,467	10,485	7,753	6,532	5,882	5,497	5,251	5,085	4,968	4,882	4,818	4,769	4,730	4,699	4,674
120	20,079	10,769	7,924	6,647	5,964	5,558	5,298	5,122	4,998	4,907	4,839	4,786	4,745	4,712	4,685
130	20,616	11,020	8,076	6,749	6,037	5,612	5,340	5,155	5,025	4,929	4,857	4,802	4,759	4,724	4,696
140	21,069	11,232	8,205	6,836	6,099	5,658	5,376	5,184	5,048	4,948	4,874	4,816	4,770	4,734	4,705
150	21,429	11,401	8,308	6,905	6,149	5,696	5,404	5,207	5,066	4,964	4,886	4,827	4,780	4,742	4,712
160	21,691	11,524	8,383	6,956	6,185	5,723	5,426	5,224	5,080	4,975	4,896	4,835	4,787	4,748	4,717
170	21,850	11,599	8,429	6,987	6,208	5,740	5,439	5,234	5,089	4,982	4,902	4,840	4,791	4,752	4,720
180	21,903	11,624	8,444	6,998	6,215	5,746	5,443	5,237	5,091	4,984	4,904	4,842	4,793	4,753	4,721

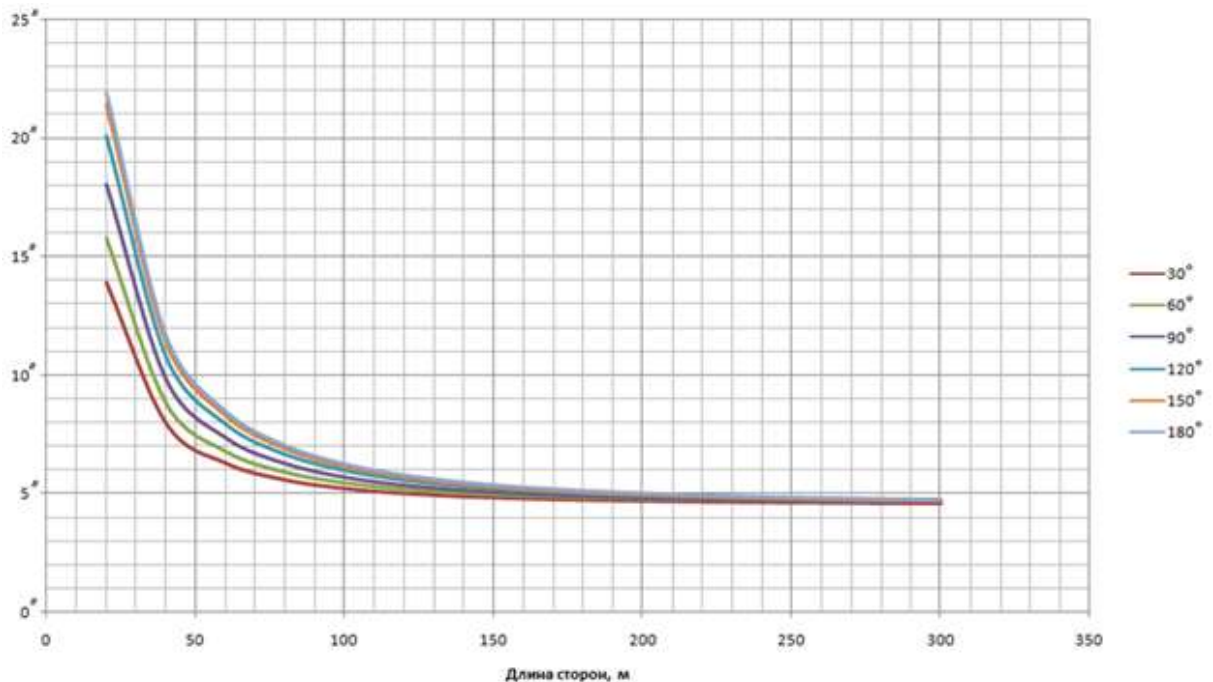


Рис. 1. Графік залежності похибки вимірювання кутів від довжин сторін

Висновок: З графіка залежності точності вимірювання горизонтального кута від збільшення довжин інтервалів видно, що зі збільшенням довжини сторони помилка зменшується. На прямолінійних ділянках квершлагоу при наближенні кута до значення 180° довжини сторін приймаються максимально можливими виходячи з умов 200-250м. Довжини інших сторін приймаються максимальними виходячи з геометрії виробок..

Бовсунівська С.С., студентка 1 курсу ОР «бакалавр», групи ГР-25-1
НАУМОВ Я.О., асистент кафедри гірничих технологій
та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.,
Державний університет «Житомирська політехніка»

МІНЕРАЛИ-ІНДИКАТОРИ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХНЄ ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Мінерали-індикатори відіграють ключову роль у сучасній геології, оскільки саме вони зберігають у своїй структурі та хімічному складі інформацію про умови формування гірських порід. Для геолога вони є маркерами які показують, яка температура, тиск або хімічне середовище були на момент утворення породи. Наприклад, якщо в породі є гранат або кіаніт то це означає, що відбувся метаморфізм на великій глибині. Якщо ми бачимо глауконіт, то відбулося накопичення на морському дні. Дані мінерали дозволяють не просто провести опис породи, а зрозуміти умови формування та коли вона утворювалася. У роботі розглядається як різні типи мінералів-індикаторів пов'язані з геологічними процесами, і як їх можна використовувати. Самі вони використовуються у розвідці корисних копалин, стратиграфії, геохімії та екології. У ході досліджень встановлено, що такі мінерали, як гранат, циркон, хромшпінеліди, амфіболи, піроксени та низка сульфідів, є природними індикаторами геологічних процесів.

Індикаторні мінерали – це мінеральні види, що вказують на наявність певного родовища корисних копалин і можуть бути вилучені з поверхневих відкладень. Ідеальними індикаторними мінералами, вилученими з льодовикових відкладень, є ті, що зустрічаються в небагатьох гірських породах, якщо такі взагалі зустрічаються, окрім родовища корисних копалин, що шукається. Їхні фізичні та хімічні характеристики дозволяють легко вилучити їх з великих зразків у достатній кількості для легкої ідентифікації, підрахунку життєздатних зерен та аналізу.

У метаморфічних комплексах мінерали, такі як гранат, кіаніт, силіманіт, андалузит, хлорит, тальк і серпентин, дозволяють визначити фації метаморфізму та глибину занурення порід. Наприклад, поліморфні форми Al_2SiO_5 (кіаніт, силіманіт, андалузит) утворюються при різних тисках і температурах, що дає змогу реконструювати термобаричні умови регіону. Гранат є індикатором середньо- та високотемпературного метаморфізму, а хлорит низькотемпературного, типового для тектонічно активних зон з обмеженим прогрівом, де метаморфізм не досягає високих ступенів.[1]

У магматичних породах мінерали-індикатори, такі як олівін, піроксен, плагіоклаз, ортоклаз, біотит, мусковіт, циркон, формуються в процесі кристалізації магми. Їхній склад і текстура дозволяють визначити тип магми, її еволюцію та глибину кристалізації. Циркон, завдяки своїй термостійкості, широко використовується для уран-свинцевого датування порід, що є основою геохронологічних досліджень[3]

Гідротермальні мінерали, такі як кварц з включеннями, кальцит, барит, халькопірит, галеніт, утворюються внаслідок циркуляції гарячих водних розчинів у тріщинах земної кори. Їхня присутність свідчить про активність гідротермальних систем і часто супроводжує рудні родовища золота, міді, свинцю, цинку. Зональність мінералів (наприклад, перехід від серициту до каолініту) вказує на зміну хімічного складу флюїдів, температури та рН середовища [2].

Осадкові мінерали, такі як гіпс, ангідрит, галіт, глауконіт, гематит, лімоніт, є індикаторами палеогеографічних умов. Гіпс, ангідрити утворюються при випаровуванні морської води в пустельному кліматі, глауконіт при повільному осадо накопиченні в морських басейнах, а гематит і лімоніт в окисному середовищі континентальних умов. Їхнє вивчення дозволяє реконструювати давні кліматичні умови та типи басейнів осадо накопичення. [2].

Мінерали-індикатори використовуються для прогнозування рудоносних систем у процесі геологічного районування та оцінки перспективності родовищ. У пошуках алмазоносних кімберлітів застосовуються піроп, хромдіопсид, ільменіт – це мінерали-супутники, що дозволяють локалізувати корінні джерела алмазів. У вулканогенно-осадових родовищах індикаторами є сфалерит, халькопірит, барит. У скарнових родовищах — гранат, піроксен, магнетит. Їхня присутність дозволяє класифікувати рудоносні системи та оцінити їхню економічну перспективність [2].

Таблиця 1.

Класифікація мінералів-індикаторів за типами геологічних процесів, умовами їх утворення та практичним значенням

Геологічний процес	Мінерали-індикатори	Умови формування	Практичне значення
Метаморфізм	Кіаніт, силіманіт, хлорит	Високий тиск і температура, глибина >10 км	Визначення фацій метаморфізму, реконструкція тектоніки
Магматизм	Олівін, піроксен, плагіоклаз, циркон	Кристалізація магми, температура >800°C	Датування порід, типізація магматичних провінцій
Гідротермальні процеси	Кварц, кальцит, халькопірит, галеніт	Циркуляція гарячих розчинів, тріщини кори	Пошук рудних родовищ (Au, Cu, Pb, Zn)
Осадонакопичення	Гіпс, ангідрит, глауконіт, гематит	Випаровування, морське середовище, окисне	Палеогеографія, оцінка кліматичних умов
Утворення рудних корисних копалин	Піроп, хромдіоксид, ільменіт, сфалерит	Глибинні магматичні системи, вулканізм	Прогнозування алмазоносних, поліметалічних родовищ

Їхня внутрішня зональність, мікровключення, співвідношення елементів і стабільність ізотопних систем дозволяють визначати температуру, тиск, склад флюїдів, швидкість кристалізації, а також вік геологічних подій. Наприклад, гранат у метаморфічних породах фіксує послідовність етапів перетворення породи, тоді як циркон дає можливість визначати абсолютний вік магматичних і метаморфічних процесів навіть у давніх докембрійських комплексах. Хромшпінеліди з ультраосновних порід дозволяють реконструювати умови мантийного плавлення та оцінювати рудний потенціал хромітових і платиноносних родовищ, тоді як амфіболи й піроксени містять інформацію про температуру, глибину та хімічну еволюцію магматичних камер. Важливим є вивчення флюїдних і твердих включень, адже вони є прямими свідченнями складу середовища, у якому ріс кристал. Для аналізу таких структур застосовують мікрозондові методи, раманівську спектроскопію, що дає змогу отримати достовірні дані про склад мінералів і флюїдів. Практичне значення цих мінералів полягає в можливості прогнозувати рудні родовища, реконструювати тектонічні події, моделювати історію розвитку гірських систем та визначати потенціал території щодо корисних копалин.

Аналізуючи ці дані можна дійти до висновку, що мінерали-індикатори дозволяють визначити умови формування порід - це температуру, тиск, тип середовища, і на основі цих даних можна робити висновки про геологічну історію регіону. Наприклад, мінерали метаморфізму вказують на глибину і ступінь перетворення порід, магматичні, на тип магми, а гідротермальні уже на можливу наявність рудних родовищ. Осадкові мінерали допомагають зрозуміти давній клімат і умови накопичення осадів. Усе це має велике практичне значення: мінерали-індикатори використовуються при пошуку корисних копалин, у геохронології, при складанні геологічних карт і навіть для оцінки екологічного стану територій. Тому їхнє вивчення є не лише теоретично важливим, а й корисним для реальних геологічних робіт.

Список використаної літератури:

1. Прикладна мінералогія. Частина I – Засоби вирішення технологічних задач прикладної мінералогії: електронний навчальний посібник;/ Лазарева І.І. – електронний ресурс ННІ «Інститут геології». – 121 с.
2. Гулій, В., Бекеша, С., & Побережська, І. (2024). Особливості використання традиційних мінералів-індикаторів у процесі прогнозування алмазоносних об'єктів. Мінералогічний збірник, (69), 59–77.
3. Наумко І., Павлюк М., Побережський А.. Геохімія і термобарометрія мінералоутворювальних флюїдів та термобарогеохімія евапоритів – всесвітньо відомі наукові школи. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals* No. 1 (182) 2020, 62-75.

**Вахнюк С. В., студентка 4 курсу, групи ГР-41,
навчально-науковий механічний інститут
Науковий керівник: Семенюк В. В., ст. викладач**

Національний університет водного господарства та природокористування

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА НАСЛІДКІВ НЕЗАКОННОГО ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ НА УКРАЇНСЬКОМУ ПОЛІССІ

Проблема незаконного видобутку бурштину на території Українського Полісся набула масштабів національної катастрофи, становлячи одну з найгостріших екологічних, соціально-економічних та правових проблем сучасності. Історично Полісся є регіоном значних покладів бурштину, і «сонячний камінь» становить значний інтерес через свою високу ринкову вартість. Проте, неконтрольований, «хижацький» видобуток, що здійснюється переважно гідравлічним способом (з використанням мотопомп), призводить до незворотних змін у навколишньому природному середовищі. Зв'язок цієї проблеми із важливими науковими та практичними завданнями очевидний: без ґрунтовної екологічної оцінки неможливо розробити ефективні стратегії рекультивації порушених земель, відновити біорізноманіття та забезпечити сталий розвиток регіону. Наукове обґрунтування масштабів шкоди є необхідною передумовою для посилення правової відповідальності та розробки державних програм з мінімізації наслідків.

Останні дослідження та публікації, присвячені цій проблемі, висвітлюють переважно два аспекти: кримінологічний та соціально-економічний. Зокрема, значна увага приділяється механізмам незаконної діяльності, корупційним зв'язкам та впливу на місцеві громади. Водночас, екологічний аспект, хоч і згадується, але часто не отримує належної деталізації та кількісної оцінки. Дослідження вчених фіксують зростання площ порушених земель та зміну гідрологічного режиму річок і озер. Проте, комплексного еколого-геохімічного аналізу порушених територій, що охоплює забруднення ґрунтів та вод, деградацію рослинного покриву та прогнозування довгострокових наслідків, досі недостатньо.

Методика дослідження базується на системному підході до оцінки екологічних порушень. Для визначення площ та характеру руйнувань використано дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), а саме аналіз супутникових знімків високої роздільної здатності за період 2014-2024 рр. та порівняння їх із картографічними матеріалами до початку активного видобутку. Виділення невирішених раніше частин проблеми, яким присвячено цю статтю, включає: кількісну оцінку втрат біологічного різноманіття на типових ділянках порушень; визначення наявності геохімічного забруднення ґрунтів та поверхневих вод важкими металами та іншими токсичними елементами, що вивільняються з глибинних шарів порід; розробку моделі прогнозування зміни гідрологічного режиму малих річок та ґрунтових вод у зонах інтенсивного видобутку.

Основними завданнями досліджень полягають у проведенні комплексної екологічної оцінки наслідків незаконного видобутку бурштину на Поліссі України, включаючи кількісну характеристику змін ландшафтів, оцінку рівня геохімічного забруднення та прогнозування довгострокових екосистемних ризиків. Основними завданнями є: а) провести просторово-часовий аналіз динаміки порушення земель із використанням даних ДЗЗ; б) визначити ступінь деградації лісових та водно-болотних екосистем та розробити первинні рекомендації щодо рекультивації.

Результати досліджень підтвердили катастрофічні масштаби порушень. Найбільш відчутним є порушення гідрологічного режиму. Інтенсивне відкачування води мотопомпами призводить до стрімкого зниження рівня ґрунтових вод, осушення прилеглих боліт та мілководдя річок. Це спричиняє деградацію оліготрофних боліт – унікальних поліських екосистем, що є домівкою для рідкісних видів. Підняття глибинних шарів породи на поверхню та їхня взаємодія з киснем (окислення) призводить до утворення кислих дренажних вод, які несуть низку важких металів, зокрема заліза (Fe) та миш'яку (As), що є природними супутниками бурштиноносних порід, у водотоки.

Оцінка біорізноманіття свідчить про повну або часткову втрату рідкісних видів рослин, занесених до Червоної книги України, на порушених ділянках. Лісові насадження деградують внаслідок ерозії кореневої системи та зміни режиму зволоження. Без негайної рекультивації ці ландшафти перетворяться на техногенні пустки на десятки років.

Проведена екологічна оцінка підтвердила, що незаконний видобуток бурштину на Поліссі України спричинив катастрофічні та, у багатьох випадках, незворотні екологічні наслідки. Тисячі гектарів лісів та боліт перетворені на техногенні пустки, а порушення зафіксовані на рівні регіональної екомережі. Зміна режиму ґрунтових та поверхневих вод загрожує унікальним водно-болотним комплексам Полісся. Підняття глибинних шарів породи на поверхню та їхня взаємодія з киснем (окислення) призводить до утворення кислих дренажних вод, які несуть ці елементи у водотоки, що створює ризики для здоров'я населення та екосистем.

Воловик В.А.,
аспірант, нафтогазова інженерія та технології, НГа-25-10
Науковий керівник: Хоменко Володимир Львович,
кандидат технічних наук, доцент
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ГУСТИНИ ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН В ПРОЦЕСІ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

Процес буріння глибоких нафтових і газових свердловин є складним, високотехнологічним та капіталомістким процесом, успіх якого значною мірою залежить від якості управління циркуляційною системою. Ключову роль у цій системі відіграють промивальні рідини (бурові розчини). Вони виконують низку життєво важливих функцій: очищення вибою від вибуреної породи, охолодження та змащування долота, утримання шламу у зваженому стані під час зупинок циркуляції, а також, що найважливіше, створення гідростатичного тиску на стінки та вибій свердловини для компенсації пластового тиску.

Ефективне виконання цих функцій можливе лише за умови суворого дотримання проектних параметрів промивальної рідини. До основних властивостей, що підлягають безперервному контролю, відносять реологічні (в'язкість, динамічне напруження зсуву), фільтраційні, хімічні (рН, мінералізація) та фізичні (густина, температура) показники. Серед усього комплексу цих властивостей, густина (щільність) промивальної рідини виступає як один з найбільш критичних параметрів, що безпосередньо впливає на безпеку та ефективність процесу буріння.

Густина бурового розчину є визначальним фактором у формуванні гідростатичного тиску в стовбурі свердловини. Цей тиск має бути точно збалансованим. З одного боку, він повинен надійно перевищувати пластовий тиск для запобігання неконтрольованим викидам флюїду – газонафтоводопроявам (ГНВП), які можуть призвести до катастрофічних аварій. З іншого боку, надмірне перевищення гідростатичного тиску над пластовим є вкрай небажаним. Воно призводить до поглинання промивальної рідини продуктивними пластами, гідравлічного розриву пласта (ГРП), зниження механічної швидкості буріння через диференційний тиск, а також підвищує ризик прихоплення бурильної колони. Таким чином, підтримка густини у вузькому, чітко розрахованому діапазоні («вікно буріння») є фундаментальною задачею оперативного управління.

Традиційні методи контролю густини, такі як використання важільних ваг (наприклад, ареометр ВРП-1), незважаючи на свою простоту та надійність, мають суттєві недоліки [2, с. 12]. Вони базуються на ручному відборі проб, є дискретними (непостійними) та мають значну часову затримку між відбором проби та отриманням результату. В умовах сучасного високошвидкісного буріння, особливо в складних гірничо-геологічних умовах (наприклад, зони з аномально високим пластовим тиском або вузькі «вікна буріння»), така інерційність є неприпустимою. Затримка в реакції на зміну густини може призвести до пропуску початку ускладнення.

У зв'язку з цим, гостро постає питання розробки та впровадження автоматизованих систем експрес-аналізу густини безпосередньо в потоці циркулюючої промивальної рідини. Сучасні підходи до вирішення цієї задачі базуються на різних фізичних принципах. Широкого розповсюдження набувають методи, що використовують гідростатичний принцип (вимірювання диференціального тиску на вертикальній ділянці труби), проте вони чутливі до вібрацій та швидкості потоку. Більш прогресивними є вібраційні (резонансні) методи, де густина визначається за зміною власної частоти коливань чутливого елемента [1, с. 47]. Також застосовуються коріолісові масові витратоміри та радіоізотопні густиноміри.

Незважаючи на різноманітність існуючих технічних рішень, проблема точного та надійного вимірювання густини в реальних умовах бурової залишається актуальною. Агресивність середовища (висока абразивність шламу, хімічна активність компонентів, значні коливання температури) та складні умови експлуатації (сильні вібрації, обмежений простір) висувають жорсткі вимоги до надійності, зносостійкості та точності вимірювальних приладів.

Таким чином, подальші дослідження в галузі приладобудування, спрямовані на створення стійких до завад та надійних датчиків густини, а також розробка алгоритмів обробки сигналів для компенсації впливу температури, в'язкості та вмісту твердої фази, є ключовим напрямком для підвищення безпеки та економічної ефективності процесу буріння. Оперативний контроль густини є невід'ємною складовою сучасних систем автоматизованого управління бурінням (АСУБ) та систем моніторингу в реальному часі (Real-Time Monitoring).

Список використаної літератури:

1. Петренко В. І., Заміховський Л. М. Методи та засоби контролю параметрів бурових розчинів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2020. № 3(76). С. 45–52.
2. ДСТУ EN ISO 10414-1:2014. Промисловість нафтова і газова. Випробування бурових розчинів на промислових об'єктах. Частина 1. Розчини на водній основі (EN ISO 10414-1:2008, IDT). [Чинний від 2015-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2014. 28 с.

Гнітецький О.М., аспірант, 3 курс, PhD-184-23-2,
Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Котенко В.В. к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРАКТИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ ВИКОНАНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ НА ОСНОВІ ПОРІВНЯННЯ ЦИФРОВИХ 3D-МОДЕЛЕЙ ВІДКРИТОЇ ГІРНИЧОЇ РОЗРОБКИ, СТВОРЕНИХ ЗА ДАНИМИ АЕРОФОТОЗНІМАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Актуальність: Використання безпілотних літальних апаратів для створення цифрових 3D-моделей рельєфу відкритих гірничих розробок є ефективним інструментом для маркшейдерського супроводу та контролю обсягів виконаних гірничих робіт. Порівняно з класичними наземними методами, застосування БПЛА дозволяє охоплювати значні площі в умовах складного рельєфу, зменшує час польових робіт і забезпечує підвищену безпеку, адже знімання виконується дистанційно без необхідності зупинки технологічного процесу.

Постановка задач: Отримання двох цифрових 3D-моделей гранітного кар'єру за різні роки, їх прив'язка в єдину систему координат UCS-2000/LCS-18 Zhytomyr, а також визначення об'ємів виконаних гірничих робіт шляхом порівняння цих моделей. Додатковою метою було встановити точність створених моделей та визначити чинники, що впливають на похибки при обчисленні об'ємів.

Викладення матеріалу:

Аерофотознімання відкритої гірничої розробки ПРАТ «Коростишівський гранітний кар'єр», що розташована північніше с. Кам'яний Брід, виконувалося у дві сесії: у 2024 та 2025 роках. У обох випадках польоти здійснювалися на висоті 60 м із повздовжнім та поперечним перекриттям 80 % і 70 % відповідно, з використанням БПЛА DJI Mavic 3 Enterprise. Маршрут польоту та параметри знімання забезпечували необхідну глибину перекриттів для фотограмметричної реконструкції уступів та робочих поверхонь.

Просторова прив'язка моделей виконана за допомогою системи опорних марок, координати яких були визначені полярним методом тахеометром South NTS-355R з кутовою точністю 5". У 2024 році використано п'ять опорних марок, закріплених на стійких елементах рельєфу. У 2025 році до цих марок було додано шістьнадцять контрольних точок (1 вертикальна та 15 горизонтальних), виконаних у вигляді мішеней на матовому фотопапері формату А3 на клейкій основі, розміщених на поверхні гранітних блоків. Опрацювання даних здійснювалося в програмному забезпеченні PIX4Dmatic, де виконано калібрування камери, вирівнювання знімків, генерацію щільної хмари точок та побудову тривимірних моделей у форматі OBJ. За результатами обробки 2025 року середній RMS-показник по GCP та контрольних точках становив приблизно 2–3 см, що підтверджується звітом якості проекту.

Порівняння моделей 2024 та 2025 років виконано у 3Dsurvey методом Mesh-to-Mesh. На моделі 2025 року був побудований полігон робочої ділянки, що визначає зону інтересу для зіставлення двох моделей. Площа полігону становила 1133,483 м² для блоку 1 та 3177,409 м² для блоку 2. Далі програмне забезпечення автоматично обчислило різницю між моделями та побудувало карту дельти об'ємів.

Результати: За результатами порівняння двох моделей встановлено обсяг виконаних гірничих робіт, детально рис.1 та рис. 2:

- блок 1 – 10 095,478 м³; блок 2 – 26 064,723 м³.

Отриманий результат демонструє чітку динаміку освоєння кар'єру протягом року. Візуалізація різниць дозволяє визначити геометрію виїмки, напрямки переміщення порід та локальні особливості розвитку уступів.

Недоліки: Модель 2024 року містила окремі кам'яні блоки та залишки складованих матеріалів, які увійшли до об'єму при обчисленні та можуть давати похибку до 5 %. Крім того, відсутність автоматизованого звіту об'ємів у 3Dsurvey ускладнює формування повного пакета документації. Для підвищення точності необхідно виконувати попередню очистку моделі або фізичне прибирання зайвих блоків перед зніманням.

Переваги: Метод дозволяє отримувати швидкий і наглядний результат без зупинки роботи кар'єру. Наявність постійних опорних марок забезпечує стабільну геодезичну основу для повторних знімань. Використання ручної прив'язки моделей робить технологію автономною і незалежною від RTK-корекцій GSM, що є важливим у польових умовах та в умовах воєнного стану.



Рис. 1. Візуалізація порівняння 3D-моделей кар'єру за 2024 та 2025 роки з виділеними полігонами зон інтересу: блок 1 (червоний контур) та блок 2 (синій контур). На моделі показано різницю геометрії уступів і обсягів виїмки порівняно з попереднім роком (2025 рік).

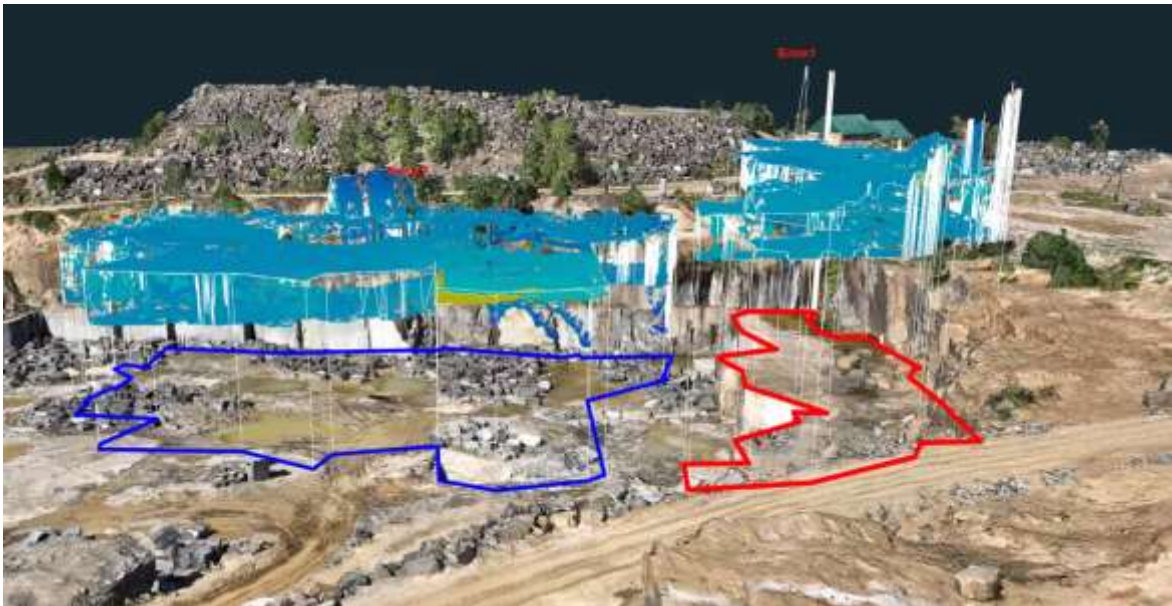


Рис. 2. Візуалізація порівняння 3D-моделей кар'єру за 2024 та 2025 роки з виділеними полігонами зон інтересу: блок 1 (червоний контур) та блок 2 (синій контур). На моделі показано різницю геометрії уступів і обсягів виїмки порівняно з попереднім роком (2024 рік).

Напрями подальших досліджень: Планується протестувати спеціалізоване ПЗ для аналізу хмар точок, зокрема CloudCompare, з можливістю точнішого порівняння моделей методом Cloud-to-Cloud та отриманням детальних статистичних та об'ємних звітів. Також передбачається порівняння результатів з класичними GNSS-вимірами та пошук оптимальних параметрів знімання (кут нахилу камери, висота польоту, частка облікових знімків) для покращення реконструкції уступів.

Висновки: Порівняння двох незалежно створених тривимірних моделей дозволило визначити об'єми виконаних гірничих робіт та підтвердило практичну можливість використання БПЛА як інструменту маркшейдерського контролю. Застосування опорних марок і тахеометричного знімання забезпечує достатню геометричну точність моделей для порівняння та подальших інженерних задач. Методика є перспективною для системного контролю динаміки освоєння родовищ нерудної будівельної сировини та може бути основою для подальших наукових досліджень у цій сфері.

**Горшкальов К.А., студент 1 курсу ОР «бакалавр», групи ГР-25-2,
Наумов Я.О., асистент кафедри гірничих технологій
та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.,
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ЗНАЧЕННЯ ДОМІНУЮЧИХ МІНЕРАЛІВ У ФОРМУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

У сучасній геотехнології домінуючі мінерали розглядаються як ключовий фактор, що визначає не лише морфологічні та якісні характеристики корисної копалини, а й формує весь комплекс технологічних рішень від вибору способу розробки до параметрів збагачення, екологічного супроводу та економічної ефективності. Їх вивчення є обов'язковим етапом геолого-економічної оцінки родовищ і проектування гірничих підприємств.[1]

Передусім, домінуючі мінерали визначають тип корисної копалини в мінералогічному та технологічному сенсі. Наприклад, у фосфоритах це апатит або фторапатит, у залізних рудах - магнетит, гематит або сидерит, у вапняках — кальцит або доломіт. Саме ці мінерали є носіями цільового компонента, і їхній вміст, форма залягання, ступінь зрощення з іншими мінералами та фізико-хімічні властивості визначають технологічну схему переробки.[3]

Фізико-механічні властивості домінуючих мінералів можна перераховувати, але головні - це твердість за шкалою Мооса, щільність, тріщинуватість, абразивність, все це безпосередньо впливають на вибір способу видобутку. Кварц є ключовим компонентом кварцових пісковиків, кварцитів, залізистих кварцитів та гранітів. У цих корисних копалинах він визначає жорсткість масиву й підвищену абразивність. Під час буріння такі породи чинять значний опір і спричиняють швидке зношування твердосплавних коронок. У вибухових роботах кварцитові та кварцові масиви вимагають збільшення питомої витрати вибухових речовин, адже кварц руйнується крихко й утворює дрібну фракцію. Дроблення і подрібнення кварцової сировини супроводжуються високими енерговитратами та інтенсивним зношуванням обладнання. Це характерно, наприклад, для видобутку кварцитів на металургійні потреби або гранітних щебеневих родовищ.

Для прикладу кальцит є вже основою вапняків, мергелів і частково поліметалічних руд. І знову ж таки у вапнякових кар'єрах буріння відбувається швидко, оскільки порода м'яка й малоабразивна. При проведенні вибухових робіт у кальцитовмісних масивах заряд вибухових речовин може бути меншим, а дроблення відбувається рівномірніше, ніж у кварцових породах. Під час подрібнення вапняк поводить передбачувано, що важливо в цементній промисловості. Порівняно з кварцовими породами, вапняки забезпечують кількарізне зниження енерговитрат.[1]

Хімічні властивості домінуючих мінералів формують вимоги до збагачення та подальшої переробки. Наприклад, у випадку мідних руд, наявність халькопіриту передбачає застосування флотаційних методів, тоді як малахіт або азурит можуть бути вилучені гідрометалургійним способом. Серпентиніт же, більш поширений у хромітових і магнезитових родовищах. На буріння він впливає специфічно: замість руйнування порода може «змінатися», утруднюючи виймання шламу. Дроблення серпентинітів формує видовжені й пластинчасті частинки, що істотно відрізняє їх від уламків карбонатних чи кварцових порід. Порівняно з магнетитовими рудами серпентиніт менш міцний, але технологічно проблемніший через свою пластичність. Але якщо беремо магнетит, то при його видобуванні на кар'єрах буріння супроводжується низькою швидкістю, подібно до кварцитів, однак магнетит менш абразивний, ніж кварц. У золотовмісних рудах форма знаходження золота (самородне, у складі сульфідів) визначає вибір між гравітаційним, флотаційним, біохімічним або ціанідним вилученням.[2]

Поєднання домінуючих і супутніх мінералів впливає на збагачуваність сировини, для прикладу, у складних поліметалічних рудах присутність галеніту, сфалериту, халькопіриту та бариту вимагає багатостадійного розділення з використанням селективної флотації. Важливим є також ступінь зрощення мінералів: чим тонше зрощення, тим глибше подрібнення необхідне для ефективного вилучення, що підвищує витрати на енергію та реагенти.[2]

Домінуючі мінерали також впливають на екологічні аспекти розробки. Наприклад, сульфідні мінерали (пірит, арсенопірит) при окисненні утворюють кислотні дренажі, що спричиняє забруднення ґрунтів і вод. І враховуючи, що пірит часто поширений у золотих, мідних, поліметалічних і залізних родовищах, його присутність у руді ускладнює буріння, оскільки він сам надзвичайно абразивний. У золотих жилах це часто потребує використання дорогих коронок. Піритисті руди важко дробляться і прискорено зношують обладнання. На відміну від кварцових

пісковиків, де абразивність залежить від твердості, пірит викликає також хімічне окиснення, що може впливати на техніку під час транспортування.[2]

У таких випадках необхідне проектування систем нейтралізації, гідроізоляції відвалів і моніторинг довкілля. Натомість інертні мінерали, як кварц або кальцит, не створюють подібних загроз.

З економічної точки зору, вміст домінуючого мінералу є основою для підрахунку балансових запасів. Мінімально допустимий вміст цільового компонента (гранична кондиція) визначається з урахуванням технологічної вилучуваності, ринкової вартості продукції, витрат на видобуток і переробку. Таким чином, мінералогічна характеристика безпосередньо впливає на класифікацію запасів як промислових або неперспективних.

Окремим важливим аспектом є вплив мінерального складу на вибір техніки та обладнання. У кварцитових, магнетитових і гранітних родовищах, де домінують тверді та абразивні мінерали (кварц, магнетит, польові шпати), перевага надається високопотужним буровим станкам із твердосплавними або алмазними коронками, а також дробаркам конусного типу з підвищеною зносостійкістю робочих поверхонь. Для вибухових робіт застосовують більш енергоємні вибухові речовини та схеми підривання з оптимізованою сіткою свердловин. [4]

При цьому у вапняках і доломітових породах, де головними є кальцит і доломіт, ефективно працюють легші бурові установки з менш жорсткими коронками, а дроблення забезпечується шокowymi або молотковими дробарками з помірним рівнем зносу. У мідних та серпентинітових масивах техніка обирається з акцентом на стабільність роботи, тобто, бурові станки повинні мати ефективну систему очищення свердловин, транспортне обладнання має мати захист від залипання матеріалу, а дробильно-сортувальні комплекси повинні мати спеціальні грохоти та футерування, які перешкоджають налипанню. У піритистих рудах необхідні корозійностійкі елементи техніки, оскільки сірчисті мінерали можуть активізувати окисні процеси. Таким чином, мінеральний склад безпосередньо диктує комплектацію обладнання, тип використовуваних бурових коронок, схеми підривання, вид дробарок і навіть характеристики транспортних машин, визначаючи як безпеку, так і собівартість розробки.

У підсумку, домінуючі мінерали є не лише об'єктом геологічного вивчення, а й фундаментом для прийняття технологічних рішень. Їх комплексна характеристика повинна враховувати мінералогічну, фізико-хімічну, морфологічну характеристику яка є критично важливою для забезпечення ефективного, безпечного та економічно обґрунтованого освоєння мінерально-сировинних ресурсів.

Список використаної літератури:

1. Основи гемології: електронний навчальний посібник / Квасниця І.В. – Інтернет-ресурс Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2023. – 184 с.
2. Практикум з інженерної геології: навчальний посібник / Н. Остафійчук, С. Башинський, В. Підвисоцький, Ю. Припотень, М. Колодій. Електронні дані. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2023. – 135 с.
3. Павлишин В.І., Довгий С.О. Загальна мінералогія: навчальний посібник. – Київ, 2013.

Дзьоба М.В., аспірант
Косенко Т.В., старший викладач
Науковий керівник: Фролов О.О., д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОЛОГІЧНОЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ SURFER-3D

Удосконалення методів інтерпретації і повноти використання геолого-розвідувальних даних, як основи для підрахунку запасів є досить актуальною темою. Отримання інформації про стан гірського масиву і маркшейдерської ситуації є однією з основних задач. Дану інформацію можна отримати за допомогою цифрової моделі родовища, яка в повному обсязі відображає просторові закономірності розподілу широкого комплексу параметрів мінералізації для родовищ твердих корисних копалин.

У сучасному світі стає все більше компаній, які займаються питаннями досліджень і геологічної розвідки родовищ корисної копалини та активно впроваджують комп'ютерне моделювання, використовуючи спеціальні програмні засоби та інформаційні системи.

Так одним з найбільш поширених програмних комплексів є Surfer-3D. Дана програма допомагає вирішувати великий комплекс геологорозвідувальних завдань, що виникають при проектуванні гірничорудних підприємств. Найбільш поширеними завданнями є статистичний аналіз геологічної інформації, автоматизація процесів обробки і інтерпретації даних геологічної розвідки, а також використання їх для моделювання родовища з метою різного роду розрахунків і аналізів.

Головною відмінністю моделей, які створюються за допомогою геологічної геоінформаційної системи Surfer-3, є можливість їх подальшого використання і уточнення за результатами відпрацювання родовища.

Тривимірні моделі родовищ створюються різними методами і залежать від структури родовища і виду корисних копалин. У більшості систем реалізований спосіб просторового моделювання за даними опробування розвідувальних свердловин з можливістю уточнення параметрів розміщення рудних тіл і покладів за результатами геофізичних досліджень. Процес моделювання на основі Surfer-3D складається з етапів, представлених на рис. 1.



Рис. 1. Етапи створення цифрової моделі родовища

Комп'ютерне моделювання родовищ за допомогою Surfer-3D дозволяє використовувати статистичні та геостатистичні методи. Цифрові моделі, отримані на основі цих методів, найбільш точно і в повному обсязі відображають просторові закономірності розподілу широкого комплексу параметрів для родовищ корисних копалин. Кількісна оцінка мінеральної сировини на основі комп'ютерних моделей є більш точна

в порівнянні з традиційними методами, оскільки дозволяє враховувати будь-яку кількість показників, які впливають на підрахунок запасів.

Адаптація тривимірного комп'ютерного моделювання та технологій підрахунку запасів для родовищ корисних копалин дозволяє вдосконалити методику створення геологічних моделей, підвищити точність, надійність і правильність оцінки запасів родовищ. Ці параметри є актуальними в сучасних економічних умовах.

Послідовність формування цифрових моделей родовищ корисних копалин різних видів має істотні відмінності на етапі інтерпретації даних розвідки. У всіх інших аспектах методика моделювання практично ідентична і може лише незначно змінюватися.

Аналогічно для родовищ, які вже знаходяться в експлуатації, моделювання може дещо відрізнятися від вищенаведеного. Для них, як правило, вже створений і ведеться набір гірничо-графічної документації (плани, розрізи, карти) щодо контурів поширення порід в родовище, уточнених за результатами експлуатаційної розвідки, опробування і фактичного стану гірничих робіт родовища.

За допомогою Surfer-3D в даний час виконується моделювання багатьох родовищ України. Вихідними даними для моделювання слугують табличні дані по виробках, їх зйомці і опробуванню. Ці дані імпортуються в програму і, з використанням вбудованих алгоритмів перевірки, перевіряються на різні невідповідності. Так, на рис. 2 представлена цифрова просторова модель Сихівського родовища кварцових пісків в межах ліцензованої площі видобутку за геологічними даними розвідувальних свердловин, а на рис. 3 показано геологічний розріз родовища по свердловинам 1а-25р-8-9-17.

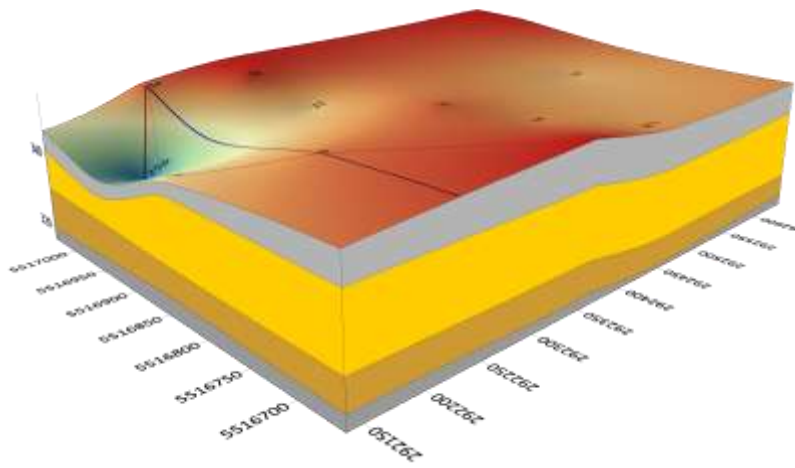


Рис. 2. Цифрова модель родовища

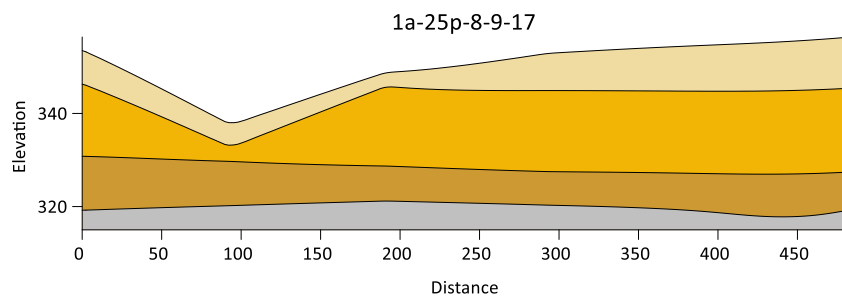


Рис. 3. Геологічний розріз ліцензованої ділянки розробки Сихівського родовища кварцових пісків

Як показує досвід, Surfer-3D є сучасною системою, яка може застосовуватися для вирішення повного спектру завдань при моделюванні родовищ корисних копалин різного виду. Математичний апарат системи постійно вдосконалюється, поповнюється новими процедурами і функціями просторового моделювання систем.

Застосування технологій цифрового моделювання родовищ дозволяє зробити процес керування гірничими роботами максимально прозорим і зрозумілим на всіх рівнях.

Сформована цифрова тривимірна модель родовища може бути використана для підрахунку запасів корисних копалин або ділянок родовища, геолого-економічної оцінки, завдань календарного планування і визначення економічно доцільних контурів відпрацювання.

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ
ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПРИ ВИДОБУВАННІ БЛОЧНОЇ СИРОВИНИ**

Актуальність. Видобування блочного каменю є однією з найважливіших галузей гірничодобувної промисловості України. Однак технологічні особливості отримання товарних блоків природного каменю призводять до утворення значних обсягів супутніх відходів. За статистичними даними, вихід товарних блоків становить лише 20-30% від загального обсягу видобутої гірської маси, тоді як 70-80% складається у відвали як некондиційна сировина.

Накопичення відходів видобутку призводить до ряду критичних проблем: вилучення значних земельних площ під відвали, погіршення екологічної ситуації в регіонах видобутку, втрати потенційно цінної мінеральної сировини та додаткові витрати на рекультивацію порушених земель. При середньому обсязі видобутку 100 000 м³ гірської маси на рік, кар'єр генерує 70-80 тисяч м³ відходів, що еквівалентно приблизно 180-200 тисячам тонн некондиційного каменю.

Водночас будівельна галузь відчуває постійну потребу у щебені різних фракцій, відсіві, бутовому камені та інших нерудних матеріалах. Переробка відходів блочного видобутку може повністю задовольнити цей попит, забезпечуючи комплексне використання родовищ та підвищуючи економічну ефективність гірничих підприємств.

Таблиця 1.

Структура і класифікація відходів блочного видобутку

Тип відходів	Частка, %	Характеристика	Потенціал використання
Розкривні породи	15-20	Ґрунти, вивітрілі породи	Рекультивація, підсипка
Некондиційні блоки	30-35	Тріщинуваті, з дефектами	Бутовий камінь, щебінь М800-М1200
Уламки та брили	25-30	Фрагменти 100-500 мм	Щебінь фракції 20-70 мм
Дрібні фракції	10-15	Фрагменти <100 мм	Відсів, пісок дроблений

Середній хімічний склад відходів гранітних кар'єрів України (на прикладі житомирських родовищ): SiO₂ – 68-72%, Al₂O₃ – 14-16%, Fe₂O₃ – 2-4%, CaO – 2-3%, що відповідає вимогам до високоякісного будівельного щебеню.

Енергоефективні технологічні рішення. Традиційні трьохстадійні схеми дроблення (щокове → конусне → конусне) характеризуються високим енергоспоживанням 12-15 кВт·год/т. Впровадження сучасних енергоефективних рішень дозволяє знизити цей показник до 7-9 кВт·год/т.

Таблиця 2.

Порівняння схем дроблення

Схема	Стадії	Енергоспоживання, кВт·год/т	Вихід фракції 5-20 мм, %	Капітальні витрати
Традиційна	Щокова + 2 конусні	12-15	45-50	Базові
Мобільний комплекс	Інтегрована система	7-9	50-55	-10%

Використання мобільних установок безпосередньо на місці накопичення відходів дозволяє зменшити витрати на транспортування на 40-60%, знизити загальне енергоспоживання на 25-35%, підвищити гнучкість виробництва та скоротити терміни окупності обладнання до 3-4 років.

Сучасні дробильні комплекси обладнуються частотними перетворювачами, що знижують пускові струми на 60% та загальне споживання на 15-20%, системами рекуперативного гальмування конвеєрів з поверненням до 10% енергії, а також інтелектуальними системами керування завантаженням обладнання.

Економічна ефективність. Впровадження енергоефективних комплексів забезпечує скорочення викидів CO₂ за рахунок зниження споживання електроенергії на 250 000 кВт·год, що еквівалентне скороченню викидів на 125 тонн CO₂ щорічно. Ліквідація відвалів дозволяє звільнити 3-5 га земель щорічно для продуктивного використання. Сучасні системи аспірації знижують викиди пилу на 85-90%, суттєво покращуючи якість повітря в зоні гірничих робіт. Переробка відходів забезпечує збереження природних ресурсів шляхом заміщення первинного видобутку щебеню з нових родовищ.

Таблиця 3

Розрахунок для типового кар'єру (50 000 т/рік переробки відходів):

Показник	Значення
Обсяг переробки відходів	50 000 т/рік
Вихід товарної продукції	47 000 т (94%)
Енергоспоживання (традиційна схема)	650 000 кВт·год/рік
Енергоспоживання (енергоефективна)	400 000 кВт·год/рік
Економія електроенергії	250 000 кВт·год/рік
Вартість електроенергії	4 грн/кВт·год
Економія коштів	1 000 000 грн/рік
Додатковий прибуток від реалізації	8 500 000 грн/рік
Капітальні інвестиції	15 000 000 грн
Термін окупності	1,8 року

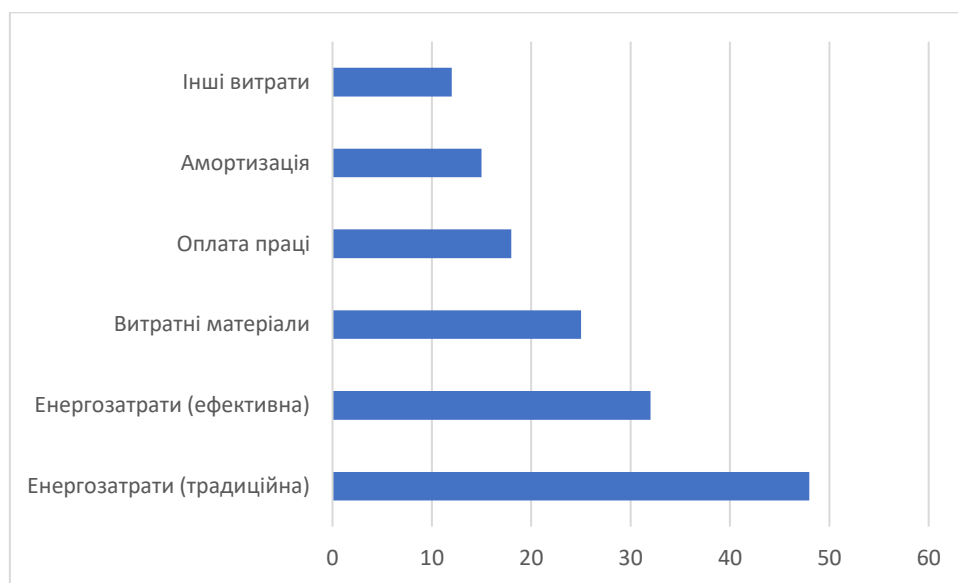


Рис. 1. Структура собівартості переробки (грн/т):

Екологічні переваги. Впровадження енергоефективних комплексів забезпечує скорочення викидів CO₂ за рахунок зниження споживання електроенергії на 250 000 кВт·год, що еквівалентне скороченню викидів на 125 тонн CO₂ щорічно. Ліквідація відвалів дозволяє звільнити 3-5 га земель щорічно для продуктивного використання. Сучасні системи аспірації знижують викиди пилу на 85-90%, суттєво покращуючи якість повітря в зоні гірничих робіт. Переробка відходів забезпечує збереження природних ресурсів шляхом заміщення первинного видобутку щебеню з нових родовищ.

Висновки: енергоефективні дробильно-сортувальні комплекси є ключовим інструментом вирішення проблеми накопичення відходів при видобуванні блочного каменю. Впровадження сучасних технологічних рішень дозволяє знизити питоме енергоспоживання на 30-40% порівняно з традиційними схемами, досягти терміну окупності інвестицій за 1,5-2 роки, забезпечити комплексне використання мінеральних ресурсів на рівні 95-98% та суттєво покращити екологічну ситуацію в регіонах видобутку. Для успішної реалізації проектів доцільно проводити детальне техніко-економічне обґрунтування з урахуванням специфіки конкретного родовища, впроваджувати системи автоматизованого управління та моніторингу енергоспоживання, використовувати мобільні комплекси для підприємств з обсягом переробки до 100 000 т/рік, а також інтегрувати відновлювані джерела енергії для живлення допоміжного обладнання. Перехід до енергоефективних технологій переробки відходів блочного видобутку є стратегічним напрямком розвитку галузі, що відповідає принципам сталого розвитку та циркулярної економіки.

Єрмаков А.О., студент, IV курс, група ГР-41, ННМІ

Кучерук М.О., ст. викладачка

Національний університет водного господарства та природокористування

СОЛЯНІ РОДОВИЩА ЯК СКЛАДОВА ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ УКРАЇНИ

Україна володіє значними запасами гірничо-хімічної сировини, серед якої особливе місце посідають соляні родовища. Кам'яна сіль є важливою мінеральною сировиною, що використовується у хімічній, харчовій, медичній та інших галузях. На території держави виявлено кілька крупних соленосних басейнів: Дніпровсько-Донецький, Передкарпатський, Закарпатський та Сиваський. Їхні геологічні умови формувалися протягом різних геологічних епох, що обумовлює різноманітність структури соляних товщ.

Найбільш відомими родовищами є Солотвинське, Артемівське (Бахмутське), Слов'янське, Дрогобицьке, Калуське та Стебницьке. Солотвинське родовище у Закарпатті, яке розроблялося понад 200 років, має діапірну будову та характеризується високою якістю кам'яної солі. Проте внаслідок тривалого видобутку і порушення гідрогеологічного режиму територія зазнала значних деформацій – утворилися провали, карстові лійки, а шахти були затоплені підземними водами. Це зумовило формування великої кількості розсолів, які становлять потенційний вторинний ресурс.

Випаровування розсолів є традиційною технологією, що забезпечує отримання кристалічної солі високої чистоти. Такий метод передбачає концентрування розсолу шляхом нагрівання в багатокорпусних випарних установках або на сонячних випарних полях. У Солотвині застосування контрольованого випаровування може стати раціональним способом утилізації техногенних розсолів і відновлення виробництва солі без використання підземних гірничих виробок.

Важливою складовою розвитку солевидобувної галузі є впровадження сучасних екологічно безпечних технологій. Зокрема, використання модульних установок для випарювання, систем збору і повторного використання розсолів, моніторингу гідрогеологічних процесів дозволяє мінімізувати негативний вплив на довкілля. Одночасно з технічними заходами необхідно проводити рекультивацию деформованих ділянок і відновлення природного дренажу.

Соляна промисловість України має значний експортний потенціал. У минулі десятиліття саме Артемівське підприємство забезпечувало поставки солі до багатьох країн Європи. В умовах сучасних економічних викликів та втрати частини виробничих потужностей особливої актуальності набуває розвиток альтернативних джерел – зокрема, відновлення роботи Солотвинського родовища на основі інноваційних технологій переробки розсолів.

Перспективи розвитку солевидобутку в Україні пов'язані з комплексним використанням природних і техногенних ресурсів, упровадженням замкнених технологічних циклів та систем контролю екологічного стану територій. Наукове обґрунтування оптимальних методів видобутку та переробки солі має стати основою для формування державної програми відновлення соляної галузі.

Економічне значення соляних родовищ України полягає не лише у забезпеченні внутрішнього ринку харчовою та технічною сіллю, а й у створенні передумов для розвитку суміжних галузей – хімічної, фармацевтичної, будівельної та енергетичної. Відновлення стабільного виробництва солі дозволить скоротити імпорتنу залежність, забезпечити регіональні потреби та підвищити енергетичну незалежність країни. Стимулювання внутрішніх інвестицій у галузь сприятиме створенню нових робочих місць і підвищенню рівня економічної безпеки держави.

Екологічна модернізація солевидобувних підприємств є ключовою умовою подальшого розвитку галузі. Застосування технологій замкненого водообороту, очищення шахтних вод, повторного використання відходів та моніторингу стану підземних гідросистем забезпечить зменшення антропогенного навантаження. Державна підтримка таких проєктів у межах програм «зеленої» трансформації промисловості може стати чинником відновлення Солотвинського родовища як науково-виробничої бази для випробування нових технологій екологічного видобутку.

Таким чином, соляні родовища України є важливою складовою гірничо-хімічного потенціалу держави. Їхнє комплексне вивчення, екологічна модернізація та відновлення виробничої діяльності сприятимуть сталому розвитку мінерально-сировинного комплексу та посиленню економічної незалежності України.

Список використаної літератури:

1. Гайдін А.М., Рудько Г.І., Чікова І.В. Гірничо-хімічний потенціал України. - Київ Чернівці : Букрек, 2017. – С. 192 ст.
2. Фізико-хімічна геотехнологія: Навч. посібник / М.М. Табаченко, О.Б. Владико, О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев. - Дніпропетровськ: Нац. гірн. ун-ту, 2012. - 310 с.

**Засць В.В., доцент, к.т.н., доцент
Трофимчук Ю.В., асистентка**

Національний університет водного господарства та природокористування

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ MICROMINE У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ МАГІСТЕРСЬКОГО РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ

Сучасна підготовка фахівців у галузі гірничого інжинірингу в Україні відбувається під значним впливом глобальних тенденцій цифровізації, що вимагає від закладів вищої освіти (ЗВО) переходу до викладання інструментів геологорозвідки, 3D-моделювання родовищ та автоматизованого планування виробничих процесів. Інтеграція спеціалізованих гірничо-геологічних інформаційних систем (ГГІС) стала невід'ємною умовою забезпечення конкурентоспроможності випускників.

Програмний продукт Micromine, як провідна світова платформа у сфері ГГІС, набув стратегічного значення для українських освітніх програм. Його використання підсилює формування ключових професійних компетенцій гірничого інженера. Одним із перспективних напрямів розв'язання задач професійної підготовки є використання засобів геоінформаційних технологій (ГІТ).

Micromine позиціонується як всеохоплююча модульна система гірничо-геологічного моделювання та планування видобутку. Її комплексна архітектура покриває повний виробничий цикл: від геологорозвідки (Micromine Origin) та тривимірного моделювання до детального планування гірничих робіт (MineSched) та управління даними (Geobank, Spry, Pitram). Така широка функціональність робить Micromine ідеальною основою для міждисциплінарних навчальних курсів на магістерському рівні.

Використання ГГІС Micromine сприяє формуванню здатності володіти методами раціонального та комплексного освоєння георесурсного потенціалу надр. Засоби геоінформаційних технологій також є перспективним напрямом для діяльності, що надає можливість здійснювати моделювання організації санітарно-захисної зони, проводити моніторинг зниження рівня викидів, а також відслідковувати процеси очищення стічних вод.

Інтеграція Micromine в українську гірничу освіту відбувається на високому інституційному рівні. Аналіз показує існування двох основних моделей впровадження:

1. Індустріально-наказана модель: Спрямована на швидке задоволення кадрового дефіциту. Ця модель підтверджується досвідом корпоративних університетів, де наявність ліцензійних робочих місць є критично важливою вимогою для підготовки майбутніх співробітників, що гарантує опанування практичних навичок.

2. Академічно-орієнтована модель: Використання програмного забезпечення виростає з активних наукових досліджень викладачів у провідних технічних ЗВО.

Інтеграція Micromine є невід'ємною для інтернаціоналізації освітньої діяльності, оскільки високий рівень цифрової грамотності студентів у провідних ГГІС є необхідною умовою для участі в програмах міжнародної співпраці та академічної мобільності. Таким чином, володіння Micromine функціонує як маркер якості та конкурентоспроможності освітньої програми.

Незважаючи на успішну технічну інтеграцію та високу наукову експертизу викладачів, в академічному просторі спостерігається дефіцит рецензованого педагогічного дискурсу (ED-Tech). Наразі пріоритет надається публікаціям у фахових гірничих виданнях, які розглядають проблематику у галузі технічних та геологічних наук. Відсутні академічні дослідження, які б вивчали педагогічну ефективність Micromine, проводили порівняльний аналіз з іншими ГГІС або досліджували вплив на досягнення конкретних результатів навчання.

Стратегічні рекомендації для розвитку підготовки магістрів:

- Публікація ED-Tech досліджень: Необхідно стимулювати викладацький склад до проведення та публікації рецензованих досліджень, що фокусуються на верифікації та кількісній оцінці ефективності застосування Micromine, включаючи результати студентських опитувань.

- Формалізація Кейс-орієнтованого навчання: Потрібно систематизувати та опублікувати реальні дослідницькі кейси (наприклад, моделювання гірничих систем або геохімічний ризик), інтегруючи їх у навчальний процес для розвитку критичного мислення інженерів.

Таким чином, Micromine є перспективним інструментом для підготовки висококваліфікованих магістрів гірничого профілю, забезпечуючи їхнє входження в умови цифровізованої промисловості. Його інтеграція вже забезпечує актуальність і наукову глибину навчання. Подальші перспективи пов'язані з переходом від технічної інтеграції до глибокої педагогічної рефлексії, стандартизації методики викладання Micromine та активної публікації ED-Tech досліджень. Це закріпить його статус як основи для якісної та конкурентоспроможної гірничої освіти в Україні.

**Захарчук В.О., студент 3 курсу, група РР-53,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Остафійчук Н.М., ст. викладач
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ ГІРНИЧИМ ТРАНСПОРТОМ: ІННОВАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Для України, де працюють масштабні гірничі підприємства з видобування руд заліза, марганцю, титану, урану та будівельної сировини, впровадження дистанційних технологій має високу стратегічну важливість. Геополітичні ризики, дефіцит кадрів, високі витрати на експлуатацію техніки та потреба в підвищенні безпеки робіт роблять дистанційне керування одним із ключових напрямів інноваційного розвитку.

Інноваційні технології, що визначають розвиток дистанційного керування гірничим транспортом включають комп'ютерний зір та машинне навчання (алгоритми аналізують дорожні умови, перешкоди, техніку попереду, геометрію трас, стан відкосів та бортів кар'єру); автономні модулі руху, які приймають рішення щодо підтримання швидкості, утримання маршруту, уникнення зіткнень; корекції траєкторії; інтегрована 3D-модель кар'єру, що оновлюється у реальному часі та відображає транспортні потоки, геометрію уступів, стан доріг, черги на навантаженні та розвантаженні.

Впровадження дистанційного керування гірничим транспортом може суттєво трансформувати роботу українських кар'єрів, а саме:

1. Зменшити експлуатаційні операційні витрати: зниження витрат на паливо на 8-15 %, оптимізація циклів навантаження, зменшення зношування шин, менша кількість простоїв.
2. Підвищити коефіцієнт використання техніки: можливість роботи цілодобово у безпечному режимі без необхідності зміни операторів безпосередньо на робочому місці.
3. Створити безпечні умови праці: виведення оператора з небезпечної зони, тобто усунення ризику, пов'язаного з обвалами, пилом, шумом та вібрацією, а також робота операторів в комфортних та ергономічних умовах диспетчерського центру.
4. Оптимізація видобутку: вбудовані алгоритми дозволяють автоматично обирати найкращий маршрут та швидкість, що веде до зростання продуктивності.
5. Прогнозоване технічне обслуговування: збір великого масиву даних про роботу техніки дозволяє переходити до прогнозованого обслуговування.

Незважаючи на значні переваги, існують об'єктивні перешкоди для швидкого та масового впровадження, а саме: висока вартість переобладнання парку техніки, розгортання високошвидкісних мереж зв'язку (4G/5G/LTE-private) та будівництво центрів дистанційного керування; для керування в реальному часі потрібна надійна мережа з низькою затримкою; необхідність перекваліфікації та підготовки операторів-диспетчерів та інженерів з обслуговування автономних систем; необхідність адаптації норм та правил безпеки праці до експлуатації дистанційно керованої та автономної техніки.

Першими етапами реалізації дистанційного керування гірничим транспортом на вітчизняних кар'єрах є: впровадження на великих гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК), де обсяги видобутку виправдовують високі інвестиції; стимулювання інвестицій через пільгові програми та співпраця між гірничими підприємствами, ІТ-компаніями та виробниками обладнання (наприклад, Caterpillar, Komatsu); розробка галузевих стандартів для безпечної інтеграції автономних систем у загальну технологічну схему кар'єру.

Дистанційне керування гірничим транспортом є ключовим інноваційним напрямом, що здатний радикально підвищити ефективність кар'єрів України. Впровадження цих технологій дозволить: скоротити виробничі ризики; підвищити продуктивність; знизити собівартість видобутку; інтегрувати українські підприємства в Індустрію 4.0. З огляду на наявні технічні передумови та стратегічні потреби, українські кар'єри мають потенціал стати одними з провідних майданчиків для впровадження дистанційних і автономних систем гірничого транспорту в Європі.

Список використаної літератури:

1. Денисюк О.Г., Панасюк А.В. Цифровізація гірничих підприємств в умовах розвитку індустрії 4.0. Інвестиції: практика та досвід. №4. 2023. С.64-71 <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2023.4.64>.
2. Bourafa R., Siegfried P. A review of the automated guided vehicle systems: dispatching systems and navigation concept. Common problems of automobile transport. (52). 2023. P. 80-88. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2023.52.0.09>
3. <https://machineryline.ua/blog/tekhnika-caterpillar>.

Зелінський М.Р., учень 11-класу

*Відокремлений підрозділ "Науковий ліцей"
Державного університету "Житомирська політехніка"*

Башинський С.І., к.т.н., доц.

Циганенко-Дзюбенко І.Ю., PhD

Державного університету "Житомирська політехніка"

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ МІНЕРАЛІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ЇХ ФОТОЗНІМКАМИ

Вступ.

Традиційні методи визначення мінерального складу гірських порід, такі як петрографічний аналіз тонких шліфів, рентгенофлуоресцентний (XRF) або рентгеноструктурний аналіз (XRD), є високоточними, проте часто вимагають значних часових витрат, складного лабораторного обладнання та, у більшості випадків, руйнування зразка. У контексті польової геології, експрес-розвідки та швидкого скринінгу зразків виникає гостра потреба у неруйнівних, швидких та доступних методах, здатних надати попередню кількісну оцінку мінералогічного складу безпосередньо на місці відбору.

Представлена робота присвячена розробці та апробації методики фотометричного аналізу мінерального складу гірських порід на основі їхніх цифрових фотознімків. Мета дослідження полягає у демонстрації того, як, аналізуючи колірні та відбивні характеристики поверхні зразка за допомогою стандартних програмних засобів, можна швидко та безконтактно оцінити відносну кількість того чи іншого мінералу у породі.

Основні положення.

Фотометричний аналіз ґрунтується на фізичному принципі спектральної відбивної здатності мінералів. Кожен мінерал, завдяки своєму унікальному хімічному складу та кристалічній структурі, має характерну криву відбиття світла у видимому діапазоні спектра (380–740 нм). Ця крива визначає його візуальний колір.[1]

Цифрова фотографія фіксує інтенсивність відбитого світла у трьох основних колірних каналах – Червоному (R), Зеленому (G) та Синьому (B). Таким чином, аналізуючи співвідношення інтенсивностей пікселів у цих каналах, можна ідентифікувати мінерали, присутні на зразку, та, що є ключовим для кількісної оцінки, визначити їхню відносну площу експозиції на поверхні. Ключовою перевагою є безконтактність та неруйнівність методу, що дозволяє зберігати зразки цілими для подальших, більш детальних досліджень. [2]

Точність фотометричного аналізу безпосередньо залежить від якості вихідного зображення та, найголовніше, від коректності кольоропередачі. Спотворення, спричинені некоректним освітленням, відблисками, тінями або некоректним балансом білого, можуть призвести до помилкової ідентифікації та кількісної оцінки мінералів.

Для створення оптимальних умов зйомки використовується світловий бокс (лайтбокс). Це обладнання забезпечує три критично важливі умови:

1. Рівномірне розсіювання світла: Світло від джерел (спалахи, LED-лампи) дифузно розсіюється, унеможливаючи формування різких тіней, які могли б спотворити дані аналізу.

2. Відсутність бликування: Рівномірне освітлення гарантує, що поверхня зразка освітлена без яскравих, глянцевого відблисків, які пересвічують пікселі та роблять їхні колірні характеристики непридатними для аналізу.

3. Ізоляція від зовнішніх факторів: Бокс мінімізує вплив зовнішнього освітлення, забезпечуючи постійну колірну температуру зйомки.

Для забезпечення точної передачі кольору використовуються два основні підходи калібрування:

Калібрування Обладнання (ICC-профілювання): У колориметричних лабораторних умовах можна визначити та записати унікальний ICC-профіль для конкретної зв'язки апаратури «фотокамера-монітор». Це забезпечує максимальну точність, але профіль є апаратнозалежним і непридатний для використання з іншим обладнанням.

Колориметричні Еталони: Більш універсальним та практичним підходом є включення у кадр об'єктів із відомими колориметричними характеристиками (так званих колірних еталонів). Зазвичай це спеціальні картки з нейтральними кольорами: чорним, сірим та білим. Нейтральний колір має принципову властивість: значення інтенсивності для всіх трьох каналів RGB є однаковим. Наприклад, ідеальний нейтральний сірий має наступні значення колірних компонент R=128, G=128, B=128. Цей метод універсальний і не вимагає специфічного калібрування камери. [3]

Наступний критичний етап – програмна корекція кольору в графічному редакторі, наприклад, Adobe Photoshop. Головна мета цього етапу – досягти стандартизованого правильного балансу білого. Це виконується шляхом вирівнювання кривих розподілу (гістограм) кожного колірних каналу (RGB) на основі референсних значень нейтральних еталонів, зафіксованих на фотознімку. Коригуючи криві так, щоб значення пікселів еталонного сірого стали ідентичними в усіх трьох каналах (наприклад, 128/128/128), ми приводимо всі фотографії, зроблені в різних умовах, до єдиного, порівняльного стандарту. [4]

Після забезпечення коректної передачі кольору виконується безпосередньо аналіз зображення.

Спочатку необхідно ізолювати об'єкт дослідження від фону. Мінімізація тіней, забезпечена світловим боксом, значно спрощує цей етап. Далі, використовуючи інструмент «Діапазон кольорів» (Color Range) у Photoshop, оператор виокремлює ділянки, колір яких відповідає візуальним характеристикам досліджуваного мінералу. Наприклад, якщо необхідно оцінити вміст гранату, виділяються усі червонуваті ділянки з характерним відтінком та тоном. Цей інструмент дозволяє ізолювати пікселі, що належать конкретному мінералу, від матриці породи та інших компонентів.

Кількісна оцінка вмісту мінералу базується на визначенні площі (кількості пікселів) виділеної області. Для цього використовується вікно «Журнал вимірювань» (Measurement Log) у Photoshop.

Процедура розрахунку:

1. Фіксується загальна площа зразка у пікселях (загальна кількість пікселів).
2. Фіксується площа виділеної області конкретного мінералу у пікселях.
3. Розраховується відсотковий вміст мінералу за простою формулою:

$$\text{Вміст мінералу (\%)} = \frac{\text{Кількість пікселів мінералу}}{\text{Кількість пікселів зразка}} \cdot 100\%$$

Наприклад, якщо загальна площа зразка становить 427137 пікселів, а площа виділених пікселів гранату – 21987, то вміст гранату становить:

$$\text{Вміст гранату} = \frac{21987}{427137} \cdot 100\% = 5,15\%$$

Цей показник дає кількісну оцінку мінерального складу, яку можна порівнювати з результатами традиційних методів.

Висновки.

Фотометричний аналіз цифрових фотознімків є високоефективним, швидким та неруйнівним методом експрес-оцінки мінерального складу гірських порід. Його ключові переваги – доступність обладнання (цифрова камера та комп'ютер), швидкість отримання результатів та можливість застосування безпосередньо у польових умовах. Метод може виступати як надійний інструмент попереднього скринінгу, дозволяючи геологам приймати обґрунтовані рішення щодо відбору зразків для подальшого, дорогого лабораторного аналізу.

У подальших дослідженнях планується перехід до використання програми ImageJ. Ця програма є потужнішим і спеціалізованим інструментом для наукового аналізу зображень порівняно з Adobe Photoshop. ImageJ пропонує розширений інструментарій для роботи з окремими колірними каналами, створення макросів та використання спеціалізованих фільтрів.

Перехід на ImageJ дозволить:

1. Підвищити об'єктивність: Завдяки науковим алгоритмам обробки.
2. Автоматизувати процес: Створення макросів дозволить автоматизувати кроки корекції та виділення, значно підвищивши швидкість обробки великих масивів даних.
3. Зменшити вплив людського фактору: Автоматизація стандартизує процес, роблячи висновки більш статистично достовірними та відтворюваними.

Такий розвиток методики перетворить її на потужний інструмент для автоматизованої мінералогічної класифікації.

Список використаної літератури:

1. J. Cuadros, M. Sánchez-Marañón, C. Mavris, S. Fiore, J. Bishop and M. Melgosa. "Color analysis and detection of Fe minerals in multi-mineral mixtures from acid-alteration environments." *Applied Clay Science*, 193 (2020): 105677. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105677>.
2. Qi Gao, Teng Long and Zhangbing Zhou. "Mineral identification based on natural feature-oriented image processing and multi-label image classification." *Expert Syst. Appl.*, 238 (2023): 122111. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122111>.
3. T. Mengko, Y. Susilowati, R. Mengko and B. Leksono. "Digital image processing technique in rock forming minerals identification." *IEEE APCCAS 2000. 2000 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. Electronic Communication Systems. (Cat. No.00EX394) (2000): 441-444.* <https://doi.org/10.1109/apccas.2000.913531>.
4. Dan Margulis. *Professional Photoshop: The Classic Guide to Color Correction*, Fifth Edition. Peachpit Press, 2006. – 528 стор.

Казмирик В.П., магістр 2-го курсу, гр. РР-49м

Науковий керівник: Піскун І.А., асистент

Кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.

Державний університет «Житомирська політехніка»

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТУПЕНЮ ЗНОШУВАННЯ ЗУБІВ КОВША ЕКСКАВАТОРА НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕКСКАВАЦІЙНИХ РОБІТ

Екскаваторне виймання скельних порід у кар'єрах залишається однією з найенергоємніших ланок відкритих гірничих робіт. Це особливо помітно в умовах сучасного гірничо-видобувного комплексу України, який функціонує на фоні значної зношеності основних фондів, високої залежності від енергоресурсів та зростання екологічних вимог. На багатьох родовищах, зокрема при відпрацюванні гранітів та кварцитів, навіть після якісної буро-вибухової підготовки спостерігається підвищена енергоємність процесу екскавації, що безпосередньо пов'язано зі зносом робочих органів екскаваторів, насамперед коронок зубів ковша [1].

Об'єктом дослідження у роботі є процес виймання розпушеної вибухом гірничої маси при відкритій розробці родовищ, а предметом – закономірності зношування робочих коронок зубів екскаваторів і пов'язана з цим енергоємність процесу екскавації скельних порід.

Таке фокусування дозволяє локалізувати одну з ключових причин надлишкових енергозатрат – деградацію геометрії ріжучих елементів, яка з часом призводить до зростання опору різанню та погіршення умов заповнення ковша.

Метою дослідження є обґрунтування технічних рішень щодо зниження енергомосткості процесу виймання розпушеної вибухом гірничої маси шляхом оптимізації конструкції коронок зубів екскаватора. Для досягнення цієї мети послідовно виконано аналіз фізико-механічних властивостей гірських порід, досліджено закономірності зношування коронок при роботі в міцних скельних масивах, сформовано підхід до зменшення енергозатрат через зміну геометрії робочих органів та перевірено ефективність запропонованих рішень за допомогою числового моделювання та розрахунків енергомосткості [2].

Числове моделювання процесів екскавації виконано у середовищі Autodesk Inventor, що дало змогу відтворити зміну напружено-деформованого стану та силових навантажень на робочі органи в залежності від їхнього зносу та властивостей породи.

Ключовим елементом методики є формалізація геометрії зношеної коронки через систему розмірів, які описують як нижню, так і верхню частини поверхні зносу. Це дозволяє пов'язати фактичний профіль зносу з обсягом екскавованої гірничої маси і, відповідно, з енергетичними показниками роботи механізмів напору та підйому екскаватора (рис.1).

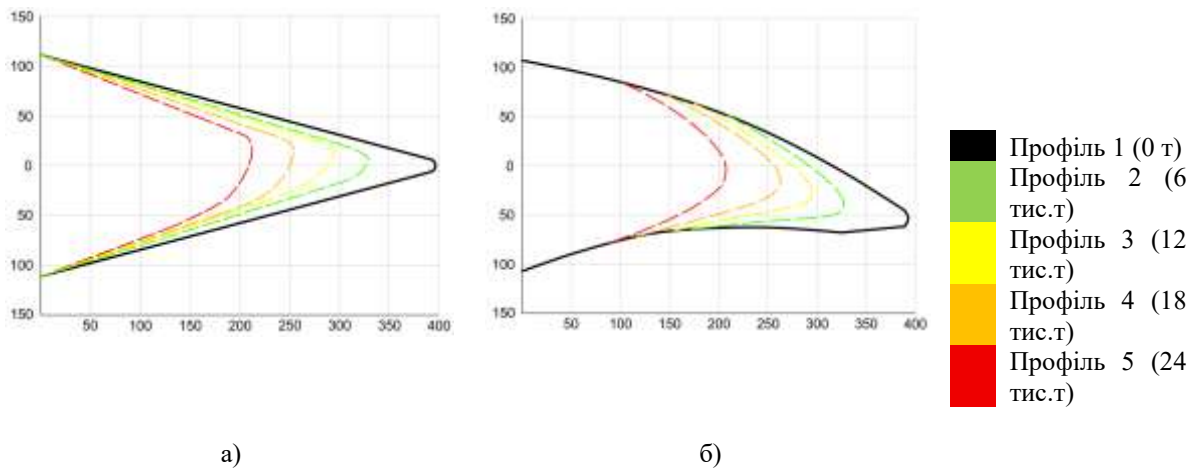


Рис. 1. Зміна профілю головної частини клинової (а) та самозаточувальної (б) коронок після екскавації скельної породи вказаного об'єму

Для кількісної оцінки енергоефективності застосовано показник середньозваженої потужності цих механізмів, розрахований з урахуванням потужності та тривалості виконання окремих фаз екскаваційного циклу (заповнення ковша, його розвантаження та повернення до вибою).

Такий підхід дозволяє перейти від якісного опису «важче/легше копає» до формалізованої енергетичної оцінки, придатної для порівняння різних конструктивних рішень.

Результати розрахунків для традиційних клиноподібних коронок підтвердили, що зі збільшенням ступеня їхнього зносу відбувається суттєва деградація різальної здатності. Формування заокругленого, тупого профілю ріжучої кромки та збільшення площі контакту з породою приводить до зростання сил

опору, що безпосередньо відображається на збільшенні середньозваженої потужності механізмів напору та підйому. Цей ефект посилюється при роботі з розпушеною вибухом гранітною масою, для якої характерні значні фрагменти та підвищена абразивність [3].

Таким чином, зношування традиційних коронок виступає одним із ключових чинників неконтрольованого росту енергоємності екскавації впродовж міжремонтного інтервалу. На цьому фоні в роботі обґрунтовано доцільність застосування самозаточувальних коронок зубів екскаватора як конструктивного рішення, що дозволяє уповільнити деградацію геометрії робочої кромки. Такі коронки виготовляються з високоміцних легованих сталей із вмістом вуглецю орієнтовно 0,3–0,5 %, хрому 1,0–2,5 %, молібдену 0,2–0,5 %, марганцю 0,8–1,2 % і кремнію 0,2–0,5 %, що забезпечує підвищену твердість і зносостійкість при збереженні достатньої в'язкості. Конструктивна схема передбачає такий розподіл матеріалу та форму поперечного перерізу, за яких у процесі природного зношування відбувається постійне «оновлення» гострої ріжучої кромки, а профіль коронки залишається наближеним до оптимального.

Моделювання показало, що зміна довжини модифікованого зубця в залежності від обсягу екскавованої скельної маси залишається якісно подібною для обох типів коронок, проте профіль самозаточувальної коронки зберігає геометричну симетричність та гостроту ріжучої кромки, тобто реалізується ефект «самозаточування». Це веде до стабілізації умов різання та обмеження приросту сил опору при збільшенні обсягу відпрацьованої маси.

З енергетичної точки зору це проявляється у більш рівномірному характері зміни середньозваженої потужності механізмів напору та підйому з нарощуванням тоннажу, що пройшов через ківш з самозаточувальними коронками, порівняно з традиційними клиноподібними (рис.2). Хоча конкретні числові значення ефекту залежать від типу породи, параметрів екскаватора та режиму роботи, результати моделювання та розрахунків однозначно свідчать про зниження енергоємності процесу екскавації при переході до самозаточувальних коронок та уповільнення зростання енергетичних витрат у міру зносу робочих органів.

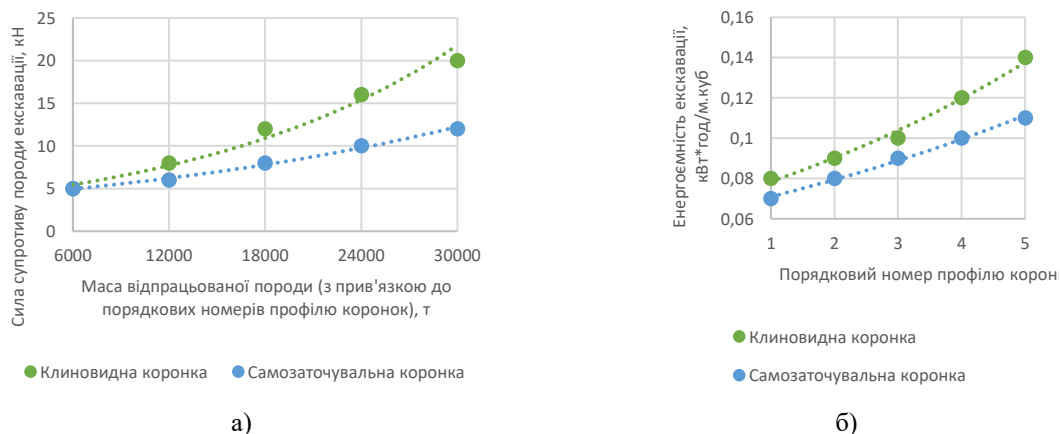


Рис. 2. Залежність опору породи вийманню підірваної гірничої маси при використанні різних типів коронок (а) та енергоємність процесу екскавації при використанні класичної клинової та самозаточувальної коронок (б)

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропоноване конструктивне рішення не вимагає радикальної модернізації всього екскаваторного комплексу, а концентрується на відносно дешевій ланці – зміні конструкції коронок зубів. Зниження енергоємності екскавації, продовження ресурсу коронок та скорочення простоїв на їхню заміну в сукупності забезпечують економічний ефект, який має особливу вагу в умовах високої вартості енергоресурсів та обмежених інвестиційних можливостей гірничих підприємств.

Узагальнюючи, дослідження демонструє, що цілеспрямована оптимізація конструкції коронок зубів екскаватора, зокрема шляхом застосування самозаточувальних рішень на основі високоміцних легованих сталей, є дієвим інструментом зниження енергоємності процесу виймання розпушеної вибухом гірничої маси. Запропонований підхід поєднує геометричне моделювання зносу, енергетичний аналіз екскаваційного циклу та практично орієнтоване конструкторське рішення, що робить його придатним до впровадження в рамках модернізації гірничих підприємств України.

Список використаної літератури:

1. Матвійченко, В. С. (2008). Про підвищення зносостійкості лемішних робочих органів ґрунтообробних машин. Вісник ННЦ «ІМЕТ», (83), 83–87. <https://dspace.kntu.kr.ua/bitstream/123456789/2160/1/14.pdf>
2. Денисенко, М., & Опальчук, А. (2011). Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин. Вісник ТНТУ, (Спецвипуск), 201–210. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/1442/2/TNTUB_2011_Special1-Denysenko_M_Opalchuk_A-Wear_of_inckease_durability_and_element_tool_201.pdf
3. Ветров, Ю. А. (2018). Теорія взаємодії ріжучих органів із гірською породою: монографія. Київ: Інститут геотехнічної механіки НАН України. 356 с.

**Карнович С.О., студентка 4-го курсу, група ГГ-30,
Антонюк П.П., здобувач вищої освіти освітнього ступеню «Магістр»
Куницька М.С., ст. викладач кафедри маркшейдерії
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ У ГІРНИЦТВІ

Сучасні умови розвитку гірничої промисловості характеризуються високою динамікою виробничих процесів і потребою у швидкому прийнятті рішень, заснованих на достовірній просторовій інформації. У таких умовах геоінформаційні системи (ГІС) стають ключовим інструментом для побудови тривимірних моделей гірничих об'єктів. Вони забезпечують комплексне бачення геологічної будови, технічного стану виробок та потенційних ризиків, що дозволяє підвищити точність і безпеку технологічних рішень.

ГІС-технології забезпечують інтеграцію різноманітних геопросторових даних — топографічних, геологічних, бурових, супутникових і геодезичних — в одну узгоджену інформаційну систему. На основі цих даних формується цифрова модель рельєфу та геологічних тіл, що є фундаментом для подальшого тривимірного моделювання. 3D-моделі відіграють провідну роль у візуалізації структури родовищ, оцінці умов залягання корисних копалин та прогнозуванні сценаріїв розробки.

Однією з ключових переваг ГІС у моделюванні є можливість комплексного просторового аналізу. Алгоритми інтерполяції, геостатистичні методи та морфометричні розрахунки дозволяють оцінювати неоднорідність родовищ, визначати зони підвищеної небезпеки, прогнозувати деформації та зміну стану гірничого середовища. Це сприяє підвищенню рівня інженерної безпеки та мінімізації техногенних ризиків. Важливим напрямом застосування ГІС є візуалізація технічних рішень у тривимірному просторі. Моделі гірничих виробок, рудних тіл і проєктних контурів дозволяють порівнювати різні варіанти розробки, оцінювати їхній вплив на довкілля та приймати обґрунтовані інженерні рішення. Тривимірне представлення забезпечує глибше розуміння просторової організації об'єктів і покращує взаємодію між фахівцями.

Інтеграція ГІС із технологіями дистанційного зондування, GPS-моніторингом і системами контролю роботи техніки сприяє цифровізації виробництва. Оперативне оновлення даних забезпечує постійно актуальну інформацію для планування та оптимізації гірничих робіт, маршрутування техніки та вибору послідовності розробки родовища.

Таблиця 1.

Основні переваги застосування ГІС у 3D-моделюванні гірничих об'єктів

Напрямок використання	Ключові переваги	Отримуваний ефект
Створення цифрової моделі рельєфу	Поєднання інформації з різних типів даних	Детальне та коректне формування 3D-репрезентації місцевості
Контроль стану гірничих виробок	Фіксація та аналіз змін геометрії об'єктів	Виявлення деформацій, осідань і просторових відхилень
Геологічне 3D-моделювання покладів	Аналіз просторового розташування корисної копалини	Раціональне планування та оптимізація моделі розробки
Оцінка техногенних та виробничих ризиків	Встановлення потенційно небезпечних зон	Можливість прогнозувати аварійні ситуації та своєчасно реагувати
Планування гірничих робіт	Наглядне представлення технологічних рішень	Підвищення ефективності, безпеки та результативності робіт

Отже, ГІС-технології є важливою складовою сучасної системи гірничого виробництва, забезпечуючи можливість створення детальних тривимірних моделей і виконання просторового аналізу високої точності. Вони підвищують рівень безпеки, продуктивності та інженерної обґрунтованості рішень, що робить їх перспективним напрямом подальшого розвитку гірничої галузі України.

Касянчук О.О., студент 3 курсу
Дідківський К.А., студент 3 курсу
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ, ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ МОБІЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ

Сучасна гірничодобувна промисловість стрімко трансформується в рамках розвитку технологій, що вимагає переходу від періодичних вимірювань до безперервного цифрового моніторингу. Традиційні геодезичні методи, такі як використання електронних тахеометрів та лазерних сканерів (TLS), хоча і є еталоном точності, залишаються дорогими, часоємними та часто небезпечними для персоналу. У цьому контексті використання мобільних пристроїв (смартфонів, планшетів) із вбудованими LiDAR-сенсорами та алгоритмами фотограмметрії розглядається як революційна альтернатива. Це дозволяє демократизувати процес збору 3D-даних, доручивши його лінійному персоналу без глибокої геодезичної підготовки. Проте масове впровадження таких технологій стримується необхідністю верифікації їхньої метрологічної надійності в суворих умовах гірничого виробництва.

Технологічною основою мобільного 3D-сканування є поєднання пасивної фотограмметрії (Structure-from-Motion, SfM) та активних сенсорів глибини (LiDAR). Дослідження показують, що ці методи доповнюють одне одного: фотограмметрія забезпечує високу роздільну здатність текстур та чіткість країв об'єктів при гарному освітленні, тоді як LiDAR ефективний у темряві та на однорідних поверхнях, де оптичні методи дають збій. Критичною умовою досягнення точності є використання наземних опорних точок (GCP), оскільки власні GNSS-модулі смартфонів мають похибку позиціонування в межах 3–10 метрів, що є неприпустимим для маркшейдерії.

У практичних завданнях, таких як вимірювання об'ємів складів корисних копалин, сучасні смартфони демонструють високу ефективність. Узагальнені дані щодо точності вимірювання об'ємів різними методами наведено у таблиці нижче.

Таблиця 1.

Порівняння похибок вимірювання об'ємів (Stockpile Volumetrics)

Метод / Інструмент	Еталон порівняння	Похибка об'єму (%)	Примітки
Компактна камера	лабораторні заміри	0.37% – 2.33%	висока стабільність у контрольованих умовах
Смартфон	лабораторні заміри	0.67% – 3.19%	залежить від якості камери та освітлення
БПЛА	тахеометр (TST)	~3.0%	для кар'єрних складів
Pix4Dmapper (Mobile/UAV)	GNSS/LiDAR	2.0% – 5.0%	для великих об'єктів

Як видно з наведених даних, мобільна фотограмметрія на базі смартфонів демонструє похибку в межах 3%, що є співставним з результатами аерозйомки з БПЛА та відповідає вимогам до оперативної інвентаризації гірничої маси. Важливо відзначити, що фотограмметричні методи часто дають більш детальну модель поверхні складу, ніж класична зйомка GNSS-приймачем, яка інтерполює дані між пікетами.

При моделюванні скельних відслонень та укосів кар'єрів ключовим показником є геометрична точність поверхні. Польові випробування фіксують різні показники середньоквадратичної помилки (RMSE) залежно від типу сенсора.

Таблиця 2.

Геометрична точність реконструкції поверхонь (RMSE)

Сенсор / Технологія	RMSE (Геометрія)	Щільність точок	Сфера застосування
Професійна камера	~0.11 мм	дуже висока	детальне геологічне документування
Смартфон	~0.12 – 0.19 мм	висока	оперативна зйомка вибоїв, зразків
Мобільний LiDAR	10 – 20 мм	низька/середня	швидкі обміри виробок, сканування в темряві
TLS (наземний лазерний сканер)	2 – 5 мм	екстремальна	моніторинг деформацій, еталонні заміри

Аналіз таблиці показує, що для задач, які вимагають субміліметрової точності (наприклад, аналіз шорсткості тріщин), фотограмметрія (SfM) є кращим вибором, ніж вбудований мобільний LiDAR, роздільна здатність якого наразі обмежена. Водночас LiDAR забезпечує стабільний масштаб і є незамінним для швидкого отримання загальної геометрії об'єкта з точністю до 2 см.

Важливим аспектом є програмна обробка даних. Використання спеціалізованого ПЗ (наприклад, Agisoft Metashape) дозволяє компенсувати дисторсію маленьких лінз мобільних камер та ефект "Rolling shutter". Аналіз показує, що гібридний підхід, де LiDAR використовується для загального масштабування сцени, а фотограмметрія — для деталізації, дає найкращі результати. Водночас, обмежена дальність дії мобільних LiDAR (до 5 метрів) та падіння щільності точок на відстані роблять їх непридатними для зйомки високих бортів кар'єрів без використання дронів або допоміжних засобів.

Мобільна фотограмметрія та сканування споживчими пристроями довели свою спроможність як валідний інструмент для вирішення оперативних гірничих завдань. Забезпечуючи точність вимірювання об'ємів до 3% та геометрії поверхонь у межах кількох сантиметрів, ці технології дозволяють суттєво скоротити час та вартість маркшейдерських робіт. Однак вони не можуть повністю замінити прецизійне обладнання для задач високого класу точності, таких як моніторинг деформацій відповідальних споруд. Для отримання надійних результатів обов'язковим є використання опорних геодезичних мереж та комбінування активних і пасивних методів зйомки.

**Козлов Д.В., здобувач освітнього ступеня «магістр»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ ОПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ЯК КРИТЕРІЙ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ

Естетична цінність природного каменю як будівельного та декоративного матеріалу преміум-класу визначається не лише його мінералогічним складом та фізико-механічними властивостями, але й значною мірою якістю фінішної обробки поверхні. Такі процеси, як шліфування, полірування чи термообробка, мають на меті максимальне розкриття декоративних властивостей каменю – його кольору, малюнку та текстури. Традиційні методи контролю якості такої обробки часто покладаються на органолептичну, суб'єктивну оцінку оператора або на вимірювання єдиного інтегрального показника, наприклад, блиску. Проте, ці підходи не враховують складний, полікристалічний та анізотропний характер самого матеріалу, що вимагає розробки більш об'єктивних та комплексних критеріїв контролю [1].

Теоретичною основою для застосування оптичних методів є пряма кореляція між мікрогеометрією поверхні та характером її взаємодії зі світлом. Механічна обробка, зокрема полірування, є процесом послідовного зменшення мікросорсткості поверхні. Необроблена (пиляна) поверхня характеризується переважно дифузним (розсіяним) відбиттям, що візуально сприймається як тьмяність та низька насиченість кольору. У процесі обробки абразивним інструментом частка дзеркального відбиття зростає. Таким чином, оптичні показники, такі як блиск, яскравість та параметри кольору, виступають як прямі, неруйнівні індикатори фізичного стану поверхневого шару.

Ключовим об'єктом дослідження має стати не лише фінальне значення оптичних показників, але їхня мінливість у процесі технологічного ланцюга обробки. Якість фінішної поверхні є кумулятивним результатом послідовних операцій (наприклад, переходу між абразивами різної зернистості). Відстеження приросту показника блиску або зміни координат кольору в просторі CIELab після кожного технологічного переходу дозволяє створити «оптичний паспорт» процесу. Стабільний, монотонний приріст цих показників свідчить про коректність роботи обладнання та правильний підбір інструменту.

Саме аналіз цієї мінливості перетворює оптичний контроль з методу пост-фактум бракування на інструмент операційного моніторингу. Наприклад, різке падіння приросту блиску між двома послідовними шліфувальними головками може свідчити про надмірне зношення інструменту, неправильний тиск або невідповідність зернистості. Таким чином, критерієм якості стає не абсолютне значення блиску (яке може бути досягнуте), а стабільність та прогнозованість його динаміки. Це дозволяє в режимі реального часу ідентифікувати відхилення від технологічного режиму та запобігати випуску неякісної продукції.

Основний теоретичний виклик при інтерпретації оптичних даних полягає у природній гетерогенності самого каменю. Природний камінь є полімінеральним агрегатом, що складається з зерен різної твердості та оптичних властивостей (наприклад, кварц, польовий шпат, слюда у граніті). У процесі полірування ці мінерали реагують на абразивний вплив по-різному: більш тверді мінерали (кварц) чинять більший опір, тоді як м'якші (слюда) можуть викришуватися. Це створює природну "оптичну мінливість" навіть на ідеально обробленій поверхні, де різні мінеральні зерна матимуть різний локальний блиск.

Для вирішення цієї проблеми традиційних точкових блискомірів недостатньо. Необхідне впровадження методів цифрового аналізу зображень та машинного зору. Сканування поверхні з високою роздільною здатністю дозволяє перейти від інтегрального показника до аналізу статистичного розподілу оптичних характеристик. Наприклад, критерієм якості може слугувати не середнє значення блиску, а параметри гістограми його розподілу (дисперсія, асиметрія). Це дозволяє алгоритмічно відокремити очікувану мінералогічну мінливість від аномальної технологічної мінливості, спричиненої дефектами обробки (подряпини, недополіровані ділянки).

Отже, дослідження мінливості оптичних показників є перспективним напрямком для створення автоматизованих систем контролю якості обробки каменю. Такий підхід дозволяє об'єктивізувати оцінку естетичних властивостей, перейти від пасивного контролю до активного управління процесом та врахувати складну полікристалічну природу природного каменю. Подальші дослідження мають бути зосереджені на розробці гоніофотометричних методів, що аналізують відбиття під різними кутами, для повного опису текстури поверхні та створення комплексних моделей якості.

Список використаної літератури:

1. Quality index control for building products made of natural facing stone / V. Shamrai et al. *Mining of Mineral Deposits*. 2023. Vol. 17, no. 3. P. 12–21. URL: <https://doi.org/10.33271/mining17.03.012>.

Кокарев О. Л., студент 2-го курсу, гр. ГР-24
 Шишко С. М., аспірант
 Криворучко А.О. к.т.н., доц.
 Державний університет «Житомирська політехніка»

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИДОБУВАННЯ БЛОКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АЛМАЗНО-КАНАТНИХ МАШИН

Технологія алмазно-канатного розпилювання посідає ключове місце у сучасних технологічних схемах видобування декоративного блочного каменю, забезпечуючи високу точність різання, мінімальні втрати корисної копалини та можливість отримання блоків значних розмірів (рис. 1). Попри те, що даний метод не є принципово новим, актуальними залишаються питання підвищення його ефективності, оптимізації організаційних та технологічних параметрів, а також адаптації обладнання до різних геолого-технічних умов родовищ. Особливої уваги потребує проблема формування виконавчого контуру канату, рівномірності зношування алмазних втулок, стабільності процесу різання та управління навантаженнями на робочий орган машини.



Рис. 1. Застосування алмазної канатопильної установки для видобування блоків гранодіориту

Алмазно-канатна установка включає робочий орган у вигляді сталевого багатожильного канату (рис. 2), оснащеного алмазними втулками діаметром 10–12 мм, та каменерізальну машину з приводним шківом діаметром 800–1300 мм, що забезпечує переміщення канату по різальному контуру. Подача машини здійснюється або шляхом пересування всієї установки по рейкових чи металевих направляючих, змонтованих на підшві уступу, або через переміщення приводного шківа відносно нерухомої установки.

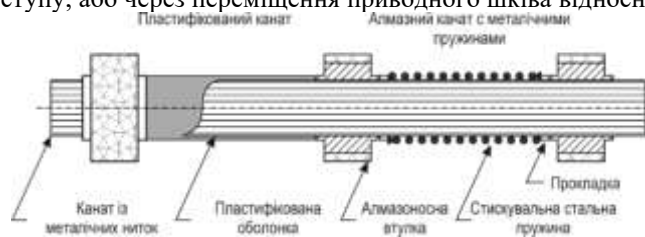


Рис. 2. Загальний вигляд конструкції алмазного канату

Важливою конструктивною особливістю алмазно-канатних систем є відсутність допоміжних роликів-блоків для формування прямолінійного різального контуру, що зумовлює параболічну форму робочої гілки канату. Така особливість впливає на розподіл напружень у канаті, характер зношування алмазних елементів і, відповідно, на стабільність і продуктивність процесу розпилювання, що потребує врахування при проектуванні технологічних схем.

Процес видобування блочного каменю за допомогою алмазно-канатних машин зазвичай включає два основних технологічних етапи: підготовку й відокремлення великих монолітів від масиву, а також подальше розчленування отриманих монолітів на товарні блоки. У разі необхідності технологічна схема

може включати й третій етап – уточнювальне різання, що застосовується для коригування форми окремих блоків або підготовки їх до транспортування.

Історично алмазно-канатні установки використовували переважно на мармурових родовищах і у видобуванні порід зі схожими фізико-механічними властивостями. Проте розвиток конструкцій каменерізальних машин, підвищення зносостійкості алмазних канатів та вдосконалення технології алмазного інструменту дозволили суттєво розширити сферу застосування цієї технології. На сучасному етапі алмазно-канатне розпилювання ефективно впроваджується й у гранітних кар'єрах, де природна тріщиностійкість та висока міцність порід висувають підвищені вимоги до різального інструменту, режимів роботи та конструкційних особливостей обладнання.

Актуальність дослідження полягає в необхідності підвищення ефективності, надійності та безпечності процесу алмазно-канатного розпилювання, адаптації технології до складних гірничо-геологічних умов та забезпечення раціонального використання природної сировини.

Найпоширенішим варіантом застосування алмазно-канатних машин є виконання вертикальних різів із нижнього уступу. У цьому випадку каменерізальну установку розміщують на підшві уступу, який підлягає різанню (рис. 3). Такий спосіб дозволяє формувати вертикальні пропили вже на початковому етапі розкриття родовища, навіть за умови, що верхня частина уступу не має рівної або підготовленої поверхні. Метод забезпечує сприятливу геометрію різання без утворення гострокутних перегинів і може застосовуватися як для вертикальних, так і для похилих пропилів.

Однією з модифікацій вертикального різання є створення різів під кутом 90° . Італійська компанія Marini розробила спеціалізований комплект обладнання для виконання таких різів, який включає чотири маховики діаметром 400 мм, супорт, ланцюги та натяжні пристрої. Технологічна схема різання під 90° використовується переважно для відокремлення першого моноліта від масиву в умовах стисливості порід і при наступних етапах розширення робочої зони (рис. 4).

Вертикальні різі з верхнього уступу застосовують у ситуаціях, коли розміщення каменерізальної машини на нижньому уступі неможливе з технологічних чи геометричних причин. За такого підходу необхідною умовою є наявність підготовленої верхньої площадки з відносно рівною поверхнею. Водночас геометрія процесу погіршується через появу гострих граней під час різання, що потребує використання додаткових напрямних канатних блоків для стабілізації руху канату.

Більш складним у виконанні є метод вертикальних різів із тильного боку уступу, який використовується рідше та вимагає значного досвіду оператора. Його переважно застосовують для створення початкових технологічних траншей або піонерних проходів з метою забезпечення контролю за структурою масиву. Робочий вибій формується двома вертикально орієнтованими шківками, які монтують у попередньо пробурених свердловинах діаметром 230–330 мм (рис. 5). У цьому варіанті робочий контур каната суттєво відрізняється: трос не зазнає значного натягу, однак тисне на вибій, а напрямні блоки примушують його кілька разів різко змінювати траєкторію – на 180° від нижнього шківки та під 90° у поворотних маховиках. Крім того, напрямні блоки мають бути опущені нижче глибини різів, що додає складності операції.

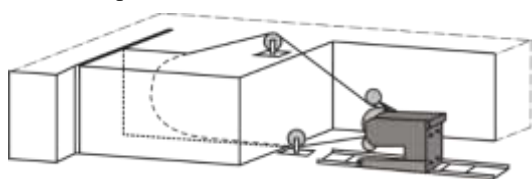


Рис. 3. Схема виконання вертикального різів з розміщенням канатної установки на нижньому уступі масиву

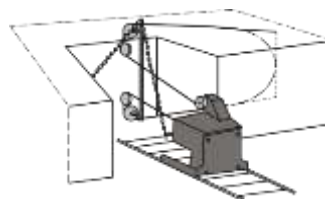


Рис. 4. Схема виконання вертикального різів під кутом 90° для здійснення вирізання в другий моноліт масиву

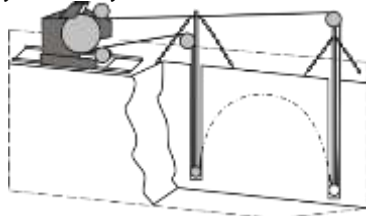


Рис. 5. Схема виконання вертикального різів з тильної сторони блоку природного каменю

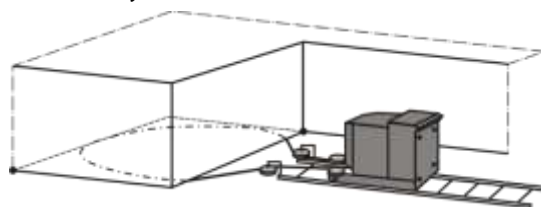


Рис. 6. Схема виконання горизонтального різів при відділенні блоку в горизонтальній площині

Швидкість різання за такого методу на 30–40% менша порівняно з попередніми, проте циркуляція води відбувається ефективніше завдяки її руху вниз, що полегшує виконання «сліпих» різів. Цей спосіб має важливу особливість – різання можливе лише з однієї вільної поверхні, що є як перевагою (відсутність необхідності буріння двох зустрічних свердловин), так і певним технологічним обмеженням.

Одним із найскладніших етапів є горизонтальний різ (рис. 6), який, хоча й забезпечує правильну геометрію вибою, характеризується низкою технологічних труднощів. Попереднє буріння потребує виконання двох горизонтальних свердловин, що ускладнює забезпечення їх прямолінійності – зі збільшенням довжини свердловини зростає прогин бурового інструмента під власною вагою і, відповідно, відхилення осі буріння. Додатковою проблемою є ризик деформації масиву: навіть незначний зсув може призвести до защемлення алмазного каната, який у таких умовах важко вивільнити. Крім того, горизонтальне чи субгоризонтальне положення площини різ у ускладнює подачу води безпосередньо в зону контакту каната з породою, що негативно позначається на продуктивності та стабільності процесу.

Для забезпечення високої ефективності роботи алмазно-канатних установок необхідно враховувати широкий спектр чинників, що впливають на процес різання: геометрію розташування канату, натяг і стабільність робочої частини контуру, параметри водоподачі, фізико-механічні властивості порід, конфігурацію тріщинуватості масиву, а також характер зношування алмазних втулок.

Висота уступу є одним із ключових параметрів, що визначають продуктивність алмазно-канатних установок під час видобування блочного каменю. Збільшення висоти уступу безпосередньо впливає на довжину різального шляху канату, величину натягу, характер кривизни робочої гілки та стійкість процесу різання. При зростанні висоти уступу пропорційно збільшується довжина робочої частини канату, що підвищує загальний опір різанню, інтенсивність зношування алмазних втулок і потребу в більш високій енергії приводу. Крім того, зі збільшенням довжини пропилю ускладнюється стабільність траєкторії канату, зростає амплітуда його коливань, що призводить до нерівномірності знімання породи та зменшення середньої швидкості різання. Високі уступи погіршують умови водоохолодження, оскільки вода частково втрачається вздовж траєкторії пропилю та не досягає зони інтенсивного різання у достатній кількості.

Було досліджено зміну продуктивності алмазної канатної установки від висоти уступу, який відпрацьовують (рис. 7).

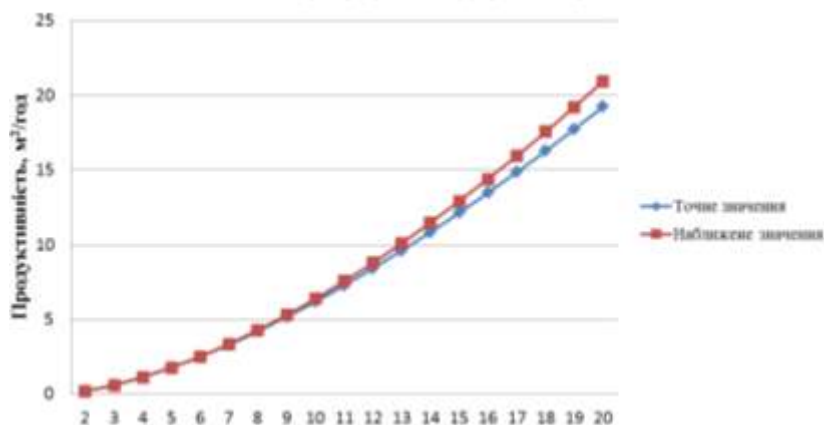


Рис. 7. Графічні залежності зміни продуктивності алмазної канатної установки від висоти уступу, який відпрацьовують

У теоретичному аспекті залежність продуктивності від висоти уступу описується через зміну сили тертя, роботи різання та механічних втрат у системі. Зростання довжини канату збільшує загальні механічні витрати, що знижує коефіцієнт корисної дії машини. Оптимальна висота уступу визначається як компроміс між бажаними розмірами блоку та допустимими навантаженнями на канат, робочий шків і направляючі блоки. У разі перевищення оптимального значення спостерігається різке падіння продуктивності, підвищення вірогідності аварійного защемлення канату та зменшення ресурсу інструменту.

Аналіз графічної залежності показує, що зі збільшенням висоти уступу продуктивність алмазно-канатної установки зростає за нелінійним законом. При малих висотах (2–6 м) зростання є незначним, що пов'язано з короткою довжиною різального шляху та недостатньою ефективністю використання канату. У діапазоні середніх висот (7–14 м) спостерігається інтенсивне збільшення продуктивності, оскільки канат працює більш стабільно, зменшуються непродуктивні втрати та покращуються умови зносу алмазних втулок. На великих висотах (15–20 м) темп приросту продуктивності дещо уповільнюється внаслідок збільшення загального опору різанню, подовження робочого контуру канату та зростання енергетичних витрат на підтримання натягу й стабільності траєкторії. Загалом крива має зростаючий характер, що свідчить про технологічну доцільність виконання різів при більших висотах уступів у межах допустимих параметрів обладнання.

Корнієнко В.Я., д.т.н., професор
Васильчук О.Ю., к.т.н., доцент

Національний університет водного господарства та природокористування

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ БУРШТИНУ З ГЛИНИСТИХ РОДОВИЩ ВОЛИНИ

Волинський регіон є одним з найбільш перспективних районів України за прогнозними ресурсами бурштину, формування якого пов'язане з поліськими алювіально-дельтовими та озерно-болотними відкладами. На відміну від піщано-глинистих товщ Рівненщини, у Волинській області значна частина бурштиноносних горизонтів локалізована саме у глинистих або тяжких глинисто-алевритових ґрунтах, що формує специфічні технічні, технологічні й екологічні особливості видобування. Видобуток бурштину з таких порід характеризується суттєвими труднощами, які потребують адаптованих гірничих технологій, високого рівня технічної безпеки та ретельного обґрунтування параметрів геолого-технічного процесу.

Глини Волині характеризуються високою пластичністю, зв'язністю та водоутримуючою здатністю. При зволоженні вони перетворюються на в'язку масу, що блокує роботу насосно-гідравлічних систем. При підсушуванні — утворюють тверді брили, які важко руйнуються механічними способами. Їх типова щільність сягає 1,8–2,4 т/м³, а коефіцієнт фільтрації — вкрай низький, що призводить до слабого розмиву глиняної товщі під дією водяного струменя.

Такі властивості створюють низку технологічних викликів: зниження ефективності гідророзмиву; підвищене енергоспоживання при механічному руйнуванні глини; утворення «глинистого мулу», який ускладнює фільтрацію і промивку; висока абразивність домішок, що прискорює зношування обладнання; небезпека утворення пливунів або переувільнених зон, які важко розробляти.

Встановлено, що для глинистих родовищ необхідно застосовувати комбіновані системи виїмання: гідромеханічні, механічні роторні, екскаваторні або шнекові комплекси з додатковими пристроями для руйнування та розпушення глини.

Умови Волині потребують впровадження адаптованих технологічних схем, серед яких найефективнішими є:

- гідромеханічні системи зі збільшеним тиском подачі води (застосовуються для слабопластичних суглинків. Використовуються гідромонітори підвищеного тиску (до 10–16 МПа), які дозволяють руйнувати глинисту масу. Водночас необхідно встановлювати відстійники для осадження глинистих частинок та системи рециркуляції води);
- комбіновані установки з фрезерними або роторними ґрунторуйнівниками (ці системи дозволяють зменшити обсяг гідравлічного розмиву та забезпечити рівномірне фрагментування глинистих порід. Завдяки механічному руйнуванню фрезами підвищується продуктивність та ефективність відокремлення бурштину);
- шнекові та бурові системи вилучення бурштиновмісної породи (ефективні для глибин до 10–20 м, дозволяють піднімати глинисто-алевритову масу без надлишкової води. Подальша переробка відбувається у промивних барабанах, гідросепараторах або вібраційних ситах);
- екскаваторні механічні технології (застосовуються на ділянках з твердішими різновидами глини. Вимагають прямого доступу до відкритої поверхні родовища, що робить їх ефективними лише у легкодоступних зонах);
- вібраційно-гідравлічні лінії з двоступеневим промиванням (дають змогу відділяти великі маси глини за рахунок поєднання сил гідропотоку та вібрацій. Показав свою ефективність при великих об'ємах вилучення).

У глинистих родовищах первинна маса, що містить бурштин, має високу вологості і погано розпадається під дією води. Тому процес промивки включає: застосування барабаних скруберів для розпушування маси; використання теплої або підігрітої води (до 30–40 °С) для прискорення розмокання; введення флокулянтів або полімерів для осадження надлишкових глинистих часток; двоступеневу сепарацію — первинну грубосіткову та кінцеву тонку; використання пневматичних або гідравлічних концентраторів, що працюють за принципом різниці густин.

Ефективність вилучення бурштину із глинистих порід значно підвищується при застосуванні періодичної декантації, попереднього зневоднення та багатоетапного промивання.

Отже, видобування бурштину з глинистих родовищ Волині є складним і ресурсомістким процесом, який суттєво відрізняється від традиційного видобутку у піщано-глинистих відкладах Полісся. Особливості глинистих порід формують необхідність застосування комбінованих технологій, удосконалених систем промивки та механічного руйнування маси. Водночас впровадження сучасних екологічно безпечних та маловідходних технологій дозволяє мінімізувати техногенне навантаження на природні комплекси та забезпечити раціональну розробку бурштиноносних родовищ Волинського регіону.

**Коровяка М.Є., студентка 4 курсу, група 185-22-1, інститут
природокористування**

**Науковий керівник: Пашенко О.А., к.т.н., доцент
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»**

ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОЦЕСИ ТА ВИКЛИКИ ПРИ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ

Видобуток вуглеводневої сировини, такої як нафта та природний газ, є фундаментальним елементом глобальної енергетичної системи, забезпечуючи сировиною промисловість, транспорт і побутове споживання. Вуглеводні формуються в результаті тривалих геологічних процесів, коли органічні рештки морських і наземних організмів під впливом високого тиску, температури та відсутності кисню перетворюються на гідрокарбони в осадових породах. Ці запаси накопичуються в пористих гірських породах, таких як пісковики чи вапняки, і утримуються в пастках – структурних, стратиграфічних або комбінованих. Процес видобутку починається з етапу геологічної розвідки, де застосовуються сучасні геофізичні методи, включаючи сейсмічну рефлексію, яка передбачає генерацію акустичних хвиль і реєстрацію їх відбиття від підземних шарів для створення 3D-моделей родовищ, гравіметрію для вимірювання варіацій гравітаційного поля та магнітні обстеження для виявлення магнітних аномалій, пов'язаних з геологічними структурами [1]. Ці методи дозволяють оцінити потенціал родовища без інвазивного втручання, мінімізуючи ризики та витрати.

Після підтвердження наявності запасів переходять до підготовки бурового майданчика. Це включає не лише будівництво інфраструктури, такої як дороги, платформи та системи постачання, але й оцінку екологічних ризиків, отримання дозволів від регуляторних органів і впровадження заходів безпеки, таких як бар'єри для запобігання ерозії ґрунту. Буріння свердловини є ключовим етапом: бурова установка, оснащена обертовим долотом, проникає в землю на глибину від 500 до понад 10 000 метрів, залежно від типу родовища. Під час буріння використовують бурові розчини (муди) на водній, олійній або синтетичній основі для охолодження інструменту, стабілізації стінок свердловини та виносу породи на поверхню. Після досягнення продуктивного горизонту свердловину обсаджують сталевими трубами та цементують для забезпечення герметичності, запобігання міграції флюїдів між шарами та захисту ґрунтових вод від забруднення. Тести на міцність, такі як гідравлічні випробування, підтверджують цілісність конструкції [2, 3].

Завершення свердловини передбачає перфорацію обсадних труб для створення каналів до пласта, а в разі низької проникності породи – застосування гідравлічного розриву пласта (ГРП, або фрекінг). Під час фрекінгу в свердловину під тиском до 100 МПа закачують суміш води (90-95%), пропанта (піску або керамічних гранул) та хімічних добавок (0,5-2%), таких як гелеутворювачі, стабілізатори та біоциди, для створення мікротріщин у породі та полегшення потоку вуглеводнів. Ця технологія революціонізувала видобуток нетрадиційних запасів, таких як сланцевий газ і щільна нафта, збільшивши видобуток у США на понад 60% за останнє десятиліття. Після фрекінгу починається експлуатація: вуглеводні витікають природним чином завдяки пластовому тиску або за допомогою механічних насосів (наприклад, штангових або електроцентробіжних), а супутні флюїди, такі як пластові води та гази, сепаруються на поверхні. Відходи, включаючи забруднену воду з фрекінгу, переробляються шляхом очищення, реінжекції в пласт або утилізації в спеціальних сховищах для мінімізації забруднення [4].

Залежно від локалізації родовища, видобуток поділяється на наземний і морський (офшорний). На суші застосовують стандартні бурові вишки, тоді як офшорний видобуток вимагає спеціалізованих платформ: фіксованих для мілководдя (до 500 м), напівзанурювальних для глибоководдя (до 3000 м) або плавучих систем типу FPSO (Floating Production Storage and Offloading), які поєднують видобуток, обробку та зберігання сировини з можливістю відвантаження на танкери. Для газових родовищ часто використовують компресорні станції для підтримки тиску в пласті та запобігання конденсації. Після видобутку сировину транспортують трубопроводами, танкерами або залізницею до НПЗ, де нафту фракціонують шляхом атмосферної та вакуумної дистиляції на бензин, дизель, гас та важкі фракції, а газ очищують від сірки, вуглекислого газу та інших домішок методом абсорбції або мембранної сепарації [5, 6, 7].

Видобуток вуглеводнів супроводжується значними екологічними викликами. Серед них – забруднення поверхневих і ґрунтових вод хімікатами з фрекінгу, викиди метану (CH_4), який є парниковим газом у 25 разів потужнішим за CO_2 , та ризики аварій, таких як розливи нафти (наприклад, Deepwater Horizon 2010 р., що призвів до забруднення 1800 км узбережжя). Сейсмічна активність, індукована реінжекцією відходів, може викликати землетруси, а будівництво інфраструктури призводить до фрагментації екосистем і втрати біорізноманіття. Для пом'якшення цих впливів впроваджують технології, такі як

горизонтальне буріння, яке дозволяє видобувати з кількох гілок однієї свердловини, зменшуючи поверхневий вплив на 70-90%, системи реального часу моніторингу витоків за допомогою сенсорів IoT та перехід на "зелені" хімікати в фрекінгу. Крім того, захоплення та зберігання вуглецю (CCS) інтегрується в процеси для скорочення викидів CO₂ [8, 9, 10].

Економіка видобутку залежить від волатильності цін на енергоносії, геополітичних факторів (наприклад, санкцій чи конфліктів у регіонах ОПЕК) та інвестицій у технології. Інновації, такі як цифрова геологія з AI для аналізу сейсмічних даних, машинне навчання для прогнозування продуктивності свердловин та автоматизовані бурові системи, підвищують ефективність на 20-30%. У майбутньому, з глобальним переходом до низьковуглецевої економіки, видобуток може скоротитися через зростання відновлюваних джерел, але короткостроково очікується зростання в офшорних проектах, інтеграція з водневою енергетикою та фокус на стійкості, включаючи електрифікацію платформ і використання біопалив для обладнання. Дослідження прогнозують, що до 2030 р. частка нетрадиційного видобутку зросте до 50%, але з посиленням регуляцій на викиди [11, 12, 13].

Загалом, видобуток вуглеводневої сировини є високотехнологічним процесом, що поєднує геонауку, інженерію та екологічний менеджмент. Його стійкий розвиток вимагає балансу між енергетичними потребами суспільства та збереженням довкілля, з акцентом на інновації та міжнародну співпрацю. У контексті глобальних кліматичних змін, таких як Паризька угода 2015 р., галузь повинна інтегрувати принципи циркулярної економіки, включаючи повторне використання відходів буріння як сировини для будівельних матеріалів або геополімерів, та розвивати гібридні системи з відновлюваними джерелами, наприклад, сонячними панелями для живлення офшорних платформ. Майбутні дослідження, орієнтовані на наноматеріали для селективного проппанта чи біотехнології для мікробного посиленого видобутку (MEOR), дозволять підвищити коефіцієнт вилучення нафти з 30-40% до 60% без значного зростання екологічного навантаження. Таким чином, еволюція видобутку вуглеводнів від традиційних методів до інтелектуальних систем забезпечить перехідний місток до постфосильної ери, зберігаючи енергетичну стабільність при мінімізації антропогенного впливу на біосферу.

Список використаної літератури:

1. Hyne N. J. Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling, and Production. 4th ed. PennWell Corporation; 2019. 720 p.
2. Schlumberger. Oilfield Glossary [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://glossary.oilfield.slb.com/>. Дата звернення: 28.10.2025.
3. American Petroleum Institute. Recommended Practice 54: Occupational Safety and Health for Oil and Gas Well Drilling and Servicing Operations [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/recommended-practice-54>. Дата звернення: 28.10.2025.
4. King G. E. Hydraulic Fracturing 101: What Every Representative, Environmentalist, Regulator, Reporter, Investor, University Researcher, Neighbor and Engineer Should Know About Estimating Frac Risk and Improving Frac Performance in Unconventional Gas and Oil Wells. SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference; 2012. SPE Paper 152596.
5. Offshore Technology. Longest standing fixed offshore platforms: Ranking the oldest [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.offshore-technology.com/features/the-longest-standing-fixed-offshore-platforms/>. Дата звернення: 28.10.2025.
6. U.S. Energy Information Administration. Natural gas explained [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/>. Дата звернення: 28.10.2025.
7. International Energy Agency. Oil Refining [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-petrochemicals>. Дата звернення: 28.10.2025.
8. U.S. Environmental Protection Agency. Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States. EPA/600/R-16/236F; 2016.
9. Jackson R. B., Vengosh A., Carey J. W. et al. The Environmental Costs and Benefits of Fracking. Annual Review of Environment and Resources. 2014. Vol. 39. P. 327-362.
10. Intergovernmental Panel on Climate Change. Carbon Dioxide Capture and Storage. Special Report; 2005. 443 p.
11. BP. Energy Outlook 2023 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>. Дата звернення: 28.10.2025.
12. International Energy Agency. World Energy Outlook 2024 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>. Дата звернення: 28.10.2025.
13. McKinsey & Company. The Future of Oil and Gas: Innovation and Transition. 2023. 45 p.

**Кравченко О.О., бакалавр 3 курс, група ГСм-24-1п,
гірничо-металургійний факультет**

Науковий керівник: Бруй Г.В., к.т.н., доцент

Технічний університет "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА", м. Запоріжжя, Україна

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИЗ'ЮНКТИВНИХ ПОРУШЕНЬ У СЛАБОМЕТАМОРФІЗОВАНИХ ПОРОДАХ

Унаслідок тектонічних процесів у земній корі виникають напруження, які при перевищенні межі міцності порід спричиняють їх розриви. Спочатку це проявляється у вигляді тріщин, що з часом можуть трансформуватися у масштабні розривні порушення – диз'юнктиви. Вивчення таких структур є ключовим для розуміння геологічної будови шахтного поля та прогнозування умов розробки корисних копалин.

Для повноцінного аналізу диз'юнктивів важливо не лише визначити напрямок переміщення порід, а й оцінити довжину порушення. Навіть великі розриви мають межі затухання, які можна зафіксувати на планах гірничих робіт. Екстраполяція даних на суміжні ділянки у поєднанні з результатами геологічної розвідки дозволяє створити прогноз структурно-геологічних умов, що є основою для гірничого проектування.

Ефективне виявлення та документування тектонічних порушень можливе лише за умови чіткої організації роботи геологічної та маркшейдерської служб. Вони мають здійснювати регулярні спостереження за тріщинуватістю масиву, вести точну документацію та оперативно обробляти отримані дані. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни геологічної ситуації та приймати обґрунтовані рішення щодо ведення гірничих робіт.

Модель розвитку диз'юнктиву запропонував А. С. Забродін. За його моделлю, диз'юнктив розглядається як замкнена система диференційованих зміщень порід, де максимальна амплітуда спостерігається в центрі, а на периферії вона поступово зменшується до нуля (рис. 1). Побудова епюри зміщень дозволяє візуалізувати розподіл амплітуд у межах порушення. Ізолінії на такій схемі мають концентричну форму, що окреслює межі впливу диз'юнктиву.

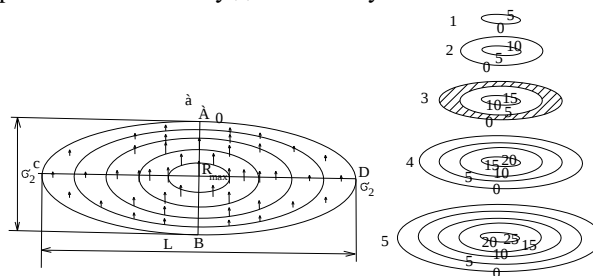


Рис. 1. Епюра зміщувача розривного порушення та схема його розвитку

Згідно з моделлю, кожен новий етап тектонічної активності призводить до збільшення амплітуди зміщення та розширення зони порушення. Наприклад, при початковій амплітуді 5 м, висота зміщувача становить 100 м, а довжина - 300 м. Подальше зростання амплітуди на 5 м розширює епюру на 50 м по малій осі та на 150 м по великій. Такий підхід дозволяє прогнозувати геометричні параметри порушення на основі енергетичних характеристик тектонічного процесу.

Практичне підтвердження теорії стало можливим під час проходки 1164-го збірного штреку шахти ім. Героїв Космосу ПрАТ «ДТЕК «Павлоградвугілля». Було зафіксовано тектонічне порушення з амплітудою 5 м, що супроводжувалося зоною інтенсивної тріщинуватості шириною до 2 м (рис. 2). Визначення параметрів порушення здійснювалося шляхом буріння шпурів у покрівлю виробки. Через значну амплітуду порушення, яка перевищувала потужність пласта у 6 разів, було прийнято рішення про відпрацювання запасів у зоні порушення без перемонтажу комплексу.

Для безпечного проходження механізованого комплексу через зону порушення було складено прогнозну карту та план переходу. Затухання диз'юнктиву зафіксовано в масиві, довжина в плані склала 320 метрів з максимальною амплітудою в центральній його частині 5,1 м. Визначення положення в плані лінії скрещування здійснювалося за допомогою аналізу документації та інструментальних вимірювань у лаві. Встановлено, що лінія скрещування має хвилясту форму, що свідчить про випадковий характер її поширення.

З огляду на складність та варіативність форми лінії скрещування, її дослідження потребує застосування статистичних методів. Імовірнісний підхід дозволяє більш точно прогнозувати поведінку диз'юнктиву та забезпечити ефективне планування гірничих робіт.

Криворучко М.А., магістрант 2-го курсу, гр. РР-49м

Криворучко А.О. к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Савич І.В., директор

ПП «Спецтехсервіс»

АНАЛІЗ І ОЦІНКА ЧИННИКІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ РІВЕНЬ ЗНОШУВАННЯ АЛМАЗНОГО КАНАТУ

Алмазний канат є одним із ключових інструментів у сучасних технологіях видобутку та обробки природного каменю, зокрема гранітів, мармурів та інших декоративно-оздоблювальних порід. Ефективність роботи канатних установок та економічні показники виробництва значною мірою залежать від ресурсу алмазного канату та інтенсивності його зношування.

Висока вартість алмазного інструменту, складні умови експлуатації та значні навантаження, які виникають під час розпилювання порід різної твердості, обумовлюють необхідність детального вивчення чинників, що впливають на його деградацію.

Незважаючи на широке застосування канатного розпилювання у промисловості, наукові дані щодо закономірностей зношування алмазного канату залишаються недостатньо систематизованими. Відсутність чітких критеріїв оптимізації технологічних режимів, неузгодженість підходів до вибору конструктивних рішень та недосконалість методів експлуатаційного контролю призводять до невиправданих втрат ресурсу та зростання собівартості виробництва.

У зв'язку з цим постає потреба у проведенні комплексного аналізу та кількісної оцінки факторів, що визначають інтенсивність зношування алмазного канату. Результати такого дослідження дадуть можливість підвищити ефективність використання інструменту, оптимізувати режими різання, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити конкурентоспроможність каменеобробних підприємств.

Витрата алмазного каната визначається кількома ключовими факторами:

1. Технічний стан обладнання. Стан елементів верстата, зокрема футеровок і гумових компонентів, є одним із визначальних чинників довговічності алмазного каната. Зношені або пошкоджені елементи спричиняють додаткові динамічні навантаження, що прискорюють деградацію каната та зменшують його ресурс. Регламентоване технічне обслуговування та своєчасна заміна футеровок дозволяють мінімізувати ризики передчасного руйнування каната й забезпечують стабільність технологічного процесу.

2. Дотримання технологічних параметрів розпилювання. Правильний вибір технологічних режимів різання, зокрема швидкості обертання та подачі, суттєво впливає на інтенсивність зношування алмазного каната. Недостатня швидкість сприяє абразивному стиранню, тоді як надмірно висока швидкість може спричинити «замилування» алмазних перлин через недостатню участь алмазів у різанні. Оптимізація параметрів повинна здійснюватися з урахуванням типу породи, умов різання та рекомендацій виробника обладнання.

3. Властивості породи, що підлягає різанню. Ресурс алмазного каната значною мірою визначається мінералогічним складом і твердістю гірської породи. Для гранітів встановлено пряму залежність між групою твердості й тривалістю роботи каната: із підвищенням твердості породи інтенсивність зношування зростає. У зв'язку з цим доцільно враховувати характеристики породи при виборі типу каната та режимів його експлуатації.

4. Рівномірність зношування каната (закрутка). Рівномірне зношування по колу діаметра є ключовою умовою ефективного використання алмазних перлин. Порушення рівномірності, спричинене неправильною закруткою або відсутністю корекції крутного моменту, призводить до локального перевантаження й скорочення ресурсу каната.



а



б



в



г

Рис. 1. Канат, який отримав пошкодження від неправильного закручування

На рисунках 1(а)–1(г) наведено приклади дефектів, що виникають унаслідок неправильної закрутки: на рисунках 1(а)–1(в) канат не мав достатнього закручування, а на рисунку 1(г) продемонстровано необхідність зміни числа обертів на погонний метр для усунення ексцентриситету перлин.

5. Охолодження та водопостачання під час різання

Надмірне нагрівання каната є однією з типових причин його передчасного руйнування. На рисунках 2(а)–2(в) наведено приклади перегріву, що виник через недостатню подачу води, що призвело до зміщення перлин.



а



б



в

Рис. 2. Приклади перегріву канату

Надмірна кількість води також є небажаною: знижене навантаження на робочу дугу та інтенсивне вимивання шламу спричиняє «замилування» алмазного шару (рисунки 3(а)–3(в)).



а



б



в

Рис. 3. «Замилування» алмазних перлин (втулок)

Таким чином, оптимальний режим водопостачання має забезпечувати ефективне охолодження та стабільність процесу різання.

6. Форми зношування перлин. На рисунках 4(а)–4(б) продемонстровано випадки кульового зносу, що характерні для роботи каната з недостатнім охолодженням та мінімальною лінійною швидкістю (менше 20 м/с). Таке середовище спричиняє перегрів, витончення гумової матриці та нерівномірне зношування.



а



б

Рис. 4. Кульовий знос перлин (втулок) алмазного канату

Більш поширеним явищем є формування конічної форми перлин через використання підвищеної швидкості розкриття алмазів (25–27 м/с) протягом усього циклу роботи каната (рисунк 5).

7. Геометрія блока та умови різання. Неправильний вибір розмірів блока для різання створює надмірний радіус вигину, що ускладнює обертання каната та спричиняє нерівномірний знос. Для усунення цього явища блок доцільно нахилити, зменшуючи радіус кривизни каната.

8. Натяг каната та режим роботи. Надмірний натяг під час різання викликає підвищене навантаження на перлини та прискорює їх деградацію.



Рис. 5. Конусна форма перлин, викликана використанням значної швидкості розкриття алмазного шару

Оптимальна лінійна швидкість каната становить 20–35 м/с. Підвищення швидкості сприяє можливому засміченню алмазних сегментів та випадінню алмазів, тоді як знижена швидкість збільшує абразивний знос та ускладнює роботу каната, сприяючи появі конусності.

Запуск різання не рекомендується проводити з високою швидкістю або із різким підвищенням навантаження. Нестабільні та різкі зміни режиму роботи можуть призвести до пошкодження каната.

9. Завершення процесу різання. На етапах виходу з різу, де спостерігається сильне згинання каната, рекомендовано використовувати канат після часткового зношування. Це дозволяє уникнути додаткових деформацій та зменшує ризик пошкоджень у найкритичніших зонах траєкторії різання.

Висновки

1. Алмазний канат є критичним елементом у технологічному процесі розпилювання природного каменю, а його зношування визначає ефективність, продуктивність та економічну доцільність застосування канатного обладнання на підприємствах каменеобробної галузі.

2. Проведений аналіз факторів, що впливають на деградацію алмазного каната, підтверджує багатокомпонентний характер процесу його зношування. На ресурс каната впливають як зовнішні чинники (фізико-механічні властивості породи, умови різання, характер тепловиділення), так і внутрішні (конструкція перлин, тип зв'язки, якість армування та гумової заливки).

3. Виявлено ключові технологічні параметри, що визначають інтенсивність зношування каната, серед яких: швидкість різання, натяг каната, величина робочого навантаження, правильність закрутки, а також умови водопостачання та охолодження. Оптимізація цих параметрів дозволяє на 20–40% підвищити ресурс інструменту.

4. Підтверджено, що мінералогічний склад та твердість граніту чи інших порід істотно впливають на термін служби алмазного каната. Зі збільшенням твердості, неоднорідності та абразивності породи зростає інтенсивність стирання алмазних перлин та гумової матриці, що потребує адаптації технологічних режимів.

5. Недотримання регламентів технічного обслуговування обладнання (зношені футеровки, дефекти ведучих та напрямних шківів, нерівномірність роботи вузлів приводу) створює додаткові навантаження, які прискорюють руйнування каната. Своєчасне технічне обслуговування дає змогу суттєво знизити втрати ресурсу.

6. Проаналізовано характерні форми зношування перлин, серед яких кульовидне, конічне, абразивне, теплове та механічне. Встановлено, що вони можуть служити діагностичною ознакою для визначення причин передчасного виходу каната з ладу та для оптимізації технологічного режиму роботи.

7. Показано, що неправильне водопостачання (як недостатнє, так і надмірне) негативно впливає на тривалість роботи каната. Недостатня кількість води призводить до перегріву та термічного пошкодження гумової заливки, а надмірна — спричиняє «замілювання» алмазного шару й зниження різальної здатності.

8. Встановлено необхідність системного підходу до контролю умов експлуатації алмазного каната. Запровадження моніторингу технологічних параметрів, діагностики форми зношування та аналізу відпрацьованих канатів дозволяє значно підвищити ефективність використання інструменту.

9. Результати дослідження мають практичне значення для підприємств каменеобробної галузі та можуть бути використані для:

- удосконалення технологічних режимів різання;
- вибору оптимальних конструктивних параметрів алмазних канатів;
- підвищення надійності та довговічності інструменту;
- зниження питомих витрат на розпилювання блоків природного каменю.

10. Комплексне врахування встановлених чинників дозволяє сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ресурсу алмазного каната, мінімізувати його зношування та забезпечити стабільність виробничого процесу.

Кучерук М.О., аспірантка, I курс, група ГРдф-1, ННМІ

Корнієнко В.Я., д.т.н., професор

Національний університет водного господарства та природокористування

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ТОРФУ

Торф є цінною корисною копалиною органічного походження, яка широко використовується у паливно-енергетичному комплексі, сільському господарстві, хімічній промисловості та як сировина для виготовлення різних матеріалів [1]. Ефективність його використання значною мірою залежить від вмісту вологи, тому процес зневоднення є одним із найважливіших етапів підготовки торфу до подальшого застосування.

Видобутий торф зазвичай містить 85–90 % вологи, що ускладнює його транспортування, сушіння і спалювання. Традиційно застосовують природне зневоднення під дією сонячної радіації та вітру, однак такий спосіб має низку недоліків — значні втрати під час сушіння, залежність від погодних умов, тривалість процесу та низьку однорідність кінцевого продукту. У зв'язку з цим актуальним завданням є удосконалення технологічних методів зневоднення торфу, що забезпечують зниження енерговитрат і підвищення якості готового продукту.

Одним із перспективних напрямів є використання механічного зневоднення у поєднанні з тепловим або електричним сушінням. Попереднє механічне зневоднення за допомогою шнекових або стрічкових пресів дозволяє знизити вологість торфу до 60–65 %, що значно скорочує витрати енергії на подальшу термічну обробку. Ефективність такого процесу підвищується за умови попередньої структурної підготовки торфу — подрібнення, диспергування та дозування сполучних добавок, які полегшують видалення води з капілярно-пористої структури матеріалу.

Іншим напрямом є використання низькотемпературного сушіння в псевдозрідженому шарі, яке забезпечує рівномірне прогрівання частинок і контрольоване видалення вологи без руйнування структури торфу. Такий метод дає можливість скоротити час сушіння на 25–30 % і знизити питомі енерговитрати. Додатково перспективним є впровадження сонячно-конвективних установок із комбінованими теплообмінними системами, що дозволяє використовувати відновлювані джерела енергії в технологічному циклі.

Аналіз наукових публікацій і виробничого досвіду торфодобувних підприємств свідчить, що впровадження комбінованих систем зневоднення дає змогу досягати вологості кінцевого продукту на рівні 35–40 %, підвищити продуктивність технологічних ліній на 20–25 % та зменшити площі сушильних полів. Такі рішення сприяють раціональному використанню енергоресурсів, зниженню втрат органічної маси та підвищенню екологічної безпеки виробництва [2].

Сучасні підходи до удосконалення процесів зневоднення торфу передбачають інтеграцію автоматизованих систем керування, що забезпечують моніторинг температури, вологості та швидкості руху повітря в сушильних установках. Це дозволяє оперативно регулювати параметри процесу відповідно до характеристик сировини, мінімізуючи втрати енергії. Використання цифрових технологій дає можливість створити адаптивні моделі сушіння, які враховують вміст мінеральних домішок, ступінь розкладу торфу та сезонні коливання температури.

Не менш важливою є екологічна складова удосконалення технологій зневоднення. Застосування енергозберігаючих установок, рекупераційних систем тепла та вторинного використання теплової енергії дозволяє суттєво зменшити викиди парникових газів. Оптимізація процесу сушіння також сприяє скороченню площі торф'яних полів, збереженню гідрологічного балансу територій та зниженню негативного впливу на довкілля [3].

Отже, удосконалення процесів зневоднення торфу має ґрунтуватися на поєднанні механічних, теплових і енергозберігаючих технологій із врахуванням фізико-хімічних властивостей торфу та регіональних кліматичних умов. Використання інноваційних підходів у цьому напрямі забезпечить раціональне використання природних ресурсів, підвищення ефективності видобутку та переробки торфу, а також екологічну стійкість торфодобувних підприємств.

Список використаної літератури:

1. V. S. Moshynskiy, L. M. Solvar, V. V. Semeniuk, M. O. Kucheruk // Resource-saving technologies of raw-material base development in mineral mining and processing : multi-authored monograph / reviewers: Mihaela Toderas, Jiang Li, Vadym Shchokin. Petroșani, Romania : UNIVERSITAS Publishing, 2020. P. 34–50.
2. Кучерук, М. О. (2022). Рекомендації з удосконалення сушіння торфу. Вісник НУБГП, 3(99), 21–30.
3. Рудика С. М., Кучерук М. О. Аналіз технології видобутку та переробки торфу на підприємствах Рівненської області (2022) // Студентський вісник НУБГП. – 2022. – 1(17). – С. 126–128.

**Лебеденко В.В., аспірант, 2 курс, ГР-24а,
Гірничо-металургійний факультет
Науковий керівник: Григор'єв Ю.І., канд. техн. наук, доцент,
Криворізький національний університет**

ДИНАМІЧНИЙ БОРТОВИЙ ВМІСТ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ МІНЕРАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ

Перманентне зростання глибини кар'єрів та, як наслідок, значне збільшення собівартості видобутку сировини, обумовлює необхідність залучення техногенних родовищ насипного типу до виробничого циклу. Ключовою проблемою при формуванні відвалів на сьогодні є безсистемний та хаотичний характер складування гірничої маси, що призводить до високої неоднорідності сировини. З точки зору управління ресурсами в умовах ринкової економіки, даний підхід обмежує гнучкість підприємства і не сприяє покращенню економічних показників.

Таким чином, доцільним є вдосконалення параметрів техногенного родовища за рахунок селективного складування — як при формуванні нового, так і при складуванні вже існуючого. Головні параметри техногенного родовища безпосередньо залежать від величини бортового вмісту. Пропонується визначити оптимальні параметри техногенного родовища із застосуванням методології динамічного бортового вмісту.

Існуючі методи визначення бортового вмісту, які використовуються у гірничій промисловості, інертні та нездатні швидко реагувати на зміни зовнішніх та внутрішніх економічних умов. Здебільшого вони базуються на концепції безбитковості. Отже, для адаптації до умов ринкової економіки та ефективного використання мінеральних ресурсів необхідно переглянути традиційні методи.

Метою даного аналізу є удосконалення методу визначення бортового вмісту при відпрацюванні залізрудних кар'єрів, що дозволить покращити параметри техногенних родовищ з подальшим залученням у виробничий цикл та максимізувати при цьому чисту приведену вартість (NPV) проєкту.

Методологічна основа даного дослідження базується на принципах тривимірної оптимізації бортового вмісту (за К. Лейном), яка, на відміну від класичного визначення бортового вмісту, враховує альтернативну вартість відкладеного видобутку сировини. Цей підхід дозволяє підприємству оперативно реагувати на динаміку цін.

Також даний метод підвищує ефективність керування рудопотоками та мінімізує ризики, щодо технологічних обмежень виробничого циклу. За сприятливої ринкової ситуації величина бортового вмісту знижується, забезпечуючи максимальне вилучення кондиційної сировини. У випадку обмеження потужностей фабрики сировина селективно складається, таким чином формуючи стратегічний резерв. Подібний підхід до управління, поєднаний із використанням динамічного бортового вмісту, дозволяє ефективно керувати складами, мінімізуючи ризики розuboжyвання та втрат при їхньому подальшому залученні до переробки.

План аналізу існуючих методів полягає у підготовці та теоретичному обґрунтуванні динамічної моделі визначення оптимального бортового вмісту, адаптованої до вимог ринкової економіки. Також, розвиток наявних підходів забезпечить стратегічне керування рудопотоками з урахуванням обмежень виробничих потужностей та дозволяє перейти до селективного формування складів. Очікується, що застосування моделі забезпечить розрахункове збільшення загальної NPV проєкту.

Теоретичний аналіз показує, що звичні підходи до визначення бортового вмісту, без урахування ринкової динаміки та альтернативних витрат, є економічно нераціональними щодо залучення техногенних родовищ у виробничий процес.

Запропонована методологія оптимізації бортового вмісту, заснована на критерії максимізації чистої поточної вартості (NPV), дозволяє розширити рентабельну мінерально-сировинну базу. Це забезпечує гірничо-збагачувальним комбінатам можливість гнучкого управління ресурсами та рудопотоками, а також подовження терміну експлуатації кар'єрів.

В подальших дослідженнях передбачається інтеграція запропонованого підходу щодо моделі динамічного бортового вмісту з передовими геостатистичними технологіями. Зокрема, планується використання умовного стохастичного моделювання, що дозволить кількісно оцінити геологічну невизначеність у існуючих техногенних родовищах.

Також подальші дослідження полягатимуть у встановленні взаємозв'язку між головними параметрами кар'єру та техногенного родовища. Це включає аналіз впливу динаміки цін на режим гірничих робіт (швидкості поглиблення, коефіцієнта розкриву) та економічну ефективність селективного формування техногенних родовищ з подальшим їх залученням до виробничого циклу. Такий підхід дозволить перейти до повноцінної оптимізації стратегії розвитку підприємства.

**Лук'яненко Т.С., здобувач освітнього ступеня «магістр»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ БУДІВЕЛЬНОГО ПІСКУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЯКОСТІ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

Стабільність якості бетонних сумішей є фундаментальною вимогою сучасного будівництва, що безпосередньо впливає на довговічність, надійність та економічність конструкцій. Серед усіх компонентів бетону, дрібний заповнювач (будівельний пісок) відіграє критичну роль, формуючи структурний каркас, що заповнює простір між зернами щебеню, та суттєво впливаючи на реологічні властивості суміші. Однак, на відміну від цементу чи хімічних домішок, пісок є природним матеріалом, якому притаманна значна мінливість характеристик, зокрема, гранулометричного складу. Ця мінливість є ключовим дестабілізуючим фактором у технології бетону, що вимагає глибокого теоретичного дослідження.

Гранулометричний склад піску, що описується такими показниками, як модуль крупності, повний залишок на ситах та вміст пилоподібних і глинистих частинок, є визначальним фактором для ключових властивостей бетонної суміші. Він безпосередньо впливає на водопотребу: збільшення частки дрібних фракцій різко підвищує сумарну питому поверхню заповнювача, що вимагає більшої кількості води для досягнення заданої рухливості (конуса осадки). Це, у свою чергу, призводить до зниження кінцевої міцності та морозостійкості бетону через збільшення водоцементного відношення [1].

Проблема полягає в тому, що традиційні методи проєктування складу бетону часто базуються на усереднених або паспортних даних гранулометрії піску, ігноруючи її неминучу мінливість. Джерелом цієї мінливості є як природна неоднорідність покладів у кар'єрі, так і технологічні аспекти видобутку та переробки (наприклад, ефективність роботи промивних установок). В результаті, фактичний склад піску, що надходить на бетонний вузол, може суттєво відхилятися від проєктного, що призводить до неконтрольованої зміни властивостей суміші від замісу до замісу.

Теоретичне завдання полягає у переході від констатації факту мінливості до її кількісного аналізу та прогнозування її впливу. Недостатньо знати середній модуль крупності; необхідно дослідити статистичні параметри його розподілу – дисперсію, стандартне відхилення та коефіцієнт варіації. Саме ці показники характеризують стабільність постачання сировини. Дослідження має на меті встановити кореляційний зв'язок між статистичними показниками мінливості гранулометрії піску та варіативністю ключових показників якості бетону (рухливість, міцність).

Для забезпечення стабільності якості бетону необхідна розробка моделі "чутливості" рецептури до змін у складі заповнювача. Наприклад, рецептура, оптимізована для піску з низькою дисперсією гранулометричного складу, може виявитися абсолютно нестійкою при використанні піску з тим же середнім модулем крупності, але високим коефіцієнтом варіації. Це вимагає введення поняття "робастності" складу бетону – його здатності зберігати задані властивості в умовах коливання характеристик сировини.

Методологічно, таке дослідження передбачає систематичний моніторинг гранулометричного складу піску з кар'єрів у динаміці, із застосуванням статистичного аналізу часових рядів. Отримані дані про мінливість (наприклад, частота та амплітуда відхилень вмісту дрібних фракцій) мають бути використані для лабораторного моделювання. Це дозволить кількісно оцінити, як конкретне відхилення у складі піску впливає на водопотребу та міцність бетону, та визначити критичні межі допустимої мінливості.

На основі таких досліджень стає можливим розробка адаптивних систем контролю якості. Замість реактивного підходу (коригування складу бетону "по факту" зміни рухливості), пропонується проактивний підхід. Отримавши дані вхідного контролю про гранулометрію нової партії піску, система, базована на розробленій моделі, може автоматично розрахувати необхідне коригування дозування води та пластифікатора ще до початку замісу, забезпечуючи стабільний вихідний продукт.

Таким чином, дослідження мінливості гранулометричного складу піску є ключовим для підвищення технологічної стабільності виробництва бетону. Воно дозволяє перейти від ідеалізованих лабораторних складів до реальних виробничих умов, мінімізувати ризики браку, знизити перевитрату цементу та хімічних домішок, і, як наслідок, забезпечити гарантовану якість та економічну ефективність бетонних сумішей.

Список використаної літератури:

1. Development of geopolymers concrete formulations based on activated stone processing sludge to reduce natural resource consumption / V. Shamrai et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 5, no. 6 (137). P. 41–48. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341720>.

Марчук А.П., магістр 2-го курсу, гр. РР-49м
Науковий керівник: Темченко А., к.т.н., проф.

Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ В УМОВАХ ТДВ «БЕРЕЗІВСЬКИЙ КАР'ЄР»

Оптимізація параметрів БВР на основі кумулятивних кривих гранулометричного складу для контролю частки негабариту й відсіву впливає на три ключові економіко-технічні показники: зниження собівартості видобутку, підвищення продуктивності екскавації та поліпшення ефективності дроблення.

Зниження собівартості видобутку гірської маси залежить від прямих та непрямих витрат БВР. Для раціоналізації буріння необхідно вибрати оптимальний розмір діаметру свердловин, схему їх розташувань та кут нахилу.

Щодо непрямих витрат, то найбільший економічний ефект досягається за рахунок зниження витрат на наступних етапах. Високоякісні БВР забезпечують оптимальну гранулометрію гірської маси, що зменшує необхідність повторного дроблення негабаритної породи. Що, у свою чергу, дозволяє економити паливо та енергію для екскаваторів, енергію для дробарок та витрати на ремонт, одночасно зменшуючи знос ковшів екскаваторів та знос дробарок.

В даній роботі було розглянуто модель Куз-Рама. Простота цієї моделі робить її найбільш використаною у світі. Модель Куз-Рама базується на трьох основних рівняннях.

Рівняння Кузнецова визначає середній розмір частинок розпушеної гірничої маси на основі кількості та об'ємів вибухової речовини, сили вибуху та коефіцієнта породи. Рівняння має наступний вигляд:

$$X_m = A \cdot K^{-8} \cdot Q^{1/6} \cdot \left(\frac{115}{RWS} \right)^{19/20} \quad (1)$$

де A – фактор породи; K – порошковий коефіцієнт, кг/м^3 ; Q – кількість ВР, яка потрібна для розміщення в свердловині, кг ; 115 – відносна потужність (RWS) тротилу порівняно з ANFO; RWS – відносна потужність (RWS) використаної вибухової речовини порівняно з ANFO.

Індекс однорідності визначає константу, яка відображає однорідність фрагментів, що підриваються, на основі конструктивних параметрів. Однорідність знаходиться за формулою:

$$n = \left(2,2 - \frac{14 \cdot B}{d} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{1 + S/B}{2} \right)} \cdot \left(1 - \frac{W}{B} \right) \cdot \left(\text{abs} \left(\frac{BCL - CCL}{L} \right) + 0,1 \right)^{0,1} \cdot \frac{L}{H} \quad (2)$$

де B – навантаження, м ; S – відстань між свердловинами, м ; d – діаметр свердловини, мм ; W – стандартне відхилення точності буріння, м ; L – довжина заряду, м ; BCL – довжина нижнього заряду, м ; CCL – довжина верхнього заряду, м ; H – висота уступу, м .

Рівняння Розіна-Рамлера характеризує фрагментаційний розподіл породи. Він точно відображає частинки розміром від 10 до 1000 мм .

$$R_x = \exp \left[-0,693 \cdot \left(\frac{x}{x_m} \right)^n \right] \quad (3)$$

де, R_x – масова частка, що пройшла через отвір сита, %; x – отвір сита, мм ; x_m – середній розмір частинок розпушеної гірничої маси, мм ; n – індекс однорідності.

Для проведення даного дослідження було проведено аналіз впливу буро-вибухових параметрів на фрагментаційний розподіл гірської маси за базовою моделлю Куз-Рама. Обраховані дані фрагментаційного розподілу представленні на Рис.1.

(мм)	(%)
10	2,07
20	4,21
30	6,35
40	8,48
50	10,58
100	20,59
200	37,81
408	63,21
600	77,56
800	86,70
1000	92,16
1400	97,31

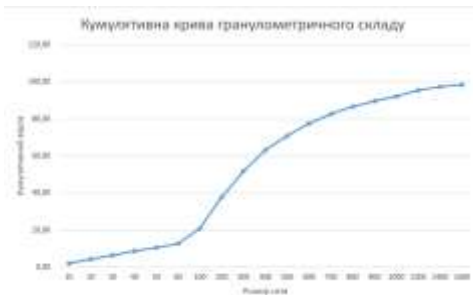


Рис. 1. Фрагментаційний розподіл гірської маси за базовою моделлю Куз-Рама

Вихід негабариту складає 7,84%. Для зменшення виходу негабариту розроблено оптимізацію буровибухових робіт, шляхом змаїни ВР з більшою відносною потужністю. Результат оптимізації буровибухових робіт представлений на Рис.2.

(мм)	(%)
10	2,63
20	5,31
30	7,97
40	10,58
50	13,13
100	25,05
200	44,61
400	70,18
600	84,13
800	91,61
1000	95,59
1400	98,80

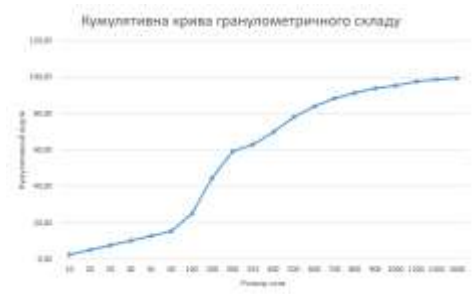


Рис. 2. Оптимізований фрагментаційний розподіл гірської маси за базовою моделлю Куз-Рама

За результатами помітно, зменшення виходу негабариту за рахунок зміни вибухової речовини на більш потужнішу. Дана методика є теоретичною, задача якої полягає у передбаченні фрагментаційного розподілу гірської маси, тому тема потребує подальших досліджень на практиці.

Микитенко С.В., аспірант
Кузнецов О.О., аспірант
Цигода В.В., к.т.н.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВИХ ПИЛ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗАННЯ КАМ'ЯНИХ ПОРІД

У каменеобробній промисловості процеси різання природного каменю відіграють ключову роль, оскільки визначають якість готової продукції, продуктивність технологічних ліній та загальні енерговитрати виробництва. Одним з основних інструментів для різання блоків і плит є дискові алмазні пили, ефективність роботи яких залежить від комплексу конструктивних характеристик полотна та режимних параметрів різання. Правильний вибір цих параметрів дає змогу суттєво підвищити ресурс інструмента, зменшити собівартість продукції та забезпечити стабільність технологічного процесу.

Конструкція дискової пилки визначається типом і товщиною сталевго корпусу, діаметром диска, формою та розташуванням сегментів, характеристиками алмазного шару та типом зв'язки. Важливим фактором є форма сегментів: прямі, трапецієподібні або турбінні сегменти по-різному впливають на видалення шламу, інтенсивність охолодження та стабільність різання. Турбінні сегменти забезпечують оптимальний відвід шламу та кращу вентиляцію, проте можуть підвищувати вібрації при роботі з твердими породами. Прямі сегменти забезпечують більш стабільний рез, проте гірше охолоджуються, що вимагає ретельного контролю водоподачі.

Алмазна зв'язка є ще одним ключовим елементом конструкції. М'яка зв'язка призначена для твердих і абразивних порід, оскільки вона швидше самооновлюється та відкриває нові алмазні зерна. Тверда зв'язка ефективна при різанні м'яких і середньотвердих порід, але потребує підвищених режимів навантаження для стабільної роботи. Невідповідність типу зв'язки оброблюваному матеріалу призводить до передчасного зношення сегментів або, навпаки, до їхнього «засалювання», що спричиняє перегрів інструмента та підвищене енергоспоживання.

Режимні параметри різання – швидкість обертання диска, швидкість подачі, глибина різку та інтенсивність охолодження – мають вирішальний вплив на ефективність процесу. Підвищення швидкості обертання сприяє покращенню якості поверхні, але одночасно збільшує теплове навантаження, що може призвести до деформації полотна. Оптимальний діапазон окружної швидкості для більшості промислових пил становить 25–35 м/с, що забезпечує рівномірне навантаження на сегменти та мінімізацію вібрацій.

Швидкість подачі має бути узгоджена зі швидкістю обертання, оскільки надто мала подача викликає перегрів сегментів, а надто велика – підвищує ризик ударних навантажень і руйнування алмазів. Дослідження показують, що оптимізація швидкості подачі дає змогу зменшити енерговитрати до 20–25 % та підвищити ресурс сегментів на 15–30 %.

Глибина різку також впливає на стабільність процесу. Збільшення глибини різку зменшує кількість проходів, підвищує продуктивність, але створює додаткові навантаження на сегменти та збільшує ризик виникнення вібрацій. Для гранітів оптимальна глибина різку становить 10–25 мм за один прохід, для мармурів – 20–40 мм залежно від потужності обладнання та характеристик сегментів.

Окрему увагу необхідно приділити системі охолодження. Нестача води може призвести до перегріву полотна, його деформації та формування мікротріщин. Надмірна водоподача погіршує видимість лінії різання та збільшує витрати води, не даючи суттєвого приросту ефективності. Оптимальним є режим, при якому температура сегментів не перевищує 200–250 °С протягом робочого циклу.

На ефективність різання значною мірою впливають вібрації, що виникають під час роботи. Вони можуть бути спричинені нерівномірністю розташування сегментів, неточною балансировкою диска або невідповідністю режимів різання властивостям породи. Підвищений рівень вібрацій зменшує точність різання, збільшує зношення сегментів та може призвести до руйнування диска. Тому конструкція пил повинна передбачати достатню жорсткість полотна, використання компенсаційних прорізів та спеціальних демпфуючих елементів, які зменшують рівень шуму й вібрацій при високих швидкостях.

Підсумовуючи, ефективність дискових пил у каменеобробній промисловості визначається комплексом конструктивних і режимних параметрів, кожен з яких відіграє вагомий роль у забезпеченні стабільності роботи інструмента. Раціональний підбір типу сегментів, алмазної зв'язки, швидкостей обертання і подачі, а також оптимальної системи охолодження дозволяє підвищити продуктивність, зменшити енерговитрати та забезпечити високу якість готової продукції. Врахування цих факторів дає можливість збільшити ресурс інструмента, знизити операційні витрати та забезпечити надійність технологічного процесу при різанні кам'яних порід різної твердості.

Мисенко Я.В., аспірант

Науковий керівник: Фролов О.О., д-р техн. наук, проф.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Продуктивність нафтових і газових свердловин визначається передусім тим, наскільки породи, що формують продуктивний пласт, мають пропускну здатність. Чим вища проникність порід у зоні впливу конкретної свердловини, тим більше нафти або газу вона здатна видобувати або приймати. Відповідно, за низької проникності спостерігається протилежний ефект.

У межах одного пласта проникність порід може значно відрізнятися між окремими ділянками. Трапляється так, що навіть за загальною гарною фільтраційною властивістю окремі свердловини потрапляють у зони з погіршеною проникністю, через що зменшується приплив вуглеводнів.

З плином часу під впливом різних чинників природна проникність порід також може погіршуватися. Наприклад, після закінчення буріння вибійної області часто забруднюються фільтратом глинистого розчину, який закупорює поровий простір і зменшує природну проникність. Під час експлуатації свердловин пори вибійної частини можуть забиватися парафіном, смолами чи дрібними частинками глини, що також ускладнює рух рідин і газів.

Поліпшити проникність у таких зонах можна за рахунок штучного розширення дренажних шляхів, збільшення кількості тріщин, а також очищення порових каналів від парафіну, смол та інших забруднень.

Методи підвищення проникності поділяють на хімічні, механічні, теплові та фізичні. Часто для досягнення ефективнішого результату їх комбінують або застосовують послідовно. Вибір оптимального методу залежить від характеристик конкретного пласта. Так, хімічні способи добре працюють у слабопроникних карбонатних породах та у пісковиках, цементованих карбонатними матеріалами.

Механічні методи переважно використовують у щільних породах, де необхідно збільшити тріщинуватість. Теплові – для видалення парафіну і смол зі стінок порових каналів або для посилення ефекту хімічної обробки. Фізичні – щоб усунути залишкову воду та найдрібніші тверді частинки, покращуючи рух нафти. Виконаємо короткий аналіз найвідоміших з методів.

Кислотна обробка свердловин. Цей метод базується на здатності кислот розчиняти певні різновиди гірських порід. Це сприяє очищенню і розширенню порових каналів, збільшенню проникності та, відповідно, підвищенню дебіту свердловини.

Найчастіше застосовують соляну (HCl) та фтористоводневу (HF) кислоти. Соляну кислоту використовують для карбонатних порід – вапняків, доломітів і доломітизованих вапняків, що формують продуктивні горизонти родовищ. Реакція HCl із карбонатами утворює хлориди кальцію та магнію, які добре розчиняються і не випадають в осад, тому після обробки легко видаляються разом із продукцією свердловини. Вуглекислий газ, що виникає під час реакції, також безперешкодно виходить на поверхню.

Під час кислотної дії HCl контактує з породою як на стінках свердловини, так і всередині порових каналів. Основний ефект забезпечується за рахунок очищення та розширення каналів, а також видалення мулистих і карбонатних відкладень. Іноді під впливом кислоти формуються вузькі канали каверноподібної форми, які збільшують зону дронування і дебіт свердловини. Через це кислотна обробка спрямована на максимальне проникнення розчину в пласт, покращення сполученості каналів і видалення дріб'язку.

Гідравлічний розрив пласта. Гідророзрив ґрунтується на тому, що під дією підвищеного тиску, створюваного закачуваною у свердловину робочою рідиною, у породі формуються та розширюються тріщини. Щоб після зниження тиску вони не закрилися, у щойно утворені порожнини подають спеціально підготовлений крупний пісок, який виконує роль розпірки. Такі тріщини забезпечують гідравлічний зв'язок між свердловиною та віддаленими, але продуктивними ділянками пласта, створюючи легкі шляхи для руху газу або нафти. Їх довжина всередині пласта інколи сягає десятків метрів, а заповнений піском простір товщиною 1-2 мм має дуже високу проникність.

Після проведення гідравлічного розриву пласта дебіт свердловини, як правило, значно зростає – інколи у кілька разів. Технологічна схема виконання робіт включає:

- ✓ подачу рідини, що створює розрив;
- ✓ закачування суміші, яка переносить пісок;
- ✓ продавлювання піску всередину тріщин наступною порцією рідини.

У більшості випадків одна й та сама рідина використовується і як рідина розриву, і як пісконосія, тому її часто називають рідиною розриву. Найчастіше застосовують два типи таких рідин: нафтопродукти та водні склади; інколи – нафтово-водні або кисло-нафтові емульсії.

Для нафтових свердловин зазвичай використовують загуслену нафту, мазут, дизпаливо, а також суміші нафтопродуктів зі спеціальними добавками. Під час вибору рідини визначальними є в'язкість, фільтраційні властивості та здатність утримувати зерна піску у зваженому стані.

Газогідродинамічний розрив пласта. Ця технологія полягає в тому, що у спеціальному приладі спалюється пороховий заряд, і енергія газів, які при цьому утворюються, створює потужний короточасний імпульс тиску. Він через перфораційні канали передається у пласт, провокуючи появу системи тріщин різного масштабу. Унаслідок такого впливу між свердловиною та віддаленою частиною пласта встановлюється розвинений гідродинамічний зв'язок, що приводить до зростання продуктивності.

Метод доцільно застосовувати в умовах, коли продуктивні горизонти сформовані щільними тріщинуватими вапняками, доломітами або малоглинистими пісковиками. Він ефективний як для видобувних, так і для нагнітальних свердловин.

Торпедування свердловин. Торпедування (перфорація) передбачає спуск у свердловину подовженого корпусу, в середині якого розміщена вибухова речовина (ВР), та його підрив у межах продуктивного інтервалу. Вибухом утворюється порожнина (каверна), а також система тріщин, що радіально відходять від свердловини, унаслідок чого збільшується її діаметр та покращується приплив нафти та газу.

Для заряджання торпед застосовують високобризантні ВР – тротил, тетрил, гексоген, нітрогліцерин, ТЕН, а також амоніти та динаміти.

Щоб уберегти обсадні труби від пошкодження, над зарядом установлюють рідку (нафта, вода, буровий розчин) або тверду (глина, пісок, цемент) пробку.

Перфораційні роботи з використанням вибуху зазвичай виконуються на геофізичному кабелі (каротажні роботи). Це найбільш дешевий і простий метод торпедування (перфораційних робіт). Він здатен вирішувати невеликий спектр задач, але дозволяє ефективно виконувати операції зі збільшення продуктивності свердловин. В горизонтальних свердловинах його сфера застосування обмежена.

За конструктивним принципом обладнання виділяють два різновиди перфораційних систем:

1) Кульова або торпедна перфорація є одним із найдавніших способів пробивання каналів, коли у пласт спрямовують металеві кулі або невеликі торпеди (рис. 1, а). Ефект від таких снарядів виявляється слабким: при проходженні крізь щільні породи вони швидко втрачають енергію, тому отвори виходять нерівномірними і малоєфективними. Однак, у минулому цей метод досить широко використовувався.

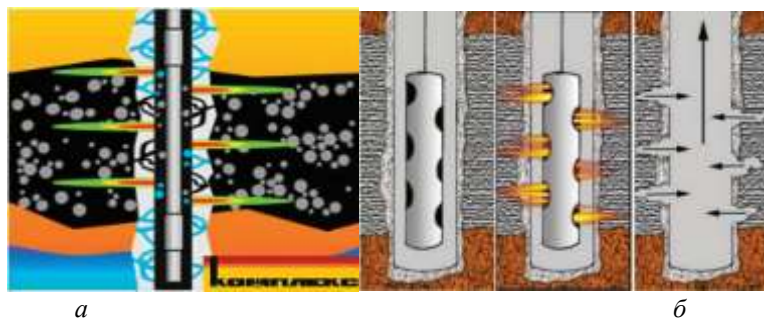


Рис. 1. Види перфораційних систем

2) Кумулятивна перфорація. У цьому виді отвори утворюються під дією кумулятивного струменя, який виникає під час спрацювання спеціальних зарядних елементів, розміщених у корпусі перфоратора. Метод вважається основним і найбільш поширеним завдяки поєднанню надійності та технологічної простоти. Однак він також має певні недоліки. Зокрема, кумулятивний струмінь ущільнює навколишню породу, погіршуючи її фільтраційні властивості, а висока температура та ударна хвиля додатково змінюють структуру вибійної частини пласта.

Теплова обробка вибійної зони. Тепловий вплив застосовують у випадках, коли видобувана нафта містить парафінові та смолисті компоненти. При зниженні температури їхня розчинність зменшується, і вони починають осідати на стінках труб, у фільтрах та у поровому просторі пласта, що погіршує фільтраційні властивості та знижує дебіт. Підвищення температури у вибійній зоні сприяє плавленню цих відкладень, і потік нафти виносить їх на поверхню. Внаслідок цього відновлюється прохідність порових каналів, зменшується в'язкість нафти і підвищується її рухливість у пласті.

Прогрівання здійснюють за допомогою електричних та газових нагрівачів, парових установок, гарячих нафтопродуктів або шляхом термохімічних реакцій. Введення гарячих рідин (нафти, дизпалива та ін.) зазвичай проводять без зупинки свердловинного насоса – нагріта рідина подається в затрубний простір, а розплавлений парафін відкачується разом з нафтою.

Отже, існуючі методи підвищення продуктивності нафтових і газових свердловин досить різноманітні, однак сфера їх застосування обмежується технологічною або економічною доцільністю. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на удосконалення окремих методів підвищення нафто- та газовіддачі.

Мітченко Д.В., Головний маркшейдер ПРАТ «ПВНГЗК»,
Аспірант, 3 курс, ГР-23а,
Гірничо-металургійний факультет
Науковий керівник: Долгих О.В., доцент, кандидат технічних наук
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ СКАНУВАННЯ НА ТОЧНІСТЬ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗСУВНИХ ПОВЕРХОНЬ

Наземне лазерне сканування на сьогодні є одним із найбільш ефективних методів моніторингу зсувних процесів, оскільки забезпечує високу щільність хмар точок, можливість багаторазового повторного знімання та порівняння стану поверхні у різний період. Водночас точність реконструкції рельєфу зони зсуву значною мірою залежить від геометрії сканування, яка визначає положення станцій зйомки, кут падіння лазерного променя на поверхню, перекриття хмар точок, ступінь деталізації та кількість тіньових ділянок. У складних геоморфологічних умовах, характерних для активних зсувних ділянок, ці фактори стають критично важливими, оскільки навіть незначні помилки в описі рельєфу можуть призвести до суттєвих похибок у визначенні напрямків та швидкостей зміщення.

Особливу роль у точності лазерного сканування відіграє кут падіння променя. При скануванні поверхонь під великими кутами до нормалі зростає еліпсоїдальність сліду лазера, що призводить до розмиття сигналу та зниження точності визначення координат. У зсувних зонах такі умови є типовими, адже поверхня характеризується складними обрисами, різкими перепадами висот, уступами відриву та нерівномірним нахилом. Внаслідок цього частина дрібних морфологічних деталей може бути втрачена або згладжена програмними алгоритмами, що спотворює реальну картину деформацій.

Відстань між сканером і поверхнею також істотно впливає на якість даних. Зі збільшенням дистанції зменшується щільність хмар точок і зростає шум вимірювань, що унеможливає ідентифікацію дрібних змін рельєфу. У практиці моніторингу зсувів важливо забезпечувати такий вибір позицій обладнання, за якого досягається достатня деталізація поверхні без необхідності надмірного збільшення кількості станцій. Невдале розташування лазерного сканера може створювати тіньові зони — ділянки, куди промінь не потрапляє через перешкоди рельєфу, рослинність або штучні об'єкти.

Важливою складовою польових робіт є правильне розміщення контрольних маркерів, які використовуються для реєстрації хмар точок у єдиній системі координат. Нерівномірний розподіл маркерів або їх концентрація в одному секторі можуть призвести до локальних деформацій моделі та помилок у визначенні положення поверхні. Оптимальною вважається геометрія, за якої маркери знаходяться на різних висотах та рівномірно розподілені навколо зони сканування. Це дозволяє забезпечити жорсткість мережі та мінімізувати вплив випадкових похибок на результати реєстрації.

Рослинність є додатковим фактором, що погіршує точність лазерного сканування. Листя, гілки та трава здатні частково поглинати та розсіювати лазерне випромінювання, внаслідок чого виникають хибні точки або шумові артефакти. Особливо це критично для зон, де зміни в сантиметровому або міліметровому діапазоні можуть свідчити про початок активного зсувного процесу.

Перед початком польових робіт доцільно виконати попередній аналіз топографії території, що дозволяє визначити оптимальні місця встановлення сканера та прогнозувати можливі тіньові ділянки. Для цього можуть застосовуватися цифрові моделі рельєфу, супутникові знімки або попередні результати досліджень. Складні та розгалужені зсувні системи інколи вимагають каскадної організації станцій, розташованих на різних висотних рівнях, що дозволяє детально зафіксувати поверхні відриву, тіла зсуву та зони накопичення.

У багатьох випадках ефективною є інтеграція наземного лазерного сканування з даними, отриманими за допомогою безпілотних літальних апаратів. БПЛА дозволяють знімати ділянки, недоступні з землі, а їх комбінація з TLS забезпечує формування більш повної моделі рельєфу. Водночас поєднання таких даних вимагає точної реєстрації в єдиній системі координат, що досягається за допомогою GNSS-вимірювань або наземних контрольних точок.

Після польового етапу важливе значення має обробка хмар точок. На цьому етапі використовуються алгоритми фільтрації шуму, реєстрації даних з різних станцій, інтерполяції поверхонь і визначення зміщень. Неправильно вибрані параметри цих процедур можуть спричинити помилки інтерпретації, зокрема згладжування реальних деформацій. Тому обробка даних повинна здійснюватися з урахуванням особливостей геометрії сканування, що передувала.

Таким чином, геометрія сканування є одним із ключових чинників, що визначають точність реконструкції зсувних поверхонь та достовірність отриманих результатів щодо характеру й динаміки деформацій. Оптимальне планування позицій сканування, коректне розміщення маркерів, забезпечення достатнього перекриття хмар точок, а також попередній аналіз рельєфу здатні суттєво знизити похибки та підвищити якість тривимірних моделей. У поєднанні з сучасними методами обробки даних це дозволяє покращити моніторинг активних зсувних ділянок та забезпечити більш точне прогнозування розвитку небезпечних геодинамічних процесів.

**Назаров Р.А., аспірант, 1 курс, група ГР-25а,
Гірничо-металургійний факультет
Науковий керівник: Долгіх О.В., доцент, кандидат технічних наук
Криворізький національний університет**

ПРОБЛЕМА ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНИХ СКАНЕРІВ В КАР'ЄРАХ КРИВОРІЖЖЯ

Сучасні технології маркшейдерського контролю відіграють ключову роль у гірничодобувній промисловості, де точність вимірювань визначає ефективність виробничих процесів та безпеку робіт. Одним із найбільш перспективних методів є лазерне сканування, яке забезпечує високоточне отримання тривимірних моделей кар'єрного простору, дозволяє оперативно контролювати обсяги видобутку та прогнозувати ризики обвалів. Однак, попри очевидні переваги, впровадження лазерних сканерів у кар'єрах супроводжується низкою проблем, пов'язаних із складними умовами експлуатації, високою вартістю обладнання та необхідністю обробки великих масивів даних. Це зумовлює актуальність дослідження не лише переваг, а й обмежень даної технології та пошуку шляхів їх подолання.

Основними перевагами використання технології лазерного сканування є:

- Висока точність вимірювань. Лазерні сканери забезпечують високу точність (особливо якщо ми говоримо про стаціонарні сканери, які встановлюються на штативі).
- Швидкість збору даних. Сканування займає набагато менше часу, ніж класичні топографічні зйомки і дає можливість оперативного контролю обсягів видобутку та змін рельєфу.
- Безконтактність та безпека. Можливість роботи з важкодоступними ділянками, тому що дані збираються дистанційно і не потребують перебування робітників в небезпечних зонах для збору даних.
- Повнота інформації. В результаті сканування отримується хмара точок, яка містить детальну інформацію про поверхню і дає можливість створювати детальні 3D-моделі кар'єрного простору. Таким чином з'являється можливість детального аналізу укосів, об'ємів, тріщин та інших характеристик.
- Автоматизація та інтеграція. Легке поєднання з різними ПС та CAD-системами. Можливість використання отриманої інформації при плануванні гірничих робіт та моніторингу небезпечних ділянок.

Але, не дивлячись на суттєві переваги, метод не позбавлений недоліків, що впливають на його практичне застосування.

Одним з основних таких недоліків є проблема точності прив'язки 3D-моделі до системи координат кар'єру. Лазерне сканування створює хмару точок у власній локальній системі координат сканера. Для використання цих даних у виробничих процесах необхідно виконати трансформацію моделі в єдину систему координат кар'єру (наприклад, місцеву або державну геодезичну систему). Для такої трансформації необхідно мати в достатній кількості опорні точки, розташовані в зоні сканування. Через складні умови кар'єру (пил, обмежена видимість) може утворюватись похибка при визначенні координат контрольних маркерів. Якщо кар'єр великий, то сканувати його доведеться в декілька етапів, а поєднання декількох сканів в один веде до накопичення похибки.

Іншими недоліками, які потрібно враховувати, є:

- Пил та атмосферні умови (дощ, сніг, туман). Ці фактори суттєво впливають на якість сканування, знижуючи точність відбитого сигналу (пил та опади можуть розпізнаватись сканером як об'єкти і можуть створювати «шуми» на хмарі точок). При сильному впливі цих факторів сканування стає взагалі неможливим.
- Віб्राції та рух техніки. Сканери, встановлені на рухомих платформах (наприклад, автомобілях), можуть давати похибки через вібрації. Також, всі рухомі об'єкти які попали в зону сканування, створюють «шуми», які доведеться прибирати з хмари точок в програмному забезпеченні.
- Безпека та доступність. Деякі ділянки кар'єру небезпечні для розміщення сканера (обвали, круті укоси). Треба це враховувати, встановлюючи сканер поблизу них.
- Вартість та обслуговування. Обслуговування та калібрування потребують суттєвих витрат.
- Обробка великих обсягів даних. Сканування кар'єру створює великі хмарні моделі точок, які потребують потужних комп'ютерів та спеціального ПЗ для обробки.

Тому, лазерний сканер це лише один з інструментів маркшейдерської служби, що використовується поряд із традиційними методами та іншими сучасними технологіями для забезпечення точності вимірювань. При виборі моделі сканера необхідно спиратись на такі умови, що стоїть в пріоритеті – точність, мобільність чи необхідність в охопленні великих площ і доступ до небезпечних зон. За таких умов сканери діляться на:

- Стаціонарні (на штативі). Найбільш точні і забезпечують високу детальність зйомки, але потребують переміщення.
- Ручні (оператор носить сканер в руках чи закріпленим на рюкзаку). Забезпечують меншу точність, але більш зручні у користуванні.
- Автомобільні. Забезпечують високу продуктивність, але складні в налаштуванні та мають високу вартість.
- Дронові. Дають можливість виконувати сканування небезпечних зон, але БПЛА, на яких вони змонтовані, більш залежні від погодних умов та мають обмежений час польоту.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Сучасна будівельна галузь проходить етап глибокої трансформації, що зумовлена цифровізацією, підвищенням вимог до якості та точності, збільшенням складності об'єктів і необхідністю забезпечення безпеки робіт. Геодезичне забезпечення стає фундаментальною частиною цього процесу, оскільки саме воно гарантує точність просторових параметрів, відповідність проєктним рішенням та оперативний контроль змін на будівельному майданчику. У цих умовах особливої актуальності набуває впровадження сучасного геодезичного обладнання, яке значно підвищує ефективність робіт, мінімізує ризики та створює умови для автоматизованого будівництва.

Однією з найважливіших технологій у геодезії сьогодні є системи супутникового позиціонування GNSS, які працюють з глобальними навігаційними системами GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou. Використання режимів RTK та PPK дозволяє забезпечувати сантиметрову точність у реальному часі, що є критично важливим для швидкого виконання розбивочних робіт, контролю земляних робіт, будівництва доріг та лінійних об'єктів. Ці системи вирізняються високою продуктивністю, можливістю роботи за будь-яких погодних умов і мінімальною залежністю від людського фактору. У перспективі GNSS-технології поєднуюватимуться з інерціальними системами та алгоритмами штучного інтелекту, що дозволить досягти стабільності вимірювань у складних умовах міської забудови та створить передумови для повної інтеграції з автоматизованою будівельною технікою.

Важливе місце у сучасній геодезії займають роботизовані тахеометри, що поєднують високу точність та можливість автоматичного наведення. Ці прилади значно зменшують частку ручної праці та дозволяють виконувати вимірювання з точністю до міліметра. Вони є незамінними у розбивці будівельних осей, монтажі конструкцій, контролі деформацій та перевірці відповідності проєктних даних. Роботизовані тахеометри здатні працювати у безперервному моніторинговому режимі, забезпечуючи цілодобовий контроль стану мостів, висотних споруд або об'єктів, що зводяться в сейсмонезбезпечних чи геологічно складних умовах. Перспективою розвитку є створення повністю автоматизованих геодезичних постів, які працюватимуть без участі людини та передаватимуть дані у реальному часі до цифрових моделей.

Технологія лазерного 3D-сканування відкрила новий рівень точності та деталізації геодезичних робіт. Завдяки можливості отримувати мільйони точок за секунду лазерні сканери дозволяють створювати детальні цифрові копії об'єктів, що необхідно для реконструкції, реставрації, інженерного аналізу, оцінки деформацій та створення цифрових двійників. Використання сканерів особливо актуальне при роботі зі складними архітектурними формами, історичними пам'ятками та промисловими спорудами. Мобільне та авіаційне лазерне сканування розширює можливості технології, дозволяючи виконувати зйомку великих територій за короткий час. Машинне навчання та автоматизована класифікація хмари точок стають невід'ємною частиною майбутнього розвитку цієї технології.

Значний потенціал у сучасному будівництві мають безпілотні літальні апарати, оснащені високоточними камерами або LIDAR-системами. Завдяки швидкості та безпечності вони дозволяють виконувати топографічну зйомку, створювати ортофотоплани, будувати цифрові моделі рельєфу та здійснювати регулярний моніторинг темпів будівництва. Особливо ефективними дрони є під час контролю великих площ, кар'єрів, дорожніх об'єктів та небезпечних зон. У майбутньому БПЛА працюватимуть у повністю автоматизованому режимі, інтегруючись із хмарними сервісами та інформаційними моделями BIM.

Цифрові нівеліри також відіграють важливу роль, забезпечуючи високу точність визначення висотних відміток та мінімізуючи помилки оператора. Вони використовуються при будівництві житлових і промислових будівель, мостів, транспортних розв'язок та інженерних мереж. Інтеграція з цифровими журналами та автоматичним передаванням даних робить їх складовою цифрових геодезичних процесів.

Усе сучасне геодезичне обладнання дедалі тісніше інтегрується з BIM-технологіями. Цей напрям стає визначальним, оскільки дозволяє забезпечити зв'язок між фактичним і проєктним станом об'єкта, підвищуючи точність будівництва та спрощуючи контроль якості. Геодезичні дані стають основою для створення цифрових двійників споруд, а автоматизовані системи контролю дозволяють здійснювати аналіз відхилень у режимі реального часу. Водночас розвиток штучного інтелекту сприятиме автоматичній інтерпретації результатів вимірювань, що значно розширить можливості геодезиста як аналітика.

Таблиця 1.

Порівняльна таблиця технологій

Технологія	Точність	Швидкість роботи	Застосування	Основні переваги
GNSS RTK/PPK	1–2 см	Дуже висока	Дороги, земляні роботи, лінійні об'єкти	Швидкість, автономність
Роботизований тахеометр	1–2 мм	Висока	Розбивка, монтаж, деформації	Автоматизація, точність
3D-лазерний сканер	1–3 мм	Середня	ВІМ, реконструкція	Деталізація, цифрові моделі
БПЛА (оптика/LIDAR)	2–5 см	Дуже висока	Топографія, моніторинг	Охоплення площ, безпека
Цифрові нівеліри	0.3 мм/км	Середня	Висотні роботи	Надвисока точність

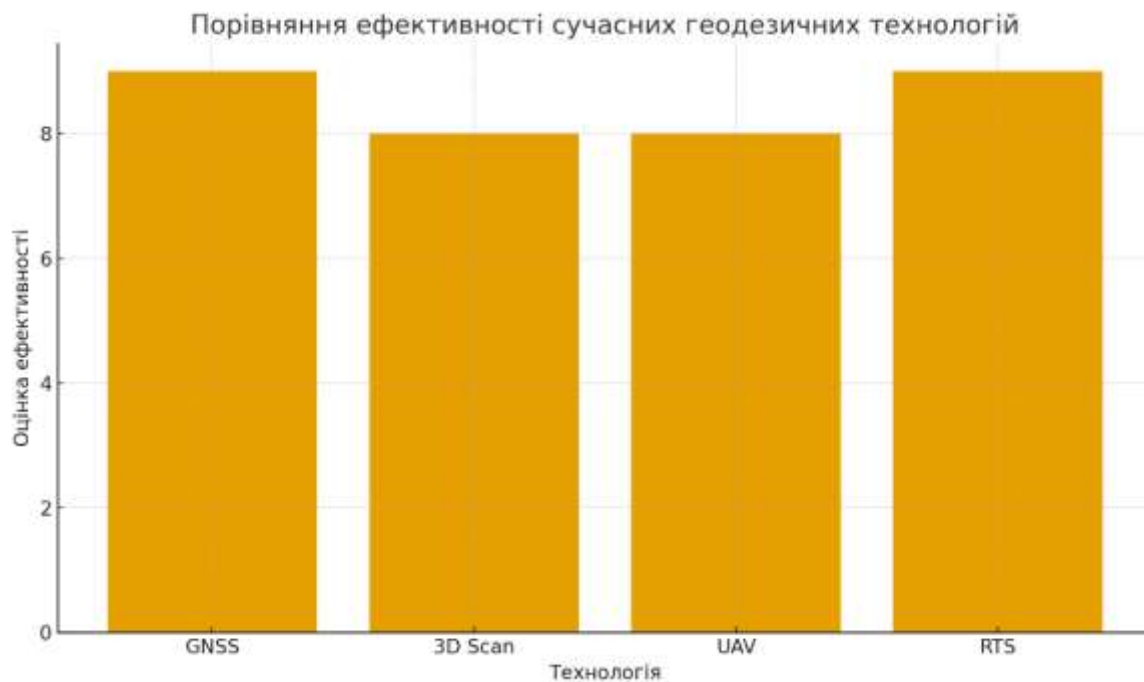


Рис. 1. Діаграма порівняння ефективності технологій

Використання сучасного геодезичного обладнання формує нову якість будівельних процесів. Інноваційні технології дозволяють підвищити точність та швидкість робіт, мінімізувати ризики та знизити вплив людського фактору. Вони забезпечують можливість автоматизованого моніторингу конструкцій, інтеграції даних із ВІМ-моделями та створення цифрових двійників об'єктів. У перспективі геодезичні системи ставатимуть більш автономними, інтелектуальними та взаємопов'язаними, а роль геодезиста дедалі більше зміщуватиметься в бік цифрової аналітики та управління даними. Сучасне геодезичне забезпечення є не просто інструментом, а ключовою частиною стратегії розвитку будівельної галузі.

Николаєнко І. В., студент III курсу

Горба Д. В., студент III курсу

Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСКАВАТОРНИХ РОБІТ: ПОРІВНЯННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Ефективне планування роботи кар'єрних екскаваторів є критично важливим для будь-якого гірничодобувного підприємства. Від точності прогнозу продуктивності залежить планування всього логістичного ланцюга: робота автосамоскидів, дробильно-сортувальних комплексів та виконання контрактів на поставку.

Проблема полягає в тому, що традиційні методи планування часто дають значну похибку. Вони базуються на усереднених "паспортних" або нормативних показниках, які не враховують реальних, мінливих умов на кар'єрі. Штучний інтелект (ШІ) пропонує інструменти для створення *динамічних* моделей, що враховують десятки факторів у режимі реального часу, та дають значно точніший прогноз.

Мета роботи – порівняти точність традиційних методів прогнозування продуктивності екскаваторів з сучасною моделлю на базі штучного інтелекту та довести переваги останньої для оперативного управління роботами.

Існує два кардинально різні підходи до прогнозування продуктивності.

Перший – це традиційний (нормативний) метод. Його суть полягає в розрахунку продуктивності (П) за формулами, що базуються на паспортній ємності ковша (V_k), середньому часі циклу (T_c), коефіцієнті заповнення ковша (k_z) та коефіцієнті розпушення породи. Ці показники беруться з довідників і є усередненими. Проблема цього методу в тому, що він статичний і не враховує реальні умови "тут і зараз". Він ігнорує такі критичні фактори, як геологія (чи є порода міцнішою на цій ділянці?), якість БПР (чи є негабарити?), кваліфікація оператора (досвідчений чи новачок?) та реальний стан машини (чи не зношені зуби ковша?). Як результат, план на зміну може бути 500 т, а факт – 350 т, що створює дисбаланс та призводить до простою самоскидів.

Другий – це метод на основі штучного інтелекту (машинного навчання). Тут створюється математична модель (наприклад, нейронна мережа), яка "навчається" на реальних історичних даних з кар'єру. Модель аналізує дані з IoT-сенсорів екскаватора (тиск в гідравліці, вага в ковші, витрата палива, фактичний час кожного циклу), дані про кар'єр (тип породи, якість вибуху) та людський фактор (ID оператора). Перевага цього методу в тому, що модель є *динамічною* і оновлює прогноз у реальному часі. Наприклад, якщо ШІ бачить, що у досвідченого оператора на міцній породі раптом зріс час циклу, він миттєво скоригує прогноз і може навіть попередити про можливу поломку.

Для порівняння точності обох підходів було проведено моделювання на реальних даних гранітного кар'єру.

Таблиця 1.

Порівняння точності прогнозування

Параметр	Традиційний метод	ШІ-модель
Підхід	статичний (усереднені норми)	динамічний (реальні дані)
Основні вхідні дані	паспортна ємність ковша, середній час циклу	реальний час циклу, тиск в гідравліці, якість БПР, оператор
Адаптивність	немає. Прогноз однаковий для будь-яких умов.	висока. Прогноз змінюється кожні 5-10 хвилин.
Середня похибка	30-40%	< 5%
Коефіцієнт R^2 (точність)	~ 0.3 (дуже низька)	~ 0.93 (дуже висока)

Наочно різницю в точності показує графік (Рис. 1), де прогнози обох методів накладені на реальні дані видобутку.

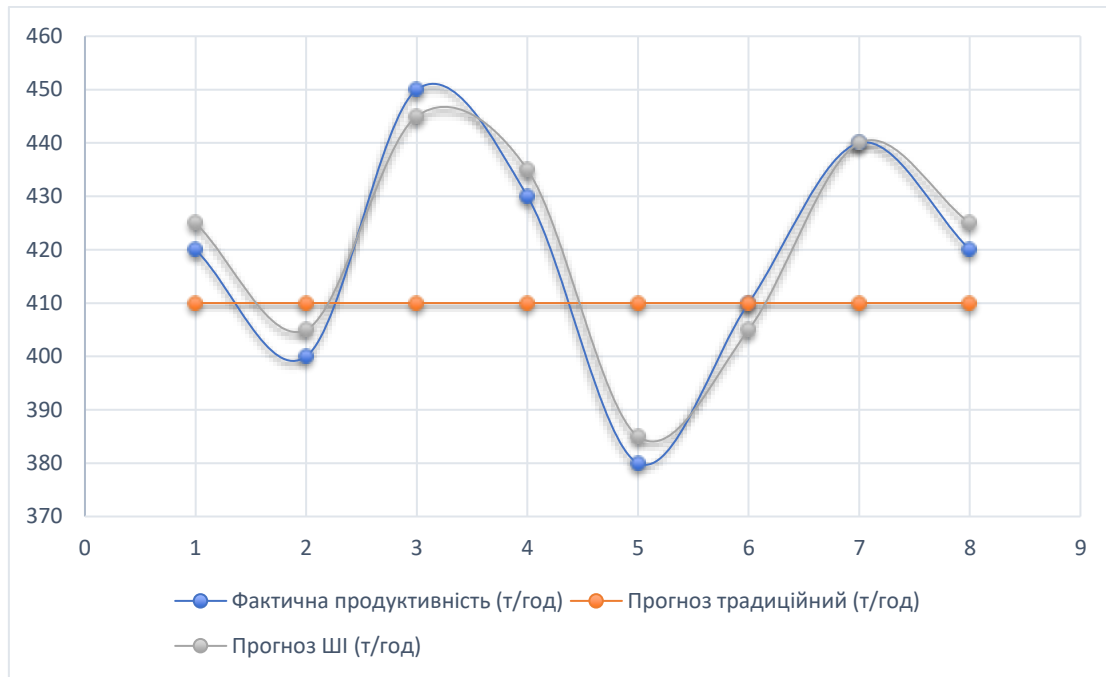


Рис. 1. Порівняння фактичної продуктивності (синя лінія) з прогнозом традиційним методом (сіра пунктирна лінія) та прогнозом ШІ (зелена пунктирна лінія)

Як видно з діаграми, традиційний метод дає лише загальну усереднену лінію, тоді як прогноз ШІ майже ідеально повторює реальні коливання продуктивності.

Впровадження ШІ-моделі дає конкретні переваги. По-перше, це точне планування: диспетчер бачить реалістичний прогноз видобутку на зміну і точно знає, скільки потрібно самоскидів. По-друге, оптимізація витрат на БПР: модель може прорахувати: "Якщо ми витратимо на 10% більше на вибухівку (і отримаємо дрібнішу фракцію), продуктивність екскаватора зросте на 20%". Це дозволяє знайти економічний баланс. По-третє, прогнозування поломок: якщо ШІ бачить, що продуктивність впала, хоча всі умови (порода, оператор) хороші, – це сигнал для механіка перевірити машину (наприклад, зношеність ковша).

Як висновки потрібно зазначити, що традиційні нормативні методи прогнозування продуктивності є статичними та неточними (похибка 30-40%) для оперативного управління, оскільки вони не враховують реальні гірничо-геологічні та технічні фактори. Застосування ШІ (нейронних мереж) дозволяє створити динамічну модель, що аналізує дані з сенсорів та геології в реальному часі і забезпечує високу точність прогнозу (похибка < 5%). Впровадження ШІ-прогнозування дозволяє оптимізувати суміжні процеси (буропідривні роботи, роботу транспорту), знизити час простоїв та зменшити собівартість видобутку.

**Ніконов І.О., здобувач освітнього ступеня «магістр»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПУЛЬПИ ТИТАНО-ІЛЬМЕНІТОВИХ ПІСКІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ОПТИМІЗАЦІЮ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Гідравлічний транспорт є ключовою технологічною операцією у схемах збагачення титано-ільменітових пісків, забезпечуючи переміщення значних обсягів руди між операціями подрібнення, класифікації та сепарації. Ефективність, надійність та енергоспоживання систем гідротранспорту безпосередньо залежать від гідродинамічних параметрів потоку. Проте, пульпа титано-ільменітових пісків становить собою складну гетерогенну суспензію, що характеризується високою густиною твердих частинок (ільменіт, рутил, циркон) та схильністю до швидкого осадження. Це вимагає глибокого теоретичного дослідження реологічних властивостей пульпи для науково обґрунтованої оптимізації параметрів транспортування.

Теоретична проблема полягає в тому, що пульпа важких мінералів не підкоряється законам течії простих ньютонівських рідин. Вона демонструє складну неньютонівську поведінку, де в'язкість не є константою, а залежить від градієнта швидкості зсуву. Більше того, така пульпа часто характеризується наявністю початкової напруги зсуву (yield stress) – мінімального зусилля, яке необхідно прикласти для початку течії. Ці реологічні характеристики (ефективна в'язкість, напруга зсуву) є функціями багатьох змінних: концентрації твердої фази (густини пульпи), гранулометричного складу пісків та, меншою мірою, хімічного складу середовища.

Ідентифікація коректної реологічної моделі є першочерговим завданням. Для суспензій такого типу найбільш імовірними є моделі Бінгама (Bingham plastic) або Гершеля-Балклі (Herschel-Bulkley). Модель Бінгама описує рідину з початковою напругою зсуву та постійною пластичною в'язкістю, тоді як модель Гершеля-Балклі є більш загальною, враховуючи як початкову напругу, так і ступеневу залежність в'язкості від швидкості зсуву. Неправильний вибір реологічної моделі призводить до фундаментальних помилок у розрахунках гідравлічного опору та критичних швидкостей.

Ключовим параметром, що визначає стабільність гідравлічного транспорту важких пісків, є критична швидкість потоку. Це мінімальна середня швидкість, при якій тверді частинки ще не починають осідати на нижній стінці трубопроводу. Критична швидкість безпосередньо залежить від реологічних властивостей пульпи: вища в'язкість та наявність початкової напруги зсуву сприяють утриманню частинок у завислому стані, потенційно знижуючи критичну швидкість. Однак, надто висока в'язкість водночас різко збільшує гідравлічний опір.

Таким чином, завдання оптимізації постає як пошук компромісу між двома конкуруючими факторами: ризиком осадження та енерговитратами. Експлуатація системи на швидкостях, значно вищих за критичну, гарантує відсутність замулення труби, але призводить до надмірних енерговитрат через високі втрати на тертя (гідравлічний опір) та прискорене абразивне зношення трубопроводів і насосного обладнання.

З іншого боку, експлуатація на швидкостях, близьких або нижчих за критичну, несе в собі катастрофічний ризик. Осадження важких мінералів на дні труби (замулення або "sanding") призводить до прогресуючого зменшення ефективного перерізу трубопроводу, лавиноподібного зростання опору, перевантаження насосів і, зрештою, до повної зупинки системи. Це вимагає дороговартісного та тривалого процесу очищення лінії.

Отже, теоретичне дослідження реології титано-ільменітових пульп має на меті розробку математичної моделі, що пов'язує фундаментальні характеристики (концентрацію, гранулометрію) з реологічними параметрами (в'язкість, напруга зсуву). Ця модель, у свою чергу, є вхідними даними для гідродинамічних розрахунків, що дозволяють точно визначити критичну швидкість та гідравлічний опір для конкретних умов (діаметр труби, продуктивність).

Кінцевою метою такого дослідження є розробка науково обґрунтованих номограм або програмного забезпечення для оперативного управління процесом гідротранспорту. Це дозволить підтримувати оптимальний режим, що балансує на межі мінімально допустимої швидкості, забезпечуючи максимальну енергоефективність при нульовому ризику аварійного осадження твердої фази.

Список використаної літератури:

1. Rojas J., Verde C., Torres L. Estimation of Hydraulic Gradient for a Transport Pipeline. *Journal of Pressure Vessel Technology*. 2020. Vol. 143, no. 3. URL: <https://doi.org/10.1115/1.4048322>

Остапчук А.О., аспірант
Науковий керівник: Фролов О.О., д-р техн. наук, проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАПОБІЖНИХ ЦІЛИКІВ ПРИ ВІДРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН В НЕРОБОЧИХ БОРТАХ КАР'ЄРІВ

При досягненні граничного коефіцієнта розкриття, коли подальша розробка родовища відкритим способом стає економічно недоцільною, в надрах зазвичай ще залишаються значні обсяги невиданих запасів корисних копалин. Одним з напрямків їхнього виймання є відробка прибортових запасів шляхом застосування технології безлюдного видобутку, в основі яких закладені принципи застосування бурових агрегатів різної конструкції без присутності людини безпосередньо у вибої. Розробка таких запасів дозволить збільшити ступінь виймання корисних копалин та підвищити ефективність освоєння родовища.

Для відробки запасів в бортах кар'єру найбільш доцільним є застосування безлюдної технології виймання з відкритих виробок, в основі якої закладено принципи руйнування корисних копалин агрегатами з буровим або ріжучим виконавчим органом (типу Highwall). Видобуток комплексами Highwall широко використовується в США, Австралії, Індонезії та інших країнах світу.

До параметрів, які визначають можливість безпечного і економічно ефективного застосування систем Highwall, належать:

- стійка ширина покрівлі виїмкових камер;
- ширина міжкамерних ціликів;
- ширина міжблокових ціликів;
- відстань між міжблоковими ціликами.

Дослідним шляхом встановлено, що розміри міжкамерних ціликів знаходяться в прямій залежності від ширини виїмкових камер, а також їх довжини і вимагають врахування наступних обмежень:

- виймання породи в камері не повинно перевищувати часу збереження стійкості оголень покрівлі;
- зміщення порід покрівлі під час перебування виїмального модуля в камері не повинні перевищувати їх допустимих критичних значень;
- ресурс працездатності виїмального органу повинен бути більше часу відпрацювання камери.

У виїмальних камерах (рис. 1) процес руйнування покрівлі відбувається шляхом відриву або зсуву (зрушення і відриву) і далі вигину її шарів. Характеристики міцності параметрів, від яких залежать ці руйнування, в тій чи іншій мірі, пропорціональні міцності масиву на стиснення.



Рис. 1. Виїмальні камери і міжкамерні цілики

Стійку ширину покрівлі камери $B_{ст}$ з урахуванням глибини виробки, можна визначити за формулою:

$$B_{ст} = (0,025 \dots 0,035)(1 - 0,2\gamma H / \lambda \sigma_{ст.зр}) \lambda \sigma_{ст.зр} / \gamma, \text{ м} \quad (1)$$

де γ – питома вага порід, МН/м^3 ; $\sigma_{ст.зр}$ – міцність монолітного лабораторного зразка породи на одноосове стиснення, МН/м^2 ; λ – коефіцієнт структурного ослаблення масиву, який визначається як відношення мінімальної міцності масиву до міцності монолітного лабораторного зразка на одноосове стиснення; H – глибина розміщення виїмальної камери, м.

Якщо відсутні точні відомості про стійкість покрівлі на проектній ділянці, то стійку ширину покрівлі камери $B_{ст}$ можна визначити за формулою:

$$B_{ст} = (0,025 \dots 0,035) \lambda \sigma_{ст.зр} / \gamma, \text{ м.} \quad (2)$$

Висота обвалення покрівлі ($h_{об}$) визначається:

$$h_{об} = (B_k - B_{ст}) / 2 \operatorname{tg} \varphi_{об}, \text{ м,} \quad (3)$$

де B_k – ширина камери, м; $\varphi_{об}$ – кут обвалення порід, рівний 15-25°. Для міцності масиву менше 5 МПа – 15°, від 5 до 10 МПа кут обвалення збільшується на 2° на кожний один МПа, більше 10 МПа – 25°.

У випадках, коли над корисною копалиною безпосередньо залягають нестійкі породи (псевдо) покрівлі або по розрахунку тимчасовий стійкий проліт менше ширини камери необхідно залишити захисні пачки корисних копалин. Товщина захисної пачки в залежності від потужності нестійкої псевдопокрівлі ($h_{л.к.}$) і ширини камери визначається за формулою:

$$h_{зак} = (k \cdot \gamma \cdot B_k^2 / 4 \cdot \sigma_p) + \left[(k \cdot \gamma \cdot B_k^2 / 4 \cdot \sigma_p)^2 + \gamma_{л.к.} \cdot h_{л.к.} \cdot B_k^2 \right]^{0,5}, \text{ м,} \quad (4)$$

де k – коефіцієнт, що визначає положення пласта в просторі (не менше 0,3):

$$k = \cos \theta \cdot \sin \alpha; \quad (5)$$

де θ – кут між віссю простягання пласта і направленням камери, град; α – кут падіння пласта, град; γ – об'ємна вага корисної копалини; $\gamma_{л.к.}$ – об'ємна вага нестійкої (псевдо) покрівлі; $h_{л.к.}$ – потужність породи нестійкої (псевдо) покрівлі, м; σ_p – міцність породи в масиві на розтягнення.

Початкову товщину захисної пачки необхідно приймати не менше 1,0 м. В подальшому можна дослідним шляхом встановити її мінімально допустиму товщину.

Ширина міжкамерних ціликів повинна бути такою, щоб виключалося їхнє передчасне руйнування, тобто вони повинні деформуватися тільки після закінчення проведення другої від цілика виймальної камери. В цьому випадку при проведенні чергової виймальної камери, попередня пройдена камера повинна знаходитися ще в стійкому стані, а міжкамерний цілик на межі з виробленим простором не повинен бути зруйнований. При забезпеченні таких умов будуть відсутні аварійні ситуації під час проходження виймальних камер.

У загальному випадку розрахунок ціликів на практиці рекомендується здійснювати на основі методів, використовуваних при визначенні параметрів камерної системи розробки пластів вугілля відкрито-підземним способом. Ширина міжкамерних ціликів може прийматися на рівні 1/3 або 1/2 від виймальної потужності пласта. Однак, мінімальна ширина міжкамерного цілика (з досвіду) повинна складати 1 м.

Максимальна ширина міжкамерного цілика залежить від міцності порід, глибини відпрацювання пласта, його потужності і визначається з умови забезпечення стійкості:

$$B_{мкц} = \frac{\gamma \cdot H_{сер} - a \cdot \sigma_{пл} + \left[(\gamma \cdot H_{сер} - a \cdot \sigma_{пл})^2 + 4 \cdot c \cdot B_k \cdot \sigma_{пл} \cdot \gamma \cdot H_{сер} / m_{пл} \right]^{0,5}}{2c \cdot \sigma_{пл} / m_{пл}}, \text{ м,} \quad (6)$$

де $B_{мкц}$ – ширина міжкамерного цілика, м; $H_{сер}$ – середня глибина відпрацювання, м; B_k – ширина виймальної камери, м; $\sigma_{пл}$ – опір пласта вугілля одноосьовому стисненню, МПа; a, c – коефіцієнти відповідно рівні 0,4 і 0,6; $m_{пл}$ – потужність пласта, м.

Для запобігання утворення заколів і вивалів порід рекомендується через певну оптимальну кількість камер залишати бар'єрні (міжблокові) цілики вугілля. Ширина міжблокових ціликів визначається як:

$$B_{мбц} = \frac{-0,4\delta_{пл} + \gamma \cdot H_{сер}}{\frac{0,6\delta_{пл}}{m}} + \frac{\sqrt{(0,4\delta_{пл} - \gamma \cdot H_{сер})^2 + 4 \cdot \frac{0,6\delta_{пл}}{m} (0,25\gamma \cdot L_{мбц}^2 - \gamma \cdot H_{сер} \cdot L_{мбц})}}{\frac{0,6\delta_{пл}}{m}}, \text{ м} \quad (7)$$

де $\delta_{пл}$ – міцність породи у масиві, МН; $L_{мбц}$ – відстань між міжблоковими ціликами, визначається в залежності від глибини відпрацювання і ширини міжкамерних ціликів з урахуванням загального балансу сил розвантаження у камер і привантаження на цілики на основі кута тиску (φ):

$$L_{мбц} = \frac{\delta_{пл} \left(2 + \frac{0,6B_{мкц}}{m} \right) \frac{B_{мкц}}{B_k + B_{мкц}}}{0,25 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \text{ м.} \quad (8)$$

На практиці рекомендована відстань між міжблоковими ціликами приймати не менше ширини зони опорного тиску від впливу очисних робіт.

Таким чином, наведено технологічні параметри вироблень в бортах кар'єру та запропоновано формули для їх розрахунку, які забезпечують безпечне і ефективне застосування систем Highwall, а саме – стійка ширина покрівлі виїмкових камер; ширина міжкамерних ціликів; ширина міжблокових ціликів; відстань міжблоковими ціликами.

Пилипчук Д. І., аспірант,
Гірничо-металургійний факультет
Науковий керівник: Григор'єв Ю. І., канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ДОВГОСТРОКОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНИХ ДРОБАРНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Довгострокове планування глибоких залізрудних кар'єрів здійснюється в умовах збільшення глибини, де підвищення транспортних експлуатаційних витрат (ОРЕХ) призводить до вимушеного зростання економічного бортового вмісту, консервуючи значні обсяги бідної руди. Впровадження мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів (МДПК) є стратегічною необхідністю для кардинального зниження ОРЕХ. Однак їх інтеграція створює критичний інвестиційний конфлікт: необхідність значних капітальних витрат (CAPEX) та ризик негайної втрати NPV, спричинений відтермінуванням видобутку на час підготовки майданчика для встановлення МДПК, проти майбутньої економічної вигоди. Традиційні детерміновані методи не здатні враховувати цю стохастичну дилему. Метою даного дослідження є обґрунтування та розробка гібридного стохастичного підходу для визначення ризик-зваженого оптимального моменту впровадження МДПК та подальшої багатоетапної реконфігурації системи, що дозволяє розв'язати цей конфлікт.

Гібридний стохастичний підхід є доцільним для забезпечення стійкості планів та максимізації очікуваної економічної ефективності. Методологія базується на інтеграції симуляції Монте-Карло, метаевристичних алгоритмів та робастної оптимізації для ідентифікації оптимальних рішень. Ключова наукова новизна полягає у розробці принципу динамічного управління режимом гірничих робіт, де стохастична модель не лише оптимізує послідовність видобутку, але й адаптивно визначає технологічну конфігурацію в умовах стохастичних змін. У запропонованій моделі обґрунтування ефективності гірничих робіт з МДПК базується на ідентифікації ризик-нейтральної точки балансу для дискретної інвестиції в передислокацію комплексу. Ця точка настає, коли зростання маржинальних транспортних витрат внаслідок віддалення вибою від поточного технологічного майданчика вперше перевищує сумарні зважені на ризик витрати на переміщення. Стохастична оптимізація вирішує цю проблему шляхом визначення оптимального порогового тоннажу для пушбеку, при досягненні якого економічна вигода від скорочення тонно-кілометрів автосамоскидами в умовах ймовірнісних сценаріїв максимізує очікуваний NPV. Саме кардинальне зниження ОРЕХ, досягнуте завдяки такому адаптивному плануванню та багатоетапній реконфігурації системи, дозволяє динамічно знизити економічний бортовий вміст, що є ключовим для залучення у видобуток значних обсягів руди, які були б нерентабельними при використанні традиційного автотранспорту. Для забезпечення технологічної реалізованості та мінімізації втрат NPV через простій кар'єру під час передислокації, модель додатково інтегрує оптимізацію обсягу буферного складу, який використовується як інструмент мінімізації ризику порушення стабільності подачі руди на збагачувальну фабрику. Шляхом моделювання NPV, зваженого на ризик, модель ідентифікує оптимальний момент інвестиції, який балансує неминучі втрати від відтермінованого видобутку проти майбутньої економії та розширення обсягу рентабельних запасів, зводячи до мінімуму інвестиційний ризик. Обґрунтування цього підходу є критично важливим для переходу до динамічного адаптивного проєктування глибоких залізрудних кар'єрів.

Актуальність дослідження визначається необхідністю вирішення критичного інвестиційного конфлікту, пов'язаного із впровадженням МДПК. Запропонований гібридний стохастичний підхід спрямований на забезпечення стійкості довгострокових планів. Обґрунтовано, що саме завдяки інструментарію стохастичної оптимізації суттєвим елементом максимізації очікуваної економічної ефективності є визначення моменту передислокації МДПК. Цінність розробленої методології полягає у створенні інструментарію для ефективного стратегічного управління відкритими гірничими роботами, що дозволяє динамічно знижувати економічний бортовий вміст, внаслідок суттєвого зменшення ОРЕХ, що забезпечує для розширення обсягу рентабельних запасів. Для забезпечення технологічної реалізованості, методологія обов'язково включає оптимізацію обсягу буферного складу. Результати можуть бути використані фахівцями гірничодобувних підприємств, проєктними організаціями та інвестиційними відділами для прийняття обґрунтованих інвестиційних рішень.

Поплавський А.А., студент 4-го курсу, гр. ГГ-30
Криворучко А.О. к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА ТРІЩИНУВАТОСТІ БИСТРІЄВСЬКОГО РОДОВИЩА ГАБРО З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ВИХОДУ БЛОКІВ

Однією з ключових геолого-структурних особливостей родовищ природного каменю є наявність систем тріщин, що мають чітку просторову впорядкованість та закономірний характер розвитку (рис.1). Саме рівень тріщинуватості, її морфологічні параметри та просторова орієнтація визначають природну блочність масиву, яка суттєво впливає на ефективність та технологічність процесів видобування каменю.

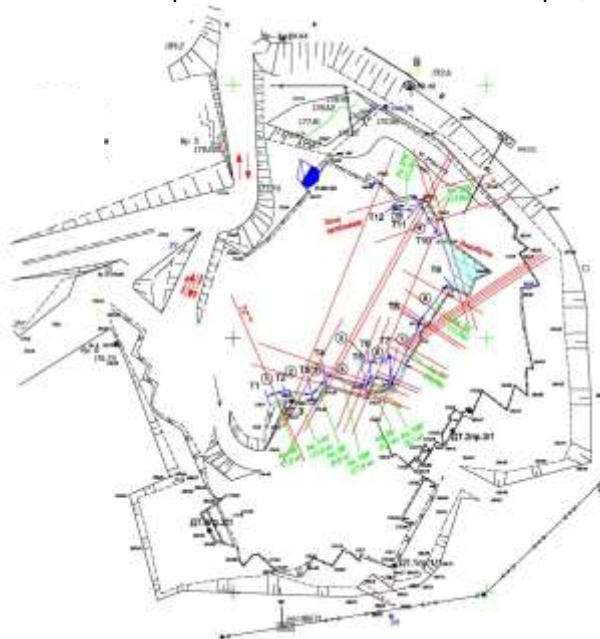


Рис. 1. Тріщинуватість масиву Бистрієвського родовища габро

З огляду на значний вплив структурно-геологічних характеристик масиву – його фізико-механічного стану, будови, текстурно-речовинних особливостей та параметрів тріщинуватості – на всі подальші етапи гірничого виробництва, починаючи від проектування розкриття родовища та вибору системи розробки, винятково важливим є отримання достовірної попередньої інформації про структуру масиву. Такі дані мають бути відображені у вигляді детальних планів, карт, структурних схем, діаграм, графіків та таблиць, що забезпечує комплексне уявлення про геологічну ситуацію та дозволяє приймати обґрунтовані технічні рішення.

Вибір способу підготовки масиву до виїмання, визначення оптимальних технологічних параметрів, а також формування раціонального комплексу обладнання для видобування блоків природного каменю безпосередньо базуються на характеристиках тріщинуватості. Адже саме тріщинуватість визначає блочність гірського масиву, його потенційну тріщинистість та якість отримуваних блоків. При аналізі особливу увагу приділяють густоті тріщин, їхній просторовій орієнтації, закономірності розвитку, довжині, ступеню відкритості, а також кутовим елементам залягання основних систем тріщин. Сукупність цих параметрів дозволяє прогнозувати вихід товарних блоків, оцінити складність технологічних операцій та обґрунтувати оптимальні методи впливу на масив.

У процесі проведення польових геологічних робіт було виконано комплексне дослідження тріщинуватості габро Бистрієвського родовища (рис. 2). На верхньому та нижньому уступах кар'єру здійснено масові вимірювання просторової орієнтації тріщин, після чого проведено камеральну обробку первинних матеріалів. Метою обробки було визначення закономірностей формування, орієнтації та просторової взаємодії природної тріщинуватості в масиві Бистрієвського родовища.

Усі тріщини, що відмічаються у стінках кар'єру, було згруповано на дві основні категорії:

1. Первинна та хаотично орієнтована тріщинуватість.
2. Упорядковані серії (системи) тріщин, що мають чітку просторову орієнтацію.

Перша група представлена тріщинами, що виникли переважно в результаті охолодження

магматичного тіла. У процесі зменшення об'єму порід після їх кристалізації виникають розтягувальні напруження, що і спричиняють формування первинних, нерегулярно орієнтованих у просторі тріщин. Вони зазвичай не демонструють сталих кутів падіння та азимутів і не формують стійких структурних закономірностей.

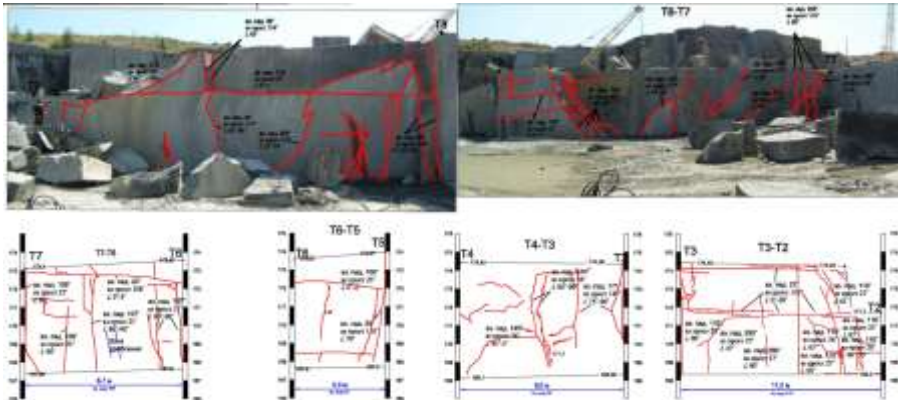


Рис. 2. Картування та дослідження тріщинуватості

Друга група тріщин має організований характер і пов'язана з дією регіональних тектонічних сил. Під час польових спостережень було встановлено наявність серій тріщин зі сталими елементами залягання. Часто такі тріщини утворюють пари, що перетинаються під близькими або повторюваними кутами, що свідчить про їх спряженість. Відповідно до загальноприйнятого визначення, спряжені тріщини формуються в єдиному полі напружень, характеризуються витриманими кутами перетину та визначеними напрямками можливих зміщень уздовж площин розривів.

Для габро Бистріївського родовища характерні круті й субвертикальні кути падіння площин спряжених серій – вони становлять більшість серед усіх зафіксованих тріщин. При цьому у межах кар'єру не виявлено чітких слідів переміщення крил тріщин, що характерні для активних зсувних структур.

Першим етапом камеральної обробки була побудова узагальнена діаграм тріщинуватості (рис.3).

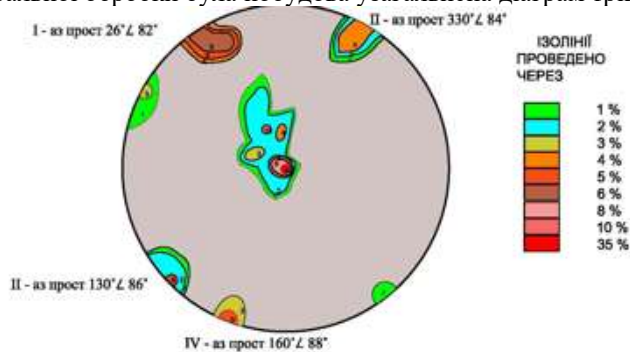


Рис. 3. Діаграма тріщинуватості Бистріївського родовища

Аналіз діаграми показує, що полюси площин тріщин утворюють чотири виразні максимуми (табл. 1). Ці максимуми розташовані попарно на протилежних кінцях діаметрів великого кола, що свідчить про існування однієї системи, представленій двома серіями спряжених тріщин – умовно позначених як серії №1 та №2. У межах кожної серії елементи залягання відрізняються незначно, що вказує на їх високу структурну впорядкованість.

Таблиця 1.

Елементи залягання чотирьох основних груп максимумів

№ групи	I	II	III	IV
Азимут падіння, град.	26°	330°	130°	160°
Кут падіння, град.	82°	84°	86°	88°

У результаті проведених досліджень було встановлено, що тріщинуватість габро Бистріївського родовища має впорядкований тектонічний характер та представлена двома спряженими системами крутих та субвертикальних тріщин, що формують чотири основні групи максимумів на діаграмах. Така структурна організація масиву створює сприятливі умови для формування блоків правильної форми та значних розмірів, тоді як хаотична тріщинуватість має локальний характер і менше впливає на блочність. Отримані дані важливі для прогнозування розмірів блоків, оптимізації напрямів ведення видобувних робіт, зменшення втрат блочної сировини та підвищення ефективності технології видобування.

**Сальник Є.І., аспірант 1 курсу Навчально-наукового інституту
природокористування.**

**Науковий керівник: Собко Б.Ю., д.т.н., професор
НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна**

ОСОБЛИВОСТІ ВІДКРИТОЇ РОЗРОБКИ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РОДОВИЩ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Мінерально-сировинна база титан-цирконієвих руд в Україні найбільш потужна серед групи кольорових та рідких мінералів. По кількості запасів та потужності розробки титан-цирконієвих руд Україна займає одне з перших місць в Європі. Річні об'єми видобутку титан-цирконієвих руд відкритим способом в довоєнний період перебільшували 10 млн м³.

Дотепер в промисловій експлуатації знаходяться розсіпні родовища, які мають невелику потужність розкриву і не потребують великих витрат на підготовчі роботи. Однак запаси таких родовищ вичерпуються. В наш час настала черга розробляти родовища, що глибоко залягають та мають складні гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови.

Разом з тим практика роботи кар'єрів України, які розробляють розсіпні родовища титан-цирконієвих і інших корисних копалин, показує, що істотних змін в технології і підвищенні ефективності існуючих схем розкривних і видобувних робіт протягом останніх десятиліть не відбулося.

В найближчій перспективі розпочнеться розробка ділянок Малишевського титан - цирконієвого родовища де рудний поклад знаходиться нище неогенового водоносного горизонту. Руда являє собою тонкозернистий глинистий пісок-пливун з малою водовіддачею, що не дозволяє застосовувати відомі методи водовідливу та осушення гірських порід. Для розробки таких, обводнених родовищ необхідно застосування комбінованих систем розробки з використанням існуючих екскаваторних комплексів для розробки не обводнених гірських порід та гідро механізованих комплексів для підводного видобутку корисних копалин з використання гідротранспорту для доставки рудних пісків до збагачувального виробництва.

Успішне освоєння родовищ потребує опрацювання технологій гірничих робіт, які в найбільшій мірі відповідають властивостям руд і вміщуючих порід.

Існуючі нині технологічні схеми ведення гірничих робіт і керування гірничотранспортними роботами обмежують можливості маневрування складом корисного компонента в рудопотоці. Розробка розсіпних руд на кар'єрах здійснюється валовим способом при якому неможливо вести селективний видобуток, роздільне транспортування й розміщення руди по мінеральному складу. Розробка таких родовищ супроводжується відведенням значної земельної території під експлуатацію кар'єрів, відвалів, хвостосховищ. Незначний вміст корисних мінералів в руді (в середньому 8% по масі) вимагає значного вкладення витрат на переміщення та складування хвостів збагачення в зовнішніх хвостосховищах. Обсяги їх накопичення створюють умови критичного рівня їх заповнення. Наприклад, загальна площа хвостосховищ Вільногірського ГМК становить близько 800 га в яких розміщено понад 250 млн м³ твердих «хвостів» збагачувального виробництва.

Існуюча технологія видобутку, гідророзмиву і подачі корисної копалини на збагачувальне виробництво (наприклад, для умов Вільногірського ГМК) вимагає використання значних обсягів води. За рік на збагачення подається близько 10 млн т руди, при цьому використовується понад 30 млн м³ води. Загальні витрати на гідротранспорт рудних пісків (при середній відстані транспортування - 10 км) складають понад 170 млн грн /рік). При цьому, впродовж року, після збагачення руд перекачується в хвостосховища понад 80 млн м³ хвостів, на що витрачається близько 43 млн кВт. год. Така кількість води подається на збагачувальну фабрику через застарілу технологію збагачення в якій відсутній поділ хвостів на глинисту і піщану складову і їх згущення.

Таким чином, технологія видобутку та збагачення корисних компонентів титанової мінеральної сировини достатньо коштовна та не ефективна за рахунок залучення великої кількості водних та енергетичних ресурсів.

В умовах воєнної агресії та забезпеченні промисловості критичною мінеральною сировиною необхідний пошук нових циркулярних технологій відкритої розробки родовищ з залученням запасів техногенних формувань у замкнутий цикл видобутку, збагачення та складування пустих порід в виробленому просторі кар'єрів, що дозволяє (наприклад, для умов Вільногірського ГМК) зменшити собівартість отримання колективного концентрату критичної титаново-цирконієвої мінеральної сировини до 40 %.

В циклічній технології збагачення «хвостів» передбачається розміщення та застосування фабрики первинного збагачення руди – отримання чорного колективного концентрату поблизу хвостосховища (виробленого простору кар'єра). Доведення концентрату до товарної продукції здійснюється на діючому збагачувальному виробництві. Для цього на фабрику транспортується тільки 5 % корисних мінералів, а 95 % хвостів (глиниста та піщанокварцева складова) гірничої маси залишається у внутрішньому хвостосховищі кар'єра.

Семенюк В. В., аспірант

Науковий керівник: Корнієнко В. Я., д.т.н., проф.

Національний університет водного господарства та природокористування

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛОГОСТІ БУРШТИНОВІСНИХ ПОРІД ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Основні поклади бурштину знаходяться на Поліссі – Прип'ятському бурштиноносному басейні (північна частина Волинської, Рівненської, Житомирської та Київської областей). Промислова розробка ведеться в Рівненській області на родовищах в Сарненському (Клесівське, Вільне) та Володимирецькому районах. Світовий запас бурштину в Україні становить близько шести відсотків. Сумарні запаси оцінюються у 100 тис. т, які переважно залягають у піщаних та піщано-глинистих ґрунтах на глибині до 15 м і є достатніми для дослідження та впровадження нових технологій. Найбільшими бурштиновими родовищами є «Клесів», «Вільне», «Володимирець-Східний». Вони разом містять кілька сотень тон бурштинової сировини, з яких розвіданими в промислових запасах є 128 т. Два із них сьогодні експлуатуються: Клесівське родовище (ділянка «Пугач») розробляється державним підприємством «Бурштин України», «Володимирець-Східний» – ТОВ «Центр «Сонячне ремесло». В основному масив бурштину, після розробки бурштинових родовищ старателями, так і залишається в надрах землі не представляючи для шукачів великої матеріальної цінності через маленькі фракції, так звані «мінусами».

Бурштинова сировина широко застосовується в народному господарстві. Основним напрямом використання бурштину є ювелірно-виробнича галузь, широко застосовуються продукти його хімічної переробки в медичній та хімічній промисловостях. У ювелірній справі використовуються фракції бурштину великих та середніх розмірів для виготовлення прикрас. У медицині застосовують бурштинову кислоту. Для того, щоб її отримати, бурштин подрібнюють у порошок. Також слугують і фракції розміром менше 5 мм, що становлять понад 40 % загальної кількості бурштину, які знаходяться у даних родовищах.

Сучасні ландшафти Волинського Полісся оточені з півночі державним кордоном України з Білоруссю, зі сходу – виходами на доантропогенну та денну поверхню порід кристалічного фундаменту Українського щита, з півдня – уступом Волинської лесової височини, а з заходу – руслом ріки Західний Буг. Загальна площа близько 30 тис. км².

Особливістю Волинського Полісся є значна лісистість — ліси (представлені дубово-грабовими та сосново-дубовими угрупованнями) та чагарники займають близько 40 % території. Заплави лучно-болотного ландшафту займають близько 10 %.

Проведення польових робіт для забору проб бурштиновісних порід проводилися на ділянці, яка розташована у Камінь-Каширському районі Волинської області поблизу с. Прилісне. На даній ділянці ТОВ «Надровидобування» займається проведенням рекультиваційних робіт порушених земель внаслідок незаконного видобутку бурштину з його попереднім видобутком.

За допомогою ручної лопати було відібрано в переносні бокси три зразки породи з глибин близько 1 м, 2 м, і 3 м з похибкою у 0,5 м, все залежало як глибоко зачерпне екскаватор. Оскільки екскаватори виконували й так виймально-навантажувальні роботи, то додаткові бурові роботи із забором проб не мали необхідності на даній ділянці. На глибині більше 4 метрів зустрічаються поклади глини і дані зразки для дослідження не відбиралися.

Лабораторні дослідження, проведені на базі Національного університету водного господарства та природокористування, з пробами порід з вмістом бурштинової сировини (відбір проб масою 10 кг одиночним шматком або їх набором висадженої гірської маси дослідної ділянки ТОВ «Надровидобування» в різних точках по фронту забою) показав, що найбільша кількість бурштинової сировини знаходиться в великокускуватих зразках, а в дрібно і тонкодисперсних породах просліджується чітка тенденція зниження вмісту бурштину.

Вологість гірської породи визначалось методом висушування наважки гірської породи під лампою-тепловипромінювачем марки ИЛ-3М при температурі 140-150 °С до припинення виділення пари води. Після закінчення сушіння та охолодження чашки, повторно проводилося зваження проб бурштиновісної породи з точністю до 0,01 на лабораторних вагах моделі AXIS BTU-210.

За результатами польових та лабораторних досліджень визначили середню вологість бурштиновісних порід дослідної ділянки на глибинах масиву від 1 до 3 м ($\pm 0,5$ м, переважно до початку покладів глини), яка становить для супісків 14,4 %, а для суглинків – 22,12 %. Для даних типів ґрунтів необхідно застосовувати спеціальне обладнання з якіснішими зносостійкими робочими органами для забезпечення ефективного вилучення бурштиновісної породи із масиву та подальшої переробки із вилученням бурштину.

Скорик М.А., аспірант, 3 курс, PhD-184-23-2,
Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Котенко В.В. к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ХМАРИ ТОЧОК БЛОКУ ОБЛИЦЮВАЛЬНОГО КАМЕНЮ

Актуальність теми. В умовах переходу гірничодобувної промисловості до концепції Індустрії 4.0, створення цифрових двійників складів готової продукції стає необхідною умовою ефективного менеджменту. Для каменєобробних підприємств критично важливим є точний облік гранітних блоків, геометричні параметри яких безпосередньо впливають на вихід корисної продукції (слябів). Традиційні методи обмірів є суб'єктивними та трудомісткими. На ринку з'являються доступні рішення на базі споживчих пристроїв (смартфонів з LiDAR), портативних SLAM-сканерів та БПЛА. Однак, питання меж застосування цих технологій, особливо при масштабуванні від одиничних об'єктів до реальних промислових майданчиків, залишається недостатньо вивченим.

Постановка задачі. Метою роботи є експериментальне порівняння трьох методів отримання щільних хмар точок: аерофотограмметрії (UAV), мобільного лазерного сканування (SLAM) та наземної фотограмметрії за допомогою смартфона. Ключовим завданням є визначення ефективності кожного методу при скануванні майданчика середніх розмірів (22×17 м) з великою кількістю об'єктів (57 блоків) та виявлення причин виникнення геометричних артефактів при використанні не професійного обладнання.

Виклад основного матеріалу. Експериментальні дослідження проводилися на відкритому складі блочної сировини. Еталонна геодезична мережа складалася з 26 контрольних марок (5×5 см), закріплених на гранітних блоках. Їх координати визначено електронним тахеометром SOUTH NTS-355R. Для геопросторового вирівнювання всіх трьох моделей використовувалася єдина система з 5 наземних опорних точок (GCP).

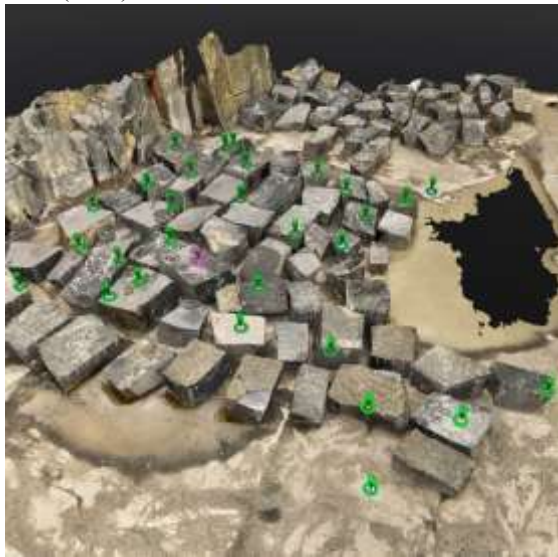


Рис. 1. Схема розміщення опорних та контрольних точок на дослідному майданчику

Методологія збору даних включала наступні сценарії:

Метод UAV (DJI Mavic 3 Enterprise). Політ виконувався в ручному режимі на наднизькій висоті — 6,5 м. Для якісного відображення вертикальних граней блоків та мінімізації «мертвих зон» у вузьких проходах між блоками, камера була нахилена під кутом 45°.

Метод SLAM (Xgrid L1 / Alfageo R100). Сканування виконувалося шляхом обходу периметра та міжряддя блоків. Час збору даних склав рекордні 6 хвилин.

Метод Smartphone (iPhone 13 Pro + Pix4Dcatch). Знімання проводилося в режимі наземної фотограмметрії з використанням програмного забезпечення Pix4Dcatch.

Опрацювання даних фотограмметрії виконувалось в програмному забезпеченні Pix4DMatic, дані SLAM опрацьовувались в Lixel Studio. За результатами камеральної обробки було проаналізовано часову ефективність та якість хмари

точок. Метод UAV (DJI Mavic 3 Enterprise) показав найвищу стабільність результату (RMSE ~6 мм), але вимагав 77 хвилин на обробку 488 знімків. SLAM-метод продемонстрував найкращу оперативність: 40 хвилин на обробку, при RMSE в плані 19 мм та RMSE по висоті 5 мм.

Особливу увагу було приділено методу використання смартфона. На попередніх етапах досліджень, на малому майданчику (7×13 м, 9 блоків), цей метод забезпечив високу точність без артефактів. Однак, при масштабуванні на поточний об'єкт (площа збільшилась у 4 рази, кількість блоків — у 6 разів), виникли критичні помилки. Камери смартфонів обладнанні ковзним затвором, який вносять мікроспотворення в кожен кадр під час руху, що додатково погіршує якість вирівнювання на великих наборах даних. Програмне забезпечення не змогло коректно вирівняти масив з 2196 фотографій, що призвело до ефекту «подвоєння площин» та збільшення шумів. Це вимагає проведення додаткових досліджень

Узагальнені дані щодо часових витрат та обсягів інформації наведені у таблиці:

Параметр	SLAM (Xgrid L1)	БПЛА (Mavic 3E)	Смартфон (iPhone 13 Pro)
Час польових робіт	6 хв	8 хв	9 хв
Час камеральної обробки	40 хв	77 хв	359 хв
Кількість вихідних файлів	1 файл (хмара)	488 фото	2196 фото
Масштаб обробки зображень	-	1/2 (оптимально)	1 (повнорозмірні фото)
RMSE (План)	19 мм	7 мм	42мм
RMSE (Висота)	5 мм	6 мм	12 мм

Для детального аналізу геометричних деформацій виконано порівняння хмар точок у середовищі CloudCompare (алгоритм Cloud-to-Cloud), де за еталон прийнято модель з БПЛА. Обрано два характерні блоки.

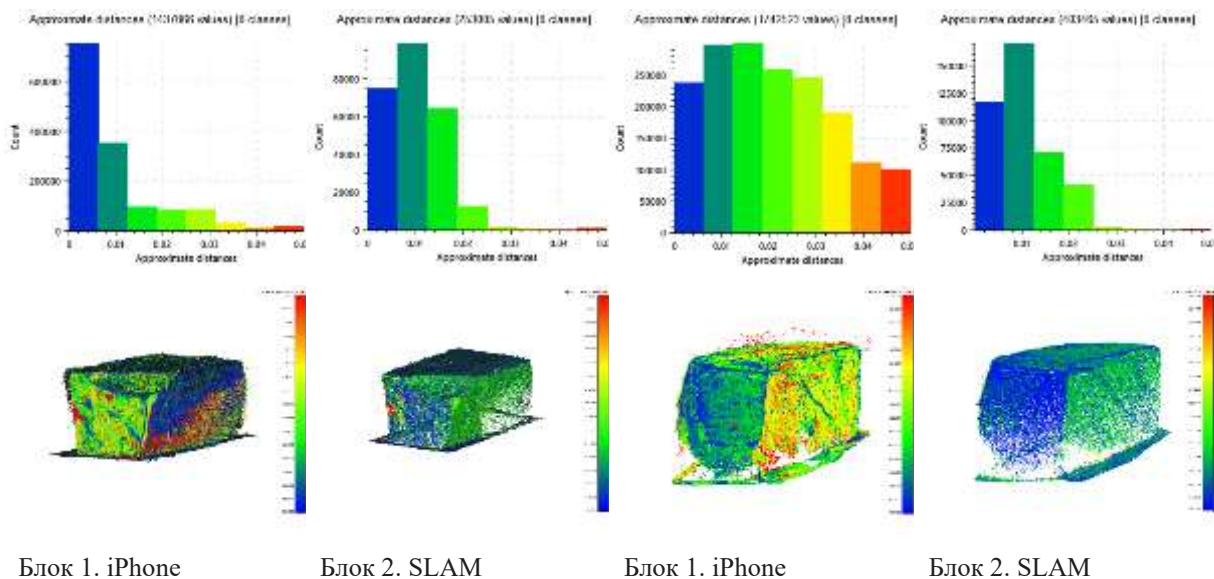


Рис. 2. Розподілу відхилень (C2C distance) для Блоку №1 та Блоку №2

При порівнянні хмари створеної за допомогою iPhone на Блоці №1 основний масив точок мають відхилення в межах 0-10 мм. Проте на Блоці №2 спостерігається рівномірний розподіл помилок у діапазонах 0-30 мм та 30-50 мм. Це підтверджує наявність геометричного шуму та розшарування поверхонь, викликаного дрейфом навігаційної системи телефону на великій дистанції.

У хмарі точок створеного методом SLAM присутній систематичний зсув на 0.5-1.5 см, що є допустимим для задач складського обліку і пояснюється меншою роздільною здатністю лазера порівняно з фотограмметрією.

Висновки. Метод аерофотограмметрії (БПЛА) залишається найбільш точним інструментом для інвентаризації складів блочної сировини. Знімання під кутом нахилу (35°-45°) з малої висоти (6,5 м) дозволяє отримувати повні моделі з мінімальними «сліпими» зонами. Головним недоліком є залежність від погодних умов та необхідність отримання дозволів на польоти, присутність рослинності на площадці.

Метод SLAM є оптимальним для оперативного моніторингу. Він не вимагає складної підготовки, а процес збору та обробки даних займає менше години (46 хв сумарно). Отримана точність (1-2 см) є достатньою для ідентифікації блоків та підрахунку об'ємів.

Метод використання смартфона (iPhone) має чіткі обмеження щодо масштабування. Він є ефективним інструментом для сканування малих об'єктів (до 10-15 блоків або площі до 100 м²), де його може використовувати не спеціаліст. Однак на площах понад 300 м² з однотипною текстурою (граніт) виникає ефект накопичення помилки навігації, що призводить до руйнування цілісності моделі та появи подвійних стінок.

Для кожного з методів відстань між блоками має бути не менше 50-60 см, що забезпечить якісну побудову хмари точок.

**Слободян М.О., студент 1 курсу ОР «бакалавр», групи ГР-25-1,
Темченко А.Г., д.т.н., проф. кафедри гірничих технологій
та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.,
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ВПЛИВ ТЕКТОНІЧНИХ ПОРУШЕНЬ НА УМОВИ ЗАЛЯГАННЯ ПОКЛАДІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН ТА ЇХ РОЗРОБКУ

Вплив тектонічних порушень є одним із чинників, що визначають морфологію та технічні умови розробки родовищ корисних копалин. У процесі геологічного розвитку земної кори відбувалися численні тектонічні рухи, які спричинили утворення розломів, зсувів, складок, тріщин та інших структурних деформацій. Тектонічні рухи - це механічні переміщення в земній корі та у верхній мантії, викликані зміною структури геологічних тіл внаслідок процесів, які відбуваються в надрах. Основними причинами тектонічних рухів вважаються конвективні течії в мантії. Вони виникають завдяки розігріву під час розпаду природних радіоактивних елементів і гравітаційної диференціації речовини. Ці порушення змінюють первинне залягання пластів, ускладнюючи геологічну будову родовищ і створюючи додаткові виклики для гірничої промисловості. Наприклад, у районах з інтенсивною тектонічною активністю поклади можуть бути розірвані на окремі блоки, зміщені на значні глибини або нахилені під кутами, що ускладнює їх виявлення та розробку. Особливо це стосується родовищ вугілля, руд кольорових металів, нафти та газу, де навіть незначні зміщення можуть призвести до втрати цілісності продуктивних горизонтів.[5]

Тектонічні процеси суттєво впливають на умови залягання пластових покладів, таких як кам'яне вугілля, солі чи гіпс. Під впливом складчастих рухів пласти можуть набувати крутих падінь, розриватися, повторюватися у розрізі, що ускладнює прогноз їхньої потужності й просторового поширення. У зонах інтенсивної дислокації можливі суттєві зміни товщини продуктивних горизонтів, вони можуть як потовщуватися внаслідок накопичення уламкового матеріалу, так і різко зменшуватися в зонах розломних зсувів. Для рудних родовищ це означає, що продуктивні рудні тіла можуть бути зміщеними на десятки або навіть сотні метрів, утворювати розірвані ділянки, що вимагають детальної структурно-геологічної пояснення перед розвідкою та розробкою.[3]

Самі порушення впливають не лише на геометрію покладів, але й на фізико-механічні властивості гірських порід. У зонах розломів породи часто роздроблені, тріщинуваті, зниженої міцності, що підвищує ризик обвалів, проривів води або газу під час проходки гірничих виробок. Дані умови вимагають застосування спеціальних технічних рішень: посиленого кріплення, гідроізоляції, вентиляції, а також постійного геомеханічного моніторингу. Крім того, тектонічні порушення можуть бути каналами для флюїдів, що сприяє вторинному збагаченню або виносу корисних компонентів, змінюючи якісний склад корисної копалини. Наприклад, у зонах розломів часто спостерігається підвищена концентрація золота, срібла, урану, що має важливе значення для прогнозування перспективних ділянок.[1]

У регіонах з тектонічною історією (кілька стадій стиснення та розтягування) золото мобілізується та перевідкладається багаторазово. Це означає, що родовища формуються під впливом різних фаз напруження. Значні родовища золота, пов'язані з глибоким перетинанням розломів та інтенсивною магматичною, метаморфічною та тектонічною діяльністю, що робить його дуже перспективним для видобутку.[2]

Сильно тріщинуваті та роздроблені зони є потенційно небезпечними для будівництва шахт і кар'єрів через можливість раптових обвалів, підвищених водоприпливів і нестабільності бортів. У підземних гірничих виробках такі зони часто вимагають додаткового кріплення, цементації або дренажу. При чому ж, роздріблені породи легше піддаються проходці, що зменшує витрати на підривні роботи. У бурінні свердловин розломні ділянки можуть призводити до ускладнень, для прикладу, це може бути і поглинання бурового розчину, і викривлення стовбура, і підвищений знос бурового інструменту. Все це потребує спеціальних технологічних рішень, таких як застосування інгібуючих розчинів, стабілізаторів або методів телеметрії для точної орієнтації свердловин.[1]

Тектонічні структури є базовим орієнтиром у геолого-розвідувальних роботах. Розломні системи дозволяють прогнозувати положення рудних тіл, встановлювати зони мінералізації, визначати перспективні ділянки для пошуків як корисних копалин твердих руд, так і нафти та газу. Сучасні

методи, такі як сейсморозвідка, геофізичні профілювання, 3D-моделювання та дистанційне зондування, дають змогу детально простежити геометрію тектонічних порушень і з високою точністю відновити тектонічну історію району. Наприклад, у Карпатському регіоні України складна тектонічна будова зумовлює необхідність адаптивного підходу до розробки нафтогазових родовищ, з урахуванням складчасто-розломної системи. У Донбасі численні тектонічні порушення ускладнюють видобуток вугілля, вимагаючи зонального підходу до проектування шахт і кар'єрів.[4]

Українські структурно-тектонічні одиниці також демонструють зв'язок між розломами та корисними копалинами. На прикладі Хмельницької тектонічної зони видно, що глибокі розломи визначають напрямок рудних жил, розташування корисних копалин. Це підтверджує універсальність тектонічного контролю. Він розташований у своїй південно-західній частині (Бердичівське підняття), на перетині трьох глибоких розломів. Згідно з комплексною геолого-геофізичною інтерпретацією цих даних, характер мінімуму зумовлений проявом локального осередку протерозойського кислого магматизму серед гранітоїдів Бердичівського комплексу, представленого грибоподібним масивом гранатових лейкогранітів біотитового складу, що простягається до глибини 15 км, тобто до зони існування можливого гранітного розплаву.[5]

Узагальнюючи дані тектонічних порушень на умови залягання та розробку корисних копалини, необхідно розуміти, що при складній блоковій або складчасто-розривній будові, де є неправильне розуміння або інтерпретування структури може призвести до помилок у визначенні запасів, виборі місця для буріння або плануванні кар'єрного поля. І в складних тектонічних районах, ці значення мають усі елементи структури: характер та амплітуда розривів, орієнтація площин зсувів, інтенсивність тріщинуватості. Таким чином, тектонічні порушення є не лише геологічним фактором, а й важливим інженерним параметром, що визначає ефективність, безпеку та економічну доцільність розробки родовищ. Їх врахування є обов'язковим при складанні техніко-економічного обґрунтування, проектуванні гірничих підприємств та оцінці запасів.

Список використаної літератури:

1. El Gout, R., Khattach, D. & Houari, MR. Tectonic control of mineralization in the Taourirt–Oujda Corridor–Horst belt (north-eastern Morocco): geophysical evidence. *Arab J Geosci* 8, 987–1001 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1239-0>
2. Herrington, R.J., Brown, D. (2011). The Generation and Preservation of Mineral Deposits in Arc–Continent Collision Environments. In: *Arc-Continent Collision*. *Frontiers in Earth Sciences*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88558-0_6
3. Wei Quan, Tao Xiao, Yuxuan Huang et al. Controls of Multi-stage Tectonic Evolution on Gold Mineralization in Western Guangdong, South China, 21 October 2025, PREPRINT (Version 1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7612237/v1>
4. Witt, W.K. & Hagemann, Steffen & Miller, John. (2013). TECTONIC AND STRUCTURAL CONTROLS ON LODE-GOLD DEPOSITS: CONTINENTAL- TO DEPOSIT-SCALE.
5. Єнтін В., Гінтов О., Гуськов С., Мичак С., Павлюк О., Залізняк Д. (2025). Хмельницька структурно-тектонічна одиниця та її геолого-геофізична сутність. *Геофізичний журнал*, 47 (4). <https://doi.org/10.24028/gj.v47i4.329385>

Соколовський В.О., аспірант

Цигода В.В., к.т.н.

Науковий керівник: Коробійчук В.В., проф. д.т.н.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПІДРИВНИХ РОБІТ У ТЕКТОНІЧНО ПОРУШЕНИХ МАСИВАХ

Тектонічно порушені масиви гірських порід становлять одну з найскладніших ділянок для здійснення масових вибухів, оскільки природні зони ослаблення істотно модифікують характер руйнування та поширення енергії. У таких умовах вибухові роботи потребують спеціального підходу до вибору параметрів, адже класичні емпіричні залежності та нормативи не враховують анізотропну поведінку масиву, спричинену наявністю тектонічних розломів, тріщинуватих зон, глинистих прошарків або різномірних включень. Саме тому оптимізація підривних параметрів у подібних геологічних умовах є актуальною задачею, спрямованою на підвищення ефективності видобутку та забезпечення сейсмічної безпеки прилеглих територій.

Тектонічні порушення сприяють формуванню особливих умов поширення вибухових хвиль. Зони ослаблення діють як природні хвилеводи, у яких пружні хвилі знижують швидкість та зазнають мультирефлексії, що зумовлює суттєве підсилення пікової частинкової швидкості (PPV) у напрямку їх простягання. За результатами польових досліджень, у таких умовах амплітуда сейсмічних вібрацій може збільшуватися у 1,5–3 рази порівняно з однорідним масивом, а довжина шляху, на якому хвиля зберігає високу інтенсивність, зростає у 2–3 рази. Такий хвилеводний ефект створює підвищене техногенне навантаження на інфраструктуру та призводить до нерівномірної фрагментації вибухом, що негативно впливає на подальші технологічні процеси.

Одним із ключових елементів оптимізації є обґрунтований вибір орієнтації підривного фронту. У тектонічно тріщинуватих масивах фронт вибуху доцільно орієнтувати паралельно домінуючим лініям розломів. Такий підхід дає змогу узгодити напрямок розривних сил із природними площинами ослаблення, що сприяє більш ефективному руйнуванню породи, зниженню об'єму негабариту та скороченню енергії, яка неконтрольовано передається в масив. Крім того, це дозволяє знизити ризики розльоту породи, оскільки вектор руйнування стає більш прогнозованим і підконтрольним.

Важливу роль відіграє також вибір типу вибухової речовини. Використання емульсійних вибухових речовин зі зниженою швидкістю детонації (VOD у межах 4500–5000 м/с) дає змогу зменшити інтенсивність передавання енергії в сейсмічний канал розлому. Зниження VOD спричиняє більш тривале, але рівномірне вивільнення енергії, що зменшує пікові навантаження та забезпечує більш стабільну фрагментацію порід у тріщинуватих масивах. Дослідження показують, що застосування вибухових речовин зі зниженою детонаційною здатністю дозволяє зменшити PPV на 20–40 % та покращити якість дроблення на 10–15 %.

Окрему увагу слід приділити часовій структурі вибуху – зокрема, підбору мілісекундних затримок. У тектонічно порушених масивах оптимальними є короткі інтервали між детонаціями в межах 10–15 мс. Саме такі затримки забезпечують деструктивну інтерференцію сейсмічних хвиль, що дозволяє істотно знижувати рівень вібрацій у каналі тектонічного розлому. При збільшенні затримок до 25–30 мс відбувається конструктивна інтерференція хвиль, яка, навпаки, підсилює амплітуду й може призвести до перевищення сейсмічних нормативів. Експериментальні дані свідчать, що коректний підбір затримок здатен зменшити PPV на 30–60 %, що є критично важливим у зонах, наближених до житлових територій чи об'єктів виробничої інфраструктури.

Не менш важливим аспектом є прогнозування сейсмічного навантаження з урахуванням геологічних неоднорідностей. У масивах зі значною кількістю розломів класичні емпіричні формули (зокрема USBM, CMRI або інші моделі радіального затухання) можуть давати відхилення до 150–200 %, оскільки не враховують структури розлому, матеріалу його заповнення та ступеня тріщинуватості. Натомість застосування локальних коригувальних коефіцієнтів або моделей анізотропного поширення хвиль дозволяє отримувати значно точніші оцінки та визначати безпечні параметри вибуху відповідно до нормативів DIN 4150 та ISO 2631.

Підсумовуючи, можна відзначити, що оптимізація підривних робіт у тектонічно порушених масивах повинна базуватися на поєднанні геологічного аналізу, коректного вибору вибухових матеріалів, орієнтації підривного фронту та точного підбору затримок детонації. Такий підхід дозволяє забезпечити підвищення ефективності вибухового руйнування, зменшити ризики для довкілля та інфраструктури, підвищити рівень безпеки та забезпечити сталий розвиток кар'єрного виробництва в умовах складної тектонічної будови.

Стратейчук Є.Р., магістрант
Войтенко К.М., магістрант
Науковий керівник: Фролов О.О., д-р техн. наук, проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СТАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ПРИ СУЦІЛЬНО-КАМЕРНІЙ СИСТЕМІ РОЗРОБКИ РУДНИХ РОДОВИЩ

Геомеханічна оцінка стійкості простору, що утворюється при суцільно-камерній системі розробки з керуючим обрушенням порід покрівлі, та визначення напружено-деформованого стану гірничого масиву є складною задачею механіки суцільного середовища. Складність процесу деформування потребує побудови ефективних алгоритмів розв'язання поставленої задачі та використання рівнянь стану матеріалів, які описують процес деформування порід в широкому діапазоні навантажень включаючи і граничні значення.

Суть досліджень полягає у визначенні положення, кількості та міцності елементів в зоні деформацій, яка утворюється в результаті переходу гірничого масиву в граничний стан під впливом тисків. В якості крайових умов використовується критерій міцності Мора-Кулона.

Реалізація методики чисельного моделювання базується на використанні методу скінчених елементів (МСЕ). До його переваг можна віднести простоту математичного формулювання, легкість поширення на нелінійні та неординарні задачі. Використовується моментна схема МСЕ, ефективність якої визначається підвищеною точністю чисельних розрахунків при високих градієнтах напружень та переміщень, що отримано на прикладі вирішення широкого класу нелінійних задач.

При дослідженні суцільно-камерної системи з управляючим обрушенням порід покрівлі було поставлене завдання – надати порівняльну геомеханічну оцінку напруженого стану конструктивних елементів системи розробки при різних параметрах висоти обвалення покрівлі, ширини камери і цілика.

Дослідження проведено чисельним методом з використанням комплексу PLAXIS. Розрахунки проводилися з урахуванням наступних умов і допущень. Моделювання при постійній потужності покладу $m = 40$ м і довжині прольоту відпрацювання $L_{\text{прол}} = 150$ м. Розглядався напружено-деформований стан (НДС) масиву в районі очисного блоку в залежності від висоти обрушення породної консолі h , від ширини камери B_k і цілика $B_{\text{ц}}$ при постійній висоті h , та від надробки консолі в залежності від її висоти, параметрів камери і цілика (рис. 1). Фізико-механічні характеристики порід наведено у табл. 1.

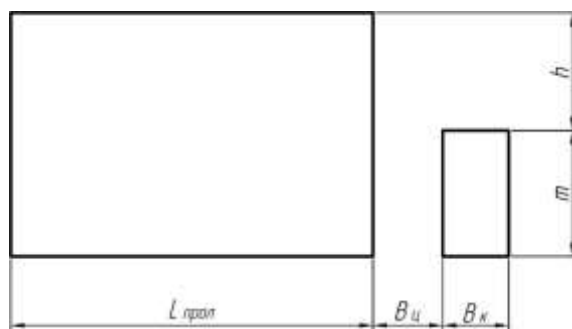


Рис. 1. Основні параметри моделі

Таблиця 1.

Параметри досліджуваних порід

№	Назва породи	Щільність γ , кН/м ³	Коеф. Пуасона ν	Модуль деформації E , кН/м ²	Питоме зчеплення C , кН/м ²	Кут внутр. тертя ϕ , град
1	Магнетитова руда	26,1	0,36	$7 \cdot 10^7$	91000	34
2	Магнетит мілкозернистий	41,9	0,34	$8,2 \cdot 10^7$	74500	35
3	Мартит пористий	35,8	0,18	$5,3 \cdot 10^7$	21800	31

Схема дії навантажень в досліджуваній моделі PLAXIS наведена на рис. 2.

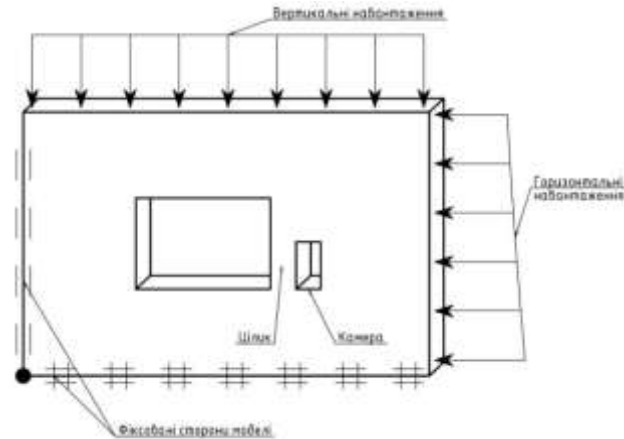


Рис. 2. Схема навантажень в досліджуваній моделі PLAXIS

На рис. 3 і 4 представлені результати моделювання у вигляді розподілу максимальних дотичних напружень (τ_{max}) при різних параметрах висоти обвалення породної консолі та після виїмки цілика і випуску руди.

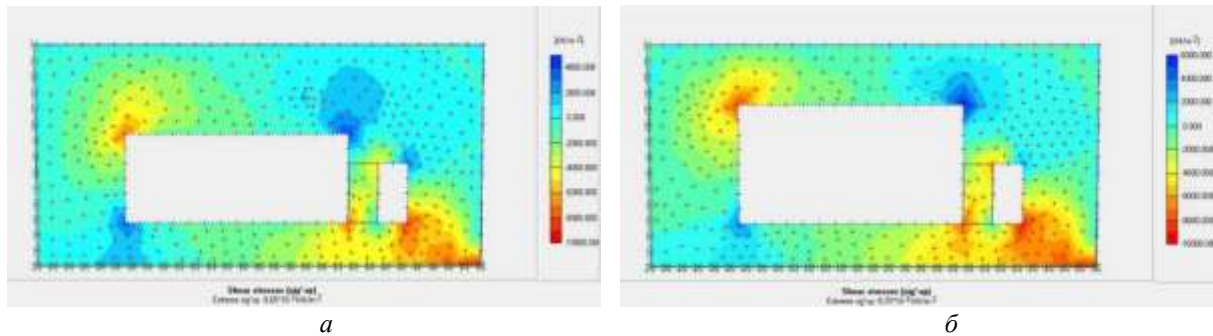
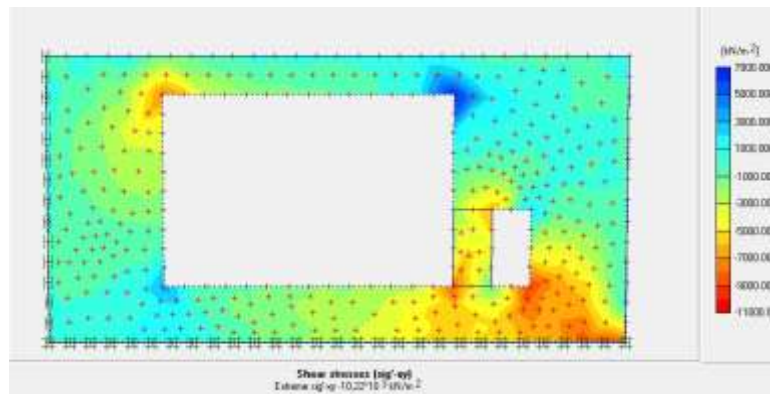


Рис. 3. Зміна напружень τ_{max} в залежності від висоти обвалення породної консолі:
а – при $h = 0,5$ м; б – при $h = 1,0$ м

Рис. 4. Зміна напружень τ_{max} в залежності від висоти обвалення породної консолі при $h = 1,5$ м

Аналіз отриманих результатів показав, що область масиву, на межі з виробленим простором, практично по всій висоті знаходиться в зоні розтягування. Однак в покрівлі цілика і центральній частині консолі відбувається поступовий перехід напружень від розтягуючих до стискаючих. Наслідком останньої обставини є значні за величиною тектонічні напруження, що сприяють збереженню стійкості породного консолі. Напружений стан в перерізах цілика і породної консолі визначається, головним чином, впливом висоти оголеного масиву, що деформується. При збільшенні ширини камери в її покрівлі напружено-деформований стан наближається до одноосового стиснення ($\sigma_{ст} \approx \tau_{max}$).

**Терещук Р.Г., студент 2 курсу, група ГР-24,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Остафійчук Н.М., ст. викладач
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ПЕРСПЕКТИВИ ОСВОЄННЯ РОДОВИЩ КРИТИЧНОЇ СИРОВИНИ В УКРАЇНІ

Порівняння українських родовищ критичної сировини з провідними світовими аналогами демонструє чітке розмежування між ресурсним потенціалом України та промислово-технологічною перевагою світових лідерів. Україна має одні з найбільших у світі запасів титану, марганцю та графіту, промислово значущі ресурси урану, перспективні поклади літію та рідкісноземельних елементів (табл. 1), що є критично важливими для акумуляторної й оборонної промисловості. Однак більша частина родовищ недостатньо вивчена, не має актуальних техніко-економічних обґрунтувань та характеризується недостатнім рівнем інвестицій.

Таблиця 1

Порівняння родовищ критичної сировини України з аналогічними родовищами світу

Вид сировини	Родовища	Типи родовища	Промисловий вміст, %	Запаси, т
Літій	Полохівське	рідкіснометалічне пегматитове	0,7 Li ₂ O (бортовий вміст)	760 тис.
	Шевченківське		1,1-1,5 Li ₂ O	2,3 млн.
	ділянка Добра		1,34-1,43 Li ₂ O	1,3 млн.
	Кінг-Маунтін, США		1-1,15 Li ₂ O	400 тис.
	Бернік-Лейк, Канада		1-1,3 Li ₂ O	180 тис.
	Салар де Атакама, Чилі	солончаки	400-800 мг/л Li	3000 тис.
Графіт	Заваллівське	метаморфогенне	6-10	6,1 млн. С
	Буртинське		5,14	6,5 млн. С
	Юньшань, Китай		10-25	14,8 млн.
Титан	Малишевське	розсипне (прибережно-морське)	62,23 TiO ₂	157,5 млн.
	Стремигородське	корінне (габрові інтрузії)	8,17 TiO ₂	1,2 млрд.
	Кейпел, Австралія	розсипи	40-65 TiO ₂	200 млн.
	Лак Тю, Канада	інтрузивні руди	35 TiO ₂	125 млн.
Марганець	Нікопольський басейн	осадові	20-30 Мп (після збагачення)	2,2 млрд.
	Капська провінція, ПАР	вулканогенно-осадові	35-50	640 млн.
Уран	Кіровоградський регіон	гідротермально-метасоматичні	0,05-0,12 U ₃ O ₈	270 тис.
	Інкай, Казахстан	пластово-інфільтраційне	0,03-0,06	635 тис.
	Мак-Артур-Рівер Канада	неузгоджене	8-20	430 тис.
Рідкісно-земельні елементи	Пержанське	метасоматичне	LREE 0,5-2%; HREE – сліди	2,3 млн.
	Мазурівське	лужні масиви	0,006-0,47	5,7 млн.
	Баюнь-Обо, Китай	карбонатитове	3-6	40 млн.
	Mount Weld, Австралія	лужні породи	8-12	32 млн.
Нікель/ кобальт	Деренюхське	латеритне (силікатне)	Ni 0,5-1,0; Co до 0,03	26,7 тис.
	Катанзький мідний пояс, ДР Конго	латеритне (мідно-кобальтове)	Ni 1,2-2,5; Co 0,1-0,4	6 млн.

Як видно з таблиці 1, якість та вміст руд у світі загалом вища, ніж в Україні: уран Канади (8-20% U₃O₈) у разі багатший за українські поклади; марганцеві руди ПАР мають вміст 35-50% Мп проти 20-30% в Україні; літій у солончакових родовищах Чилі має набагато вищу концентрацію, ніж українські пегматити;

родовища рідкісноземельних елементів Австралії та Китаю демонструють 8-12% REO проти 0,5-2% в Україні.

Україна має конкурентні обсяги родовищ, але програє промислового вмісту руд, що підвищує вимоги до переробки та збагачення і призводить до збільшення собівартості. Також світові лідери (Китай, Австралія, Канада, ПАР) мають повний технологічний цикл – від видобутку до виробництва кінцевої продукції; володіють сучасними збагачувальними технологіями; інвестують у видобуток та переробку високодисперсних руд; інтегровані в глобальні ринки через транснаціональні корпорації. На відміну, Україна експортує переважно сировину низької переробки; не має промислових потужностей з вилучення рідкісноземельних елементів. Основні проблеми освоєння родовищ критичної сировини та можливість їх вирішення узагальнені в таблиці 2.

Таблиця 2

Проблеми освоєння родовищ критичної сировини та шляхи їх вирішення

Проблема	Наслідки	Вирішення
Недосконала геологічна розвідка	Більшість даних про запаси та якість критичної сировини базується на застарілих даних (категорії P ₁ , C ₂). Недостатньо деталізовані сучасні дослідження (на рівні категорій A, B, C ₁ відповідно до міжнародних стандартів).	Обов'язкова сертифікація запасів критичної сировини за міжнародними стандартами; залучення Держгеонадр до проведення деталізованої розвідки найбільш перспективних ділянок із подальшим виставленням їх на прозорі аукціони; переведення всіх геологічних даних та реєстрів у цифровий формат.
Відсутність технологій збагачення	Гірничо-збагачувальна галузь переважно орієнтована на залізорудну та титанову сировину. Відсутні або застарілі технологічні лінії для економічно ефективного вилучення та розділення складних поліметалічних руд (наприклад, рідкісних земель, які часто містяться у комплексних родовищах).	Державно-приватне партнерство для будівництва дослідно-промислових установок та створення технологій вилучення критичної сировини; впровадження податкових пільг для компаній, які інвестують не лише у видобуток, а й у створення кінцевого продукту; співпраця з провідними світовими компаніями, які мають досвід роботи.
Правові та регуляторні бар'єри	Тривалі та складні процедури отримання спеціальних дозволів на користування надрами. Нестабільність регуляторних правил, що відлякує великих міжнародних інвесторів.	Максимальне скорочення термінів видачі дозвільних документів; забезпечення незмінності умов для інвесторів протягом терміну дії спецдозволу на користування надрами; надання гарантій інвестицій, зокрема від політичних та воєнних.
Проблема інфраструктури	Більшість перспективних родовищ розташовані в окупації, зоні бойових дій або далеко від розвинутої інфраструктури.	Необхідність значних капітальних інвестицій на відбудову, підведення доріг, залізниць та енергопостачання.
Екологічні та соціальні ризики	Спротив місцевих громад через побоювання щодо впливу гірничих робіт на довкілля. Відсутність прозорого діалогу між надрокористувачами та громадами.	Законодавче закріплення механізмів соціального партнерства та обов'язкового проведення оцінки впливу на довкілля з активною участю місцевого населення.
Кадровий дефіцит	Недостатня кількість кваліфікованих геологів, інженерів (зокрема, з досвідом роботи з літєм, рідкісними землями та сучасними технологіями).	Цільова освіта у ЗВО, залучення експертів-іноземців для підвищення кваліфікації українських фахівців у сфері освоєння критичної сировини

Список використаної літератури:

1. Баряцька Н.В. Поняття критичної сировини – інструмент стимулювання розвитку надрокористування в Україні. Мінеральні ресурси України. № 2. 2020. – С. 13-18. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.13-18>
2. Рудько Г.І., Бала Г.Р. Критична мінеральна сировина та її перспективи в Україні. Мінеральні ресурси України. № 2, 2021. С.3-14. <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14>
3. Сукач В.В., Ісаков Л.В., Безвинний В.П., Шпильча. В.О. Пошуки родовищ рідкісних металів у Східноукраїнській пегматитовій області – важливий складник геологорозвідувальних робіт в Україні. Мінеральні ресурси України. № 4, 2021. С.6-15. <https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.6-15>

Толкач О.М., к.т.н., доц.,

Державний університет

«Житомирська політехніка»

Панченко Д.С., нач. ДСЦ

ТОВ «Гранітний кар'єр»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОНУСНИХ ДРОБАРОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ RFD

На гірничопромислових комплексах із виробництва щебеню дроблення гірничої маси є одним із базових технологічних процесів, який призначений для доведення вихідного матеріалу до необхідної крупності та гранулометричного складу. Даний процес характеризується досить високою енергоємністю, яка переважно залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу дроблення (гірської породи). При переробці гранітів на щебінь, як правило, застосовують три стадії дроблення, кожна із яких характеризується використанням різних за типом та розмірами дробарок. Так, на першій стадії встановлюють щоківі дробарки, на другій – конусні дробарки середнього дроблення, на третій – конусні дробарки дрібного дроблення та/або відцентрові дробарки. Серед трьох стадій дроблення при виробництві високоякісного кубовидного щебеню (фр. 5-10 та 10-20 мм), остання стадія є завершальною та такою, яка визначає якість усієї технологічної операції дроблення.

Конусні дробарки дрібного дроблення за конструкцією та принципом дії дуже схожі на дробарки середнього дроблення та відрізняються тільки довжиною зони дроблення та розміром вихідної щілини. Під час робочого процесу у конусній дробарці дрібного дроблення окремі шматки матеріалу, розміри яких більші за розміри розвантажувальної щілини, роздавлюються під впливом перервного, поступово наростаючого тиску у кільцеподібному просторі між двома конусами, вставленими один в одного. Коли поверхні, що дроблять, зближуються, матеріал дробиться, а коли розходяться, подрібнений матеріал розвантажується та провалюється вниз. Взагалі конусні дробарки мають низку важливих переваг перед іншими видами дробарок, а саме: можуть працювати «під завалом», без живильника, мають порівняно високу продуктивність (до 3000 т/год), менш чутливі до перевантажень. Враховуючи вище сказане, конусні дробарки, зокрема і дробарки дрібного дроблення, призначені для дроблення саме міцних абразивних матеріалів, та, відповідно, часто є об'єктом різноманітних удосконалень, що мають на меті покращення якості дроблення, зниження енергоємності процесу та зношення частин дробарки тощо.

Одним із ключових факторів, який впливає на ефективність роботи конусних дробарок, є рівномірність розподілу матеріалу живлення в камері дроблення, що створює необхідні умови для отримання кубовидного щебеню, рівномірного зношування броней дробарки та скорочення циклів дроблення. Продукт живлення конусних дробарок третьої стадії характеризується достатньо широким діапазоном розмірів частинок від 5 до 50 мм, а самі дробарки працюють по замкнутій схемі дроблення. Конусні дробарки працюють найефективніше при заповненій камері дроблення та постійній подачі матеріалу (робота під завалом). Під час технології виробництва щебеню подача матеріалу може змінюватися з багатьох причин. Коливання швидкості впливає на траєкторію руху матеріалу та його розподіл у камері. Коливання швидкості потоку легко контролювати за допомогою буферних бункерів із живильниками (вібраційними або стрічковими). Датчики рівня забезпечать постійну наявність матеріалу як у бункері, так і в завантажувальному бункері дробарки. Однак бункери та живильники не забезпечують добре розподілений, гомогенізований матеріал. Процес вивантаження з конвеєра в бункер призводить до сегрегації (неоднорідності) матеріалу, яке істотно впливає на ефективність роботи дробарок..

Для вирішення проблем неоднорідності більшість досліджень було зосереджено на вдосконаленні дробарок. Однак, у ході досліджень було помічено, що однією з причин нерівномірної градації подрібнених матеріалів є те, що продукти живлення нерівномірно розподіляються у камері дроблення, так як потрапляють туди розділено (рис. 1).



Рис. 1. Сегрегація матеріалу при завантаженні у конусну дробарку

Продукт живлення, як правило, падає у дробарку під дією сили тяжіння: дрібні частинки падають разом, а більші – окремо. Сегрегація матеріалу потенційно призводить до нерівномірного подрібнення, повторного подрібнення, нерівномірного зношування комплексу бронеї та підвищенню лещадності щебеню.

Для досягнення рівномірного розподілу матеріалу живлення конусних дробарок використовується система RFD (Rotating Feed Distributor). Система із обертовим розподільником завантаження встановлюється над конусною дробаркою та є частиною технологічної лінії (рис. 2). Розподільник завантаження (RFD), що обертається, являє собою пристрій, який рівномірно розподіляє завантаження по дробильній камері конусної дробарки, забезпечуючи рівномірний знос, підвищену продуктивність і поліпшені умови роботи, а також покращує якість подрібненого матеріалу.

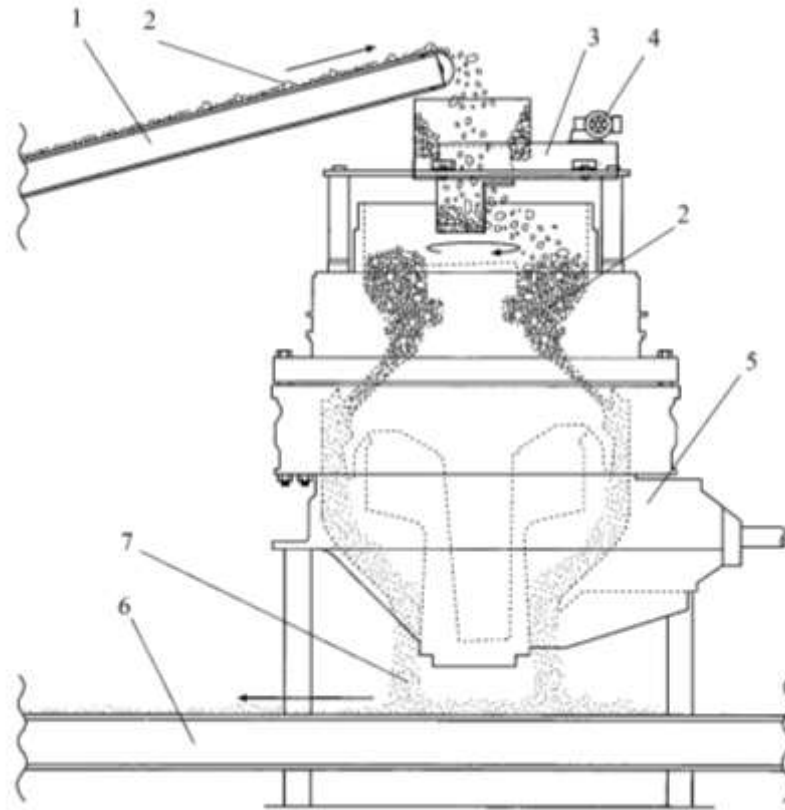


Рис. 2. Загальний вигляд конусної дробарки із системою RFD:

1 – живильник; 2 – матеріал живлення; 3 – система RFD; 4 – двигун RFD;
5 – конусна дробарка; 6 – розвантажувальний конвеєр; 7 – подрібнений матеріал

Розподільник подачі містить платформу для прийому породи та жолоб з вхідним та вихідним отворами, через які проходить матеріал живлення. Розподільник подачі призначений для зменшення зносу шляхом рівномірного розподілу матеріалу дроблення в дробарці. Жолоб підтримується та обертається за допомогою двигуна, приводних ременів, шківної конструкції, опорних підшипників та натяжних коліс. Шківна конструкція включає фланець та грань, які загалом ортогональні один до одного. Ремені, опорні підшипники та натяжні колеса входять у зачеплення зі шківною конструкцією.

Застосування системи RFD на конусних дробарках забезпечує усунення сегрегації матеріалу живлення, що, у свою чергу, стабілізує тиск в гідросистемі. Це значно зменшує кількість гідравлічних преревантажень під час дроблення дробарки і, як наслідок, збільшує тривалість роботи дробарки у встановлених режимних параметрах із необхідним розміром розвантажувальної щілини (CSS). З точки зору процесу це означає, що розподіл розміру продукту є набагато більш стабільним, а кількість рециркуляційного навантаження зменшується. Таким чином, дробарка може працювати з меншими параметрами CSS, що призведе до отримання дрібнішого продукту. З механічної точки зору, частота механічних поломок конусної дробарки зменшиться завдяки нижчому тиску, який відчуває дробарка.

Флюх М. В., студент 1 курсу, гр. ГТ-51

Науковий керівник: Гребенюк Т. В., к.т.н., доцент

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН ШЛЯХОМ ЛОКАЛЬНОГО ХІМІЧНОГО РОЗМ'ЯКШЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Буріння свердловин у твердих і міцних гірських породах залишається однією з найбільш енергоємних та вартісних операцій у гірничій справі, геологорозвідці та підземному будівництві. Висока міцність порід зумовлює значні енерговитрати, прискорений знос доліт і простої обладнання. В умовах нагальної потреби відновлення інфраструктури України та підвищення ефективності видобутку корисних копалин ця проблема набуває особливої гостроти. Тому пошук інноваційних способів попереднього ослаблення породи безпосередньо перед її руйнуванням є перспективним. За аналогією з термомеханічним бурінням, де породу попередньо нагрівають для зниження міцності [1], хімічний вплив може стати додатковим інструментом для полегшення руйнування.

Сучасні технології буріння включають механічні методи (обертальне, ударно-обертальне, турбобуріння), застосування високоефективних доліт типу PDC та оптимізацію бурових розчинів і режимів навантаження [1]. Окремим напрямом є комбіноване термомеханічне буріння, у якому попередній тепловий вплив на вибій дає змогу зменшити контактні напруження на різальній поверхні долота та стабілізувати процес руйнування породи [1]. Проте при роботі у твердих абразивних породах, таких як граніти, кварцити чи міцні пісковики, цього часто недостатньо: необхідні значні осьові навантаження та крутні моменти, що обмежується можливостями обладнання та підвищує ризик втрати стійкості стінок свердловини [2, 3].

Метою роботи є огляд та обґрунтування можливості зменшення енерговитрат та підвищення швидкості буріння за рахунок локального хімічного послаблення гірських порід у привибійній зоні на основі аналізу впливу реагентів на міцнісні характеристики порід, розроблення схеми подачі реагенту та оціночних розрахунків енергетичного ефекту й витрат реагенту.

Суть запропонованої технології полягає у комбінованому механіко-хімічному бурінні. Передбачається, що через спеціальні канали в буровому долоті або через окремий інжектор безпосередньо в зону перед ріжучими елементами подається розчин хімічного реагенту низької концентрації. Взаємодіючи з породою, реагент спричиняє низку ефектів: часткове розчинення або деструкцію цементуючого матеріалу, що зв'язує мінеральні зерна; збільшення мікропористості та ініціацію мікротріщин. Це призводить до значного зниження ключових показників міцності породи, зокрема межі міцності на стиск і розтяг [2, 4]. Як наслідок, для руйнування ослабленого шару породи потрібні менша осьова сила та крутний момент, що дозволяє підвищити швидкість проходки та зменшити інтенсивність зносу долота. Важливою перевагою є локальність процесу: реакція відбувається у тонкому шарі безпосередньо на вибої, а продукти реакції та залишки реагенту одразу виносяться на поверхню циркулюючим буровим розчином.

Важливим аспектом є вибір реагентів, які мають бути ефективними при низькій концентрації, некорозійними щодо обладнання, з контрольованим часом реакції та сумісними з буровим розчином. Для карбонатних порід доцільно застосовувати розчини слабких органічних кислот (лимонної, оцтової), що, реагуючи з кальцитом, знижують міцність породи [2, 4]. Для теригенних порід, таких як пісковики, перспективними є композиції на основі комплексоутворювачів і ПАР, що послаблюють глинистий цемент [2, 3]. Подача реагенту може бути постійною (через буровий розчин) або імпульсною перед проходженням особливо міцних інтервалів.

Оцінку ефективності технології можна провести на основі аналізу зміни механічних властивостей породи. Згідно з літературними даними, кислотна обробка здатна знижувати міцність карбонатних і теригенних порід на 30–80% [2, 4].

$$\sigma_{c1} = 0,7 \sigma_{c0} \quad (1)$$

Припустимо, що вихідна міцність породи на одновісний стиск становить $\sigma_{c0} = 120$ МПа. Після хімічної обробки вона може знизитися на 30 %, тобто $\sigma_{c1} = 0,7 \cdot \sigma_{c0} = 84$ МПа. Оскільки питома енергія руйнування (MSE) є пропорційною до міцності породи, її зменшення на 30 % означає аналогічне зниження

енергоємності процесу буріння та потенційне підвищення швидкості проходки за тих самих навантажень. За рахунок локального характеру впливу витрата реагенту залишається порівняно невеликою.

Важливим є екологічний аспект запропонованої технології. Передбачається використання малоконцентрованих біорозкладних реагентів, продукти реакції яких нейтралізуються в циркуляційній системі. Порівняно з енергоємними термічними методами це дає змогу зменшити споживання енергії та викиди CO₂, а інтеграція в замкнутий цикл використання бурового розчину мінімізує вплив на довкілля.

Таким чином, запропонований метод локального хімічного розм'якшення гірських порід є перспективним напрямом інтенсифікації буріння. Він дозволяє знизити міцність породи безпосередньо в зоні руйнування, що потенційно веде до зменшення енерговитрат, підвищення швидкості проходки та продовження терміну служби бурового інструменту. Технологія може бути реалізована з мінімальною модернізацією існуючих бурових установок. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на проведення лабораторних експериментів з реальними зразками порід, оптимізацію складу реагентів та режимів їх подачі, а також на детальне техніко-економічне та екологічне обґрунтування методу.

Список використаної літератури:

1. Rossi E., Schuster R., et al. The influence of thermal treatment on rock–bit interaction in combined thermo–mechanical drilling // *Geothermal Energy*. – 2020. – Vol. 8, No. 1. – P. 1–23.
2. Alameedy U., Fatah A., Abbas A.K., Al-Yaseri A. Matrix acidizing in carbonate rocks and the impact on geomechanical properties: a review // *Fuel*. – 2023. – Vol. 349. – Art. 128586.
3. Geng H., Qin L., Zhang B. Acid solution decreases the compressional wave velocity and strength of sandstone // *Heritage Science*. – 2019. – Vol. 7, No. 1. – P. 1–14.
4. Chen W., Yang J., Li L., Wang H., Huang L., Jia Y., Hu Q., Jiang X., Tang J. Investigation of mechanical properties evolution and crack initiation mechanisms of deep carbonate rocks affected by acid erosion // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15, No. 15. – Art. 11807.

Шапар Я.Р. , студент, II курс, ГГ-28м,
Панасюк А.В. , кандидат технічних наук, доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Гірничодобувна промисловість вступає в етап глибокої техніко-технологічної трансформації, у якій визначальною стає роль високошвидкісного та наднадійного зв'язку. Інтенсивна інтеграція штучного інтелекту, кіберфізичних систем та автономного технологічного транспорту формує нову парадигму видобутку, орієнтовану на підвищення безпеки, енергоефективності та операційної стійкості.

На середину 2024 року у світі експлуатувалося приблизно 2080 автономних вантажних самоскидів, а до 2026 року їхня кількість, згідно з прогнозом моделлю експоненціального зростання, має досягти близько 2800 одиниць. Динаміку збільшення кількості таких машин можна описати емпіричною формулою:

$$N(t) = N_0 \times e^{at}$$

де, $N(t)$ — кількість автономних транспортних засобів у момент часу (t);

N_0 — кількість на початковий момент;

e^{at} — коефіцієнт темпу цифрового впровадження.

Ключовим чинником успішного функціонування автономних систем є здатність обробляти та передавати великі масиви даних у реальному часі. Обсяг переданої інформації автономною машиною можна сформулювати як:

$$D = \sum_{i=1}^S k_i \times R_i$$

де, S — кількість сенсорів;

k_i — коефіцієнт чутливості або інформаційної щільності (i)-го сенсора;

R_i — частота дискретизації даних.

За умов взаємодії кількох автономних транспортних засобів додатково виникає потреба у забезпеченні наднизької затримки зв'язку. Основний критерій для систем рівня автономності 4–5 описують нерівністю:

$$Latency \leq 10\text{мс}$$

що відповідає вимогам до мереж 5G та перспективних 5G Advanced / 6G.

Пропускна здатність каналу, необхідна для стабільної роботи групи транспортних засобів, може бути оцінена через формулу Шеннона:

$$C = B \times \log_2(1 + SNR)$$

де, C — максимальна пропускна здатність каналу;

B — ширина смуги;

SNR — відношення сигнал/шум.

У низці гірничих регіонів пропускної здатності або ширини смуги (B) недостатньо, що призводить до перевантаження мережі та зростання латентності, наслідком чого є зменшення точності маневрування автономної техніки.

Відсутність належного зв'язку залишається однією з найбільш критичних проблем гірничодобувної індустрії, адже значна частина родовищ розташована у районах із нерозвинутою телекомунікаційною інфраструктурою. Це формує системні труднощі у розгортанні цифрових платформ, зокрема планувальників маршрутів, систем віддаленого керування та хмарних аналітичних модулів.

Водночас сучасні рішення на базі хмарно-мережових архітектур дозволяють створювати єдине «цифрове ядро» гірничого підприємства, що реалізує когнітивне управління транспортними потоками. Оптимізацію руху групи машин можна описати задачею мінімізації:

$$\min F = \sum_{i=1}^n (t_i + \beta \times E_i)$$

де, t_i — час проходження маршруту для (i)-го транспортного засобу;

E_i — його енергоспоживання;

β — ваговий коефіцієнт залежно від виробничих пріоритетів.

У складних геоморфологічних умовах (плато, круті укоси, звивисті виїзні траси) автономні системи використовують алгоритми адаптивного планування траєкторії. Їх можна формально подати як:

$$x_{t+1} = f(x_t, \nabla h, \theta).$$

де, x_t — положення транспортного засобу в момент часу (t);

∇h — градієнт рельєфу;

θ — параметри моделі навігації.

Такі алгоритми забезпечують точне маневрування та компенсацію впливу складної геометрії дороги.

Гаразд — нижче подаю науково відредаговану версію тексту в стилі академічної наукової статті: формулювання більш формальні, логічні зв'язки виражені чіткіше, усунено емоційність, введено терміни, структуру та відповідний стиль подачі.

Автоматизація гірничих робіт відіграє ключову роль у трансформації сучасних гірничодобувних підприємств, оскільки забезпечує зниження виробничих ризиків, оптимізацію технологічних процесів та підвищення ефективності використання трудових ресурсів. Впровадження автономних і дистанційно керованих систем сприяє скороченню кількості працівників, задіяних у небезпечних виробничих середовищах, що має виразний соціально-економічний ефект. Формування операторських центрів нового типу створює попит на високотехнологічні компетентності, частково компенсуючи дефіцит кваліфікованих кадрів у галузі.

Комплексна цифровізація гірничого виробництва, що включає використання віртуальних моделей родовищ, автономного транспорту, мобільних мереж п'ятого покоління (5G) та хмарної обробки даних, формує технічне підґрунтя для переходу до високопродуктивних та енергоефективних виробничих систем. Одним із визначальних факторів їх ефективного впровадження є стан інфраструктури передачі даних, що забезпечує комунікацію між обладнанням та центрами керування.

Автономні транспортні комплекси четвертого та п'ятого рівнів автономності потребують високошвидкісних мереж з мінімальною затримкою, гарантованою пропускну здатністю та стійкістю до втрат сигналу. Ці характеристики забезпечують можливість обробки великих обсягів сенсорної інформації в режимі реального часу та своєчасного прийняття коригуючих рішень. Таким чином, розбудова цифрової інфраструктури на базі технологій 4G/5G та периферійних обчислень (EDGE computing) є критичною умовою для повноцінного функціонування автономних систем.

Однак аналіз сучасного стану цифрової інфраструктури гірничодобувних підприємств засвідчує низку системних обмежень. Значна частина виробничих об'єктів розташована у віддалених регіонах із недостатнім покриттям мобільних мереж, обмеженою пропускну здатністю каналів зв'язку та відсутністю уніфікованих стандартів промислової комунікації. Фрагментованість систем збору та передачі даних ускладнює координацію між транспортними, навантажувальними та диспетчерськими підсистемами, що знижує якість оперативного керування та створює бар'єри для впровадження інтелектуальних технологій.

Проблеми зв'язку особливо проявляються в підземних умовах, де стабільна передача даних є технічно складною. У таких середовищах упровадження систем дистанційного керування та автономного пересування техніки часто унеможливується через відсутність достатньо стійкої мережевої інфраструктури. Тому створення інтегрованої цифрової екосистеми з використанням технологій штучного інтелекту, універсальних стандартів передачі даних та мереж 4G/5G є необхідною передумовою для цифрової трансформації підприємств.

Застосування інтелектуальних виробничих систем відкриває можливість реалізації сценаріїв підвищеної складності, включаючи автономне транспортування в умовах кар'єрів із екстремальними температурними та геомеханічними параметрами, оптимізоване маршрутування змішаних колон транспортних засобів, а також хмарне керування розподілом машинно-тракторного парку. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє здійснювати динамічне планування траєкторій руху, вибір оптимальних режимів роботи та прогнозування можливих відхилень за допомогою аналізу потокових даних.

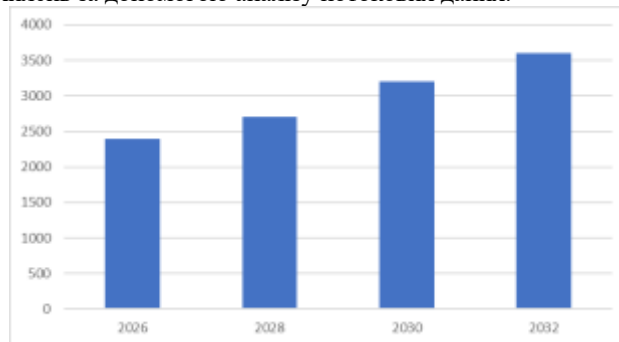


Рис. 1. Прогноз зростання автономних транспортних засобів у гірничодобувній промисловості

Автоматизація також виконує важливу компенсаторну функцію в умовах структурного дефіциту кадрів у гірничій промисловості. Перехід до дистанційних форм керування підвищує безпеку та привабливість професії для молодих фахівців, мінімізуючи ризики роботи в небезпечних виробничих середовищах та сприяючи формуванню нової моделі професійної підготовки, орієнтованої на компетентності у сфері робототехніки, автоматизації та аналітики даних.

Головними викликами для підприємств залишаються забезпечення технологічної безпеки, мінімізація операційних втрат та оптимізація виробничих процесів. Недостатня оперативність передачі даних, неузгодженість роботи транспортних та навантажувальних комплексів, а також надмірна витрата пального свідчать про необхідність подальшої інтелектуалізації виробництва. Технології нового покоління, що ґрунтуються на аналізі даних у реальному часі, відіграють ключову роль у формуванні ефективних і стійких виробничих систем.

Шепель П.В., студент 4 курсу
Башинський С.І., к.т.н., доц.

Державного університету "Житомирська політехніка"

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОФІЛІТОВОЇ СИРОВИНИ В ЯКОСТІ ТЕРМОГЕНЕРУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Вступ.

Традиційно в теплотехніці та електроопаленні використовуються стандартизовані матеріали, такі як магnezит, шамот або бетон. Однак пошук більш ефективних, екологічних та доступних сировинних баз приводить до вивчення функціональних властивостей метаморфічних мінералів.

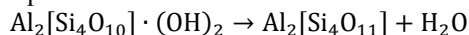
Пірофіліт ($\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$) – шаруватий алюмосилікат групи тальку-каолініту. Ця порода демонструє комплекс унікальних фізико-механічних та термодинамічних властивостей, що виводять її за межі конструкційних або ізоляційних матеріалів. Ключова перевага полягає у її природній високій щільності та специфічній кристалічній структурі. На відміну від аморфних матеріалів, пірофіліт має потенціал для ефективного запасання теплової енергії через фоновий механізм теплопровідності, що робить його ідеальним кандидатом для використання в системах акумуляційного електроопалення.

Основне викладення матеріалу

Перший вектор досліджень, що базується на напрацюваннях українського вченого О.М. Толкача, фокусується на пасивній, але критично важливій функції матеріалу – його здатності до ефективного накопичення та тривалого утримання теплової енергії, що є основою для акумуляційного опалення.

Винятково високі показники об'ємної теплоємності пірофілітовий сланець демонструє не у вихідному, а у термічно модифікованому стані. Високотемпературний випал запускає фазове перетворення, яке радикально змінює макроскопічні характеристики матеріалу:

Дегідроксилювання (реакція при 600-800°C): Відбувається втрата хімічно зв'язаної води у вигляді гідроксильних груп (ОН), згідно з рівнянням:



Цей процес не призводить до повного руйнування шаруватої структури, але викликає її переупаковку.

Ущільнення структури: Внаслідок дегідроксилювання формується метастабільна фаза пірофіліт-ангідриту $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]$. Ця фаза характеризується значним підвищенням щільності до $\rho \approx 2,85 \text{ г/см}^3$ у порівнянні з вихідною породою.

Саме комбінація високої питомої теплоємності (c_p) та надзвичайної щільності (ρ) забезпечує високу об'ємну теплоємність (c_v). Експериментальні дані О.М. Толкача фіксують c_p у діапазоні 0,84-1,04 кДж/(кг·К), що перевищує показники традиційних теплоакумуляторів (шамот, бетон) на 20-30%. Це дозволяє одному кубічному метру модифікованої пірофілітової породи акумулювати понад 300 кВт·год теплової енергії при нагріві до робочих температур (500-600°C).

Важливою функціональною особливістю пірофіліту є його помірна теплопровідність $\lambda \approx 1,5 - 2,0 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Ця властивість створює ефект «теплового демпфера». Матеріал здатен швидко поглинати тепло від внутрішнього джерела завдяки високій c_v , але віддає його в навколишнє середовище повільно і лінійно. Це може знайти застосування в наступному. Згладжування температурних піків – ядро нагрівача може мати високу температуру, тоді як зовнішня поверхня підтримує комфортну температуру. Тривала тепловіддача – система здатна функціонувати як джерело м'якого тепла протягом 6-12 годин після відключення джерела енергії, що є критичним для режиму нічної зарядки або в умовах блекаутів.

Для використання пірофіліту в якості теплонагрівача слід перетворити природний діелектричний пірофіліт на активний електропровідний елемент. Ця задача вирішується шляхом створення композиту з вуглецевим наповнювачем, використовуючи методологію Олександра Мельника. Це вирішується шляхом введення дисперсного графіту в керамічну матрицю пірофіліту з метою досягнення порогу перколяції (протікання) електричного струму. При змішуванні частинки графіту рівномірно розподіляються. При досягненні критичної концентрації (емпірично встановлено близько 9-12% за масою) вони утворюють безперервну, розгалужену тривимірну мережу контактів. У цей момент матеріал демонструє стрибкоподібну зміну властивостей: від ефективного діелектрика до напівпровідника/провідника.

Інтеграція підходів О. Толкача (висока теплоємність матриці) та О. Мельника (електропровідність) дозволяє створити єдиний твердотільний елемент, що поєднує функції генерації та акумуляції тепла, що є критичним для забезпечення енергонезалежності будівель.

Пірофіліт-графітове ядро є повноцінним твердотільним пристроєм, що поєднує дві ключові функції – генерацію тепла (електроопалення) та його тривале зберігання (енергонезалежність). Ця технологія базується виключно на модифікації властивостей доступної гірської породи, пропонуючи надійну та довговічну альтернативу складним електронним або хімічним системам теплоакумуляції.

Шлапак В.О., к.т.н., доц.
Тарнавський Д.О., студент, ГГ-28м
Державний університет «Житомирська політехніка»

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН: ТЕХНОЛОГІЇ, БЕЗПЕКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Розвиток сучасної видобувної промисловості нерозривно пов'язаний із вдосконаленням гірничих технологій. Вони виступають ключовою складовою, що покликана забезпечити не лише економічну доцільність, але й раціональне та збалансоване вилучення корисних копалин із надр. Пріоритетним завданням стає мінімізація екологічних та техногенних ризиків, що супроводжують гірничі роботи. Досягнення цих цілей вимагає комплексного підходу, який включає автоматизацію технологічних процесів, глибоку оптимізацію систем розробки родовищ, а також широке впровадження інтелектуальних інформаційних систем. Такі системи дозволяють здійснювати дієвий контроль за ключовими параметрами видобутку в режимі реального часу.

Однією з фундаментальних вимог при розробці родовищ є суворе дотримання технологічних параметрів, особливо під час проведення буріння та вибухових робіт (БВР). Якість підготовки гірничої маси на цьому етапі безпосередньо впливає на всі подальші ланки технологічного ланцюга.

Розрахунок необхідної кількості вибухових речовин (ВР) та визначення оптимальних параметрів сітки свердловин є стандартизованою процедурою, що виконується за нормативними методиками. Наприклад, маса заряду для однієї свердловини може бути визначена за допомогою виразу (1):

$$Q = q * d^2 * h, (1)$$

де Q – маса заряду, кг;

q – питома витрата вибухової речовини на 1 м³ породи, кг/м³;

d – діаметр свердловини, м;

h – глибина свердловини, м.

Точність, досягнута на етапі розрахунку параметрів вибуху, має вирішальний вплив на фракційний склад підірваної гірничої маси та загальний ступінь її дроблення. Це, у свою чергу, визначає подальшу ефективність процесів збагачення. У випадку недостатнього первинного подрібнення (утворення "негабариту"), підприємство несе суттєві додаткові витрати, пов'язані з транспортуванням та необхідністю вторинного дроблення, що є вкрай енергоємним процесом. Таким чином, оптимізація кількості ВР та параметрів БВР є прямою задачею зниження енерговитрат. Вона дозволяє покращити якісні показники гірничої маси та мінімізувати потребу у вторинному дробленні.

У сфері підземного видобутку широке застосування отримали комбайнові технології. Їх ключова перевага полягає у забезпеченні безперервного процесу руйнування масиву та виїмки корисної копалини. Важливою інтегральною характеристикою для оцінки ефективності таких систем є добова продуктивність очисного вибою, що визначається виразом (2):

$$P = A * k * t, (2)$$

де P – продуктивність, т/добу;

A – об'єм гірничої маси, що руйнується за одну годину, м³/год;

k – коефіцієнт заповнення транспортних засобів;

t – тривалість роботи обладнання за добу, год.

Паралельно відбувається вдосконалення технологій відкритих гірничих робіт. Сучасні кар'єри оперують значними обсягами гірничої маси, що вимагає застосування відповідного обладнання. Це включає високомісткі автосамоскиди, потужні екскаватори та інтегровані дробильно-сортувальні установки. Для подальшого підвищення продуктивності та зниження операційних витрат впроваджується принцип безперервного транспорту. У таких схемах традиційні автосамоскиди замінюються на магістральні конвеєрні лінії, що забезпечують безперервний потік гірничої маси від вибою до пунктів перевантаження чи збагачення.

Із зростанням глибини кар'єрів та ускладненням гірничо-геологічних умов критично важливе значення набуває моделювання напружено-деформованого стану (НДС) масиву порід. За допомогою сучасних

геомеханічних моделей фахівці прогнозують стійкість бортів кар'єрів та уступів. Це дозволяє завчасно оцінити ризик зрушень та утворення тріщин, що є основою безпечного ведення робіт. Основою для таких моделей слугують фундаментальні рівняння міцності породи, як-от критерій (3):

$$\tau = \sigma * tg\varphi + c, (3)$$

де τ – граничне напруження зсуву;
 σ – нормальні напруження, що діють на площадці;
 φ – кут внутрішнього тертя породи;
 c – коефіцієнт зчеплення породи.

Контроль стійкості уступів та виробок залишається одним із головних факторів забезпечення безпеки персоналу та обладнання на гірничому підприємстві. Для реалізації цього завдання відбувається поступове впровадження цифрових систем моніторингу. Сучасні геодезичні та геофізичні системи моніторингу (наприклад, радарні інтерферометри, тахеометричні комплекси, GPS-приймачі) дозволяють фіксувати найменші зміщення масиву з точністю до міліметрів у режимі реального часу. Окрім контролю стійкості, цифрові системи дозволяють контролювати параметри буріння, відстежувати рух техніки та оптимізувати процеси навантаження гірничої маси. Впровадження таких даних систем значно зменшує ризик аварій, підвищує точність виконання БВР та загальну ефективність транспортної логістики кар'єру.

У структурі собівартості видобутку суттєву роль відіграють енергетичні витрати. У зв'язку з цим, питання енергозбереження є одним із пріоритетних напрямів модернізації. Комплекс заходів у цій сфері включає впровадження електромобільної кар'єрної техніки (тролейвози, електротранспорт), використання частотного регулювання для приводів дробильного обладнання, рекуперацію тепла та оптимізацію параметрів буровибухових робіт, що, як зазначалося раніше, знижує витрати на подрібнення. Практика показує, що такий комплексний підхід дозволяє зменшувати питомі витрати електроенергії на 20–30 %.

Таким чином, сучасний розвиток гірничих технологій має чітко виражений комплексний характер. Він спрямований на створення високотехнологічних, автоматизованих систем видобутку. Ключовими векторами цього розвитку є не лише підвищення продуктивності, але й паралельне вирішення завдань енергоефективності та забезпечення високого рівня екологічної та техногенної безпеки.

**Ярошевець-Баранова К.А., мол.наук.спів.,
відділ геоекології та пошукових досліджень
Інститут геологічних наук НАН України**

СУЧАСНИЙ СТАН ТОРФОВИХ ПОКЛАДІВ ЖИТОМИРЩИНИ

Перші відомості про торфові родовища Житомирщини з'явилися напр. XIX ст., починаючи з 1873 р. по 1898-х роках Житомирщині для потреб лісництва та сільського господарства (рис.1), відбулося видобування торфу. Побудовано понад 4 700 км осушувальних каналів [1], а після 1917 року темпи осушення зменшилися, хоча загальна площа осушених земель збільшилася [4].

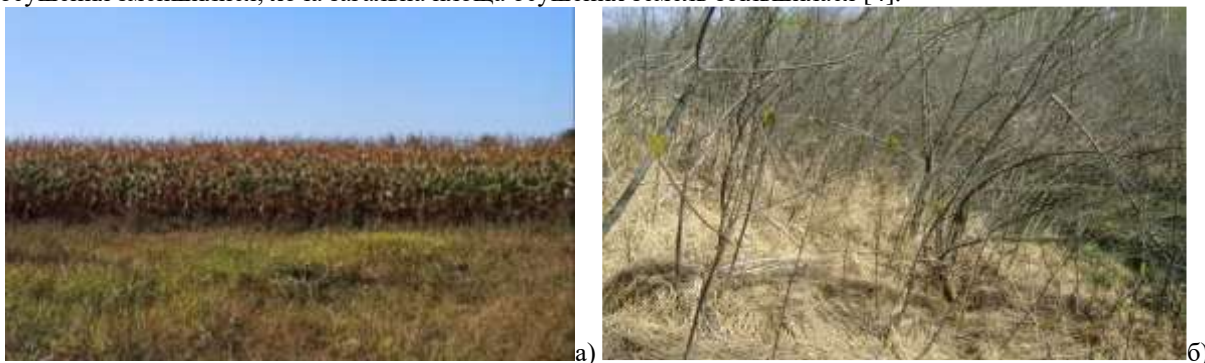


Рис. 1. Використання ділянки «Бучмани» а) під вирощування сільськогосподарських культур, сінокіс та ділянка торфовища «Чистина» б)

Торфові поклади, під впливом тривалої осушувальної меліорації, обробітку ґрунту, застосування засобів хімізації вирощуваних культур [2] (внесення мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин, регуляторів росту рослин, тощо), функціонування окремих фізіологічних груп мікроорганізмів докорінно змінюють хімічні та водно-фізичні властивості покладу, перераховані фактори спрямовані на посилення окислювальних процесів, а разом з тим на інтенсивне руйнування самої органічної речовини торфу [2]. Процес осушення супроводжується рядом негативних наслідків: спрацювання торфу, погіршення теплових властивостей, температурного режиму та розвитком ерозійних процесів [5].

Відбуваються активні зміни водного режиму і водно-фізичних властивостей торфового покладу: збільшується зольність, а повна вологоємність починає зменшуватися [2], посилюються процеси біохімічного розкладання торфового покладу, змінюється склад рослинності ґрунтового покриву [3], гідрофільна рослинність, не пристосована до вже автоморфних ґрунтів, швидко відмирає. На зміну їй поступово приходять ксерофільна рослинність. У випадку осушення і освоєння боліт зменшуються ареали холодостійких і вологолюбних видів. На зміну їм приходять помірно теплолюбні і посухостійкі види [5].

У зв'язку з цим існує потреба в проведенні детальних досліджень зміни їх складу та властивостей. Моніторингові дослідження фізико-хімічних властивостей на торфовищі «Бучмани» проводилися 28-29 вересня 2023 р., тобто через 57 років. Торфоздобування механізованим способом на території родовища здійснювалася у 60-х роках минулого століття. На сьогодні торфовище меліороване способом відкритих дренажних каналів, сполучених з руслом р. Жерев. На період проведеного дослідження територія використовувалася переважно під угіддя для вирощування сільськогосподарських культур та багаторічних трав, для випасання худоби або сінокіс.

Осушення на території торфовища призвело зміни водного режиму і фізичних властивостей торфового покладу: кислотність та вологість, що в свою чергу змінило склад рослинності – зменшилася кількість гідрофітів і мезогідрофітів на рослинні угруповання більш суходольними. З великого переліку властивостей в нашому дослідженні аналізується один із найважливіших показників – рН-показник, який має важливе значення для підкислення основного ґрунту, мульчування ґрунту і в якості основи для приготування поживних торфосумішей. Порівнюючи показники кислотності отримані при розвідці в 1966 р., яка становила (рН) – 8,2, на сучасному етапі кислотність торфового покладу знизилася і коливається – $\text{pH}_{\min} = 6,0$, $\text{pH}_{\max} = 6,7$, тобто кислотність сягає майже нейтральних показників (рис.2.).

В 60-х роках вологість (W) становила від 79,0 до 96,3% в верхніх і нижніх горизонтах відповідно. Станом на момент проведення дослідження вологість торфу варіює від 10% до 80%, водночас вологість збільшується із глибиною покладу. Зменшення вологовмісту верхнього торфового горизонту покладу змінилося у зв'язку випаровування вологи з верхніх шарів, зі зміною метеорологічних умов: зниженням температури повітря взимку, посушливого літа, невеликої кількості атмосферних опадів.

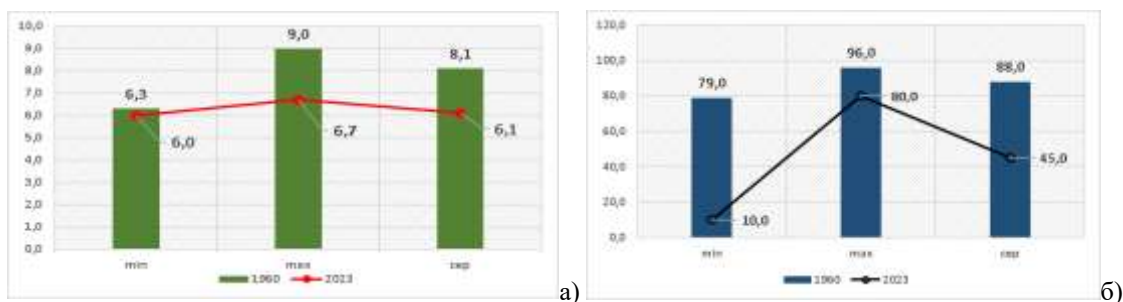


Рис. 2. рН-показник (а) та вологість (б) торфу на торфовищі «Бучмани» на 1960 р. та 2023 р.

З метою освоєння території меліоративні осушувальні роботи на торфовищі «Чистина» розпочалися в останні десятиліття XIX ст. Перші дослідження і роботи були виконані Західною експедицією під керівництвом Й.І. Жилінського [7]. На сьогодні меліороване угіддя не використовуються за призначенням, через високі рівні води пригнічується коренева система дерев, навколоболотні території заростають чагарниками і непромисловими видами дерев, переважно березою, вільхою. За даними досліджень, проведених у 2018 р. (рис.3), середня зольність торфу становить 13,7% в порівнянні з показниками детальної розвідки 1966 р., зольність збільшилася несуттєво і становить 13,3% [7].

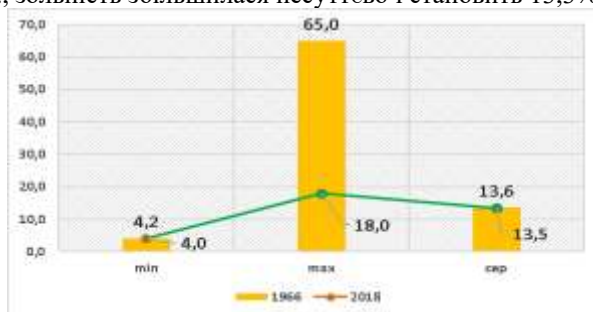


Рис. 3. Показники зольності на торфовищі «Чистина»

Отже, інтенсивне осушення торфовищ та їх сільськогосподарське використання вплинуло та продовжує впливати на хімічні, водно-фізичні властивості покладу, змінюється водний режим та склад рослинності ґрунтового покриву. До того ж, виникають торфові пожежі та ерозії торфовищ, які призводять до економічних і екологічних збитків. У зв'язку з цим, в майбутньому, торфова промисловість повинна стати ефективною видобувно-переробною галуззю, яка буде зміцнювати енергетичну незалежність держави, а комплексна переробка торфу дозволить отримати більше 100 видів продукції різного призначення [6], тому існує необхідність сприяти розвитку торфової промисловості, оскільки їх освоєння в подальшому суттєво знизить економічні та екологічні збитки.

Список використаної літератури:

1. Віхтманн В., Денищик О. Палюдикультура, досвід ЄС та перспективи впровадження в Україні: Компедіум/ В.Віхтманн, О.Денищик. – Грайфсвальд. 2024. –131 с.
2. Скрипніченко С.В. Трансформація торфовищ у процесі осушення та довготривалого сільськогосподарського використання [Електронний ресурс] / С.В. Скрипніченко, І.Г. Коцюба //Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2016. - № 1-2. – с. 22-24. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA_2016_1-2_6
3. Стадник О.С., Гнеушев В.О. Збагачуваність високозольного торфу: монографія. – Рівне: НУВГП, 2019. – 163 с
4. Тараріко Ю.О. Трансформація осушуваних торфових ґрунтів Західного Полісся за довготривалого сільськогосподарського використання [Електронний ресурс]/Ю.О.Тараріко, Л.В.Дацько, М.Г.Стецюк, М.Д.Зосимчук // Вісник аграрної науки. – 2016. - №9. – с.56-60. –Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2016_9_13
5. Цуман Н.В. Зміна природного середовища під впливом меліорації / Н.В. Цуман //Вісник Житомирського агротехнічного коледжу. – 2022. – Випуск № 4 (1). – С. 86-93.
6. Ярошовець-Баранова К.А., Вдовиченко А.І. Торф як альтернативне джерело енергії//Вісті Донецького гірничого інституту. №2 (51), 2022 – с.136-141. doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-2-136-141>
7. Яцюк М.В., Шевчук С.А., Шевченко А.М. Науково-експертний висновок щодо відповідності дотримання вимог водного законодавства при розробці родовища торфу у «Чистина» в Олевському районі Житомирської області/ Інститут водних проблем і меліорації НААН. – 2018. с.23.

**Банцер В.Ю., студент 3 курсу, група ПЦБ-3,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва**
Припотень Ю.К., к.т.н., доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАСТАРІЛИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ У БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЛЯХ

Модернізація вентиляційних систем у багатоквартирних будинках є критично важливою для забезпечення енергоефективності, підвищення якості внутрішнього повітря та створення комфортного мікроклімату, особливо в контексті термомодернізації будівель.

Більшість багатоквартирних житлових будинків, збудованих до 2000-х років в Україні використовують природну витяжну вентиляцію через вертикальні канали. Ефективність такої системи критично залежить від зовнішніх кліматичних умов та герметичності віконних конструкцій. Масова заміна старих вікон на нові, герметичні склопакети в рамках енергозбереження, призвела до різкого погіршення повітрообміну та, як наслідок, до зростання концентрації CO₂, вологості та шкідливих речовин усередині приміщень, виникнення цвіль та грибка на стінах, неконтрольованих втрат теплової енергії через інфільтрацію у разі поганої герметизації. Модернізація вентиляції є необхідним етапом комплексної термомодернізації.

Типові системи природної вентиляції характеризуються низькою стабільністю та нерегульованістю. Їх основними недоліками є: відсутність примусового припливу повітря, ефект "зворотної тяги, коли влітку тепле повітря з вулиці заходить у витяжний канал; поширення звуків між квартирами через загальний витяжний канал; неконтрольовані енерговтрати.

Основні підходи до модернізації вентиляційних систем можуть здійснюватися на двох рівнях: квартирному (локальному) та загальнобудинковому (централізованому).

Локальна модернізація – найбільш поширений і доступний метод, який може застосовуватися мешканцями самостійно або в рамках часткової модернізації. Припливні клапани (Aereco, Ventec) встановлюються на віконні рами або у стіну. Деякі моделі мають гігросрегульоване керування, що автоматично регулює об'єм припливу залежно від рівня вологості в приміщенні. Квартирні рекуператори (побутові рекуператори) – пристрої, що встановлюються безпосередньо у зовнішню стіну. Вони ідеальні для багатоповерхових будівель, де немає можливості прокладання централізованих повітропроводів і забезпечують примусовий приплив і витяжку з регенерацією теплоти. Ефективність рекуперації може сягати 80-90 %.

Централізована модернізація передбачає повну або часткову заміну загально-будинкової системи і вимагає узгоджених дій усіх мешканців.

Система припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла встановлюється на даху або в технічному поверсі. Повітря примусово подається у квартири та витягується через нові або існуючі повітропроводи. Перевагами такої системи є висока енергоефективність, можливість фільтрації всього припливного повітря, централізоване керування, а недоліками – необхідність прокладання нових вертикальних та горизонтальних повітропроводів (особливо у вже заселених будинках) і висока початкова вартість. Витяжна система передбачає встановлення дахових осьових вентиляторів на витяжні канали з частотним регулюванням. Це забезпечує стабільну витяжну потужність незалежно від зовнішніх умов. Цей метод часто комбінується з гігросрегульованими припливними клапанами.

Модернізація застарілих вентиляційних систем у багатоповерхових будинках доволі складний багатокомпонентний процес, який вимагає комплексної діагностики, технічного обстеження вентиляційних каналів, вибору оптимальної моделі модернізації (централізованої чи децентралізованої), впровадження автоматизації та систем управління якістю повітря.

За допомогою рекуперації, інтелектуальної автоматики, датчиків якості повітря та оптимізації вентиляційних шахт покращується енергоефективність будинків і внутрішній мікроклімат будівель.

Список використаної літератури:

1. ДСТУ Б CEN/TR 14788:2015 Вентиляція будівель. Проектування та визначення характеристик систем вентиляції житлових будинків (CEN/TR 14788:2006, IDT).
2. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
3. ДСТУ EN 16798-3:2019 Енергоефективність будівель. Вентиляція будівель. Частина 3. Вентиляція в нежитлових будівлях. Експлуатаційні вимоги до систем вентиляції та кондиціонування повітря в приміщенні (модулі M5-1, M5-4) (EN 16798-3:2017, IDT)
4. ДСТУ EN 12599:2022 Вентиляція будівель. Процедури випробувань і методи вимірювання для систем кондиціонування повітря та вентиляції (EN 12599:2012, IDT)

Болотюк Н.С., магістр 2 курсу, гр. ГС-41мп
Вапнічна В.В., к.т.н., доцент
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙ НА ЩІЛЬНУ ЗАБУДОВУ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТУНЕЛЮ МЕТРО

Будівництво метро в сучасних умовах українських міст є складним завданням, особливо коли прокладання тунелів здійснюється в зоні щільної житлової забудови. Вібраційні впливи, що виникають при експлуатації метрополітену, можуть викликати деформації фундаментів, утворення тріщин у несучих конструкціях та прискорене зношування елементів будівель. Тому мінімізація вібраційного навантаження стає ключовою умовою реалізації підземних інфраструктурних об'єктів.

Для проведення варіативних розрахунків з визначення найбільш ефективної системи, що забезпечить необхідний захист від впливу вібрації при експлуатації метрополітену, визначено ділянку будівництва з найбільш несприятливими параметрами – ґрунтовими умовами (ґрунти в основі існуючих будівель з невисокими фізико-механічними параметрами, високий рівень ґрунтових вод), конструктивними параметрами існуючих будівель (каркас будівель зі збірних залізобетонних елементів, стовбчаті та стрічкові фундаменти).

Було розглянуто шість варіантів виконання конструкції будови колії, що повинні забезпечувати необхідні експлуатаційні параметри та відповідний захист від вібрації руху поїздів метрополітену. Нижня частина будови колії однакова для всіх варіантів, відміна стосується верхньої конструкції колії.

Варіант 1 – верхня частина конструкції будови колії влаштована за допомогою рейкових блочних опор EBS (в моделі розглянуто характеристики матеріалу типу Edilon Resilient Strip).

Варіант 2 - верхня частина конструкції будови колії влаштована за допомогою лежнів з резиновими підкладками.

Варіанти 3-5 - верхня частина конструкції будови колії влаштована за допомогою віброізоляційних матів з поліуретанових еластомерів (в моделі розглянуто характеристики матеріалу типу Sylomer SR42). Розглянуто три варіанти розташування матеріалу - точкове, стрічкове та суцільне.

Варіант 6 - верхня частина конструкції будови колії влаштована за допомогою залізобетонних лежнів, а віброізолюючим матеріалом слугує піноскло, що вклене у проміжок між стінами тунелю і стіною огороження котловану.

Комплексний перевірний розрахунок системи «тунель – ґрунт – існуюча забудова» був проведений в програмному комплексі «PLAXIS».

При виконанні варіативних розрахунків враховані наступні вихідні дані, щодо навантаження :

- навантаження від вагону з пасажирями – 50 т;
- навантаження від двох тележок – 9,9 т;
- навантаження від чотирьох колісних пар – 5,8 т.

Дане навантаження приведене до осі тележки і прикладене у вигляді гармонійного динамічного навантаження з частотами: 16 Гц; 31,5 Гц; 63 Гц.

Навантаження прикладалось до елементу рейки та конструкції будови колії.

Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати розрахунків

№ п/п	Варіанти віброзахисту	Показники вібрації в існуючих будівлях, дБ					
		Будівля №1			Будівля №2		
		16 Гц	31,5 Гц	63 Гц	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
1	Влаштування рейкових блочних опор EBS	99,8	96,58	90,74	104,10	88,84	96,01
2	Влаштування лежнів з резиновими підкладками	100,27	96,79	90,48	104,23	89,47	95,25
3	Влаштування віброізоляційних матів з поліуретанових еластомерів (точкова схема)	103,33	104,26	86,99	107,05	101,38	89,49
4	Влаштування віброізоляційних матів з поліуретанових еластомерів (стрічкова схема)	102,44	99,06	95,42	106,49	97,26	95,83
5	Влаштування віброізоляційних матів з поліуретанових еластомерів (суцільна схема)	103,39	98,52	96,06	104,63	90,97	96,19
6	Влаштування залізобетонних лежнів з віброізолюючим матеріалом - піноскло	104,20	99,90	95,38	105,09	87,09	101,29

Аналіз результатів розрахунків наведених у таблиці показників рівнів вібраційного навантаження в існуючих будівлях та відповідних графіках показує, що найбільш ефективним засобом захисту від вібраційного навантаження є застосування в конструкції будови колії - рейкових блочних опор EBS з відповідними характеристиками матеріалів, що застосовувались при моделюванні.

На графіках рис. 1 – 3 наведено порівняння вібраційних коливань при різних частотах.

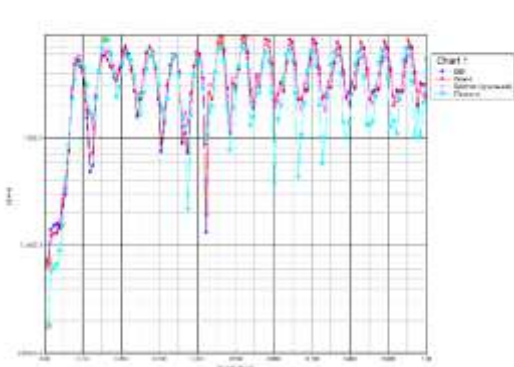


Рис. 1. Вібраційні коливання в фундаменті будівлі поліклініки за різними варіантами захисту (частота 16 Гц)

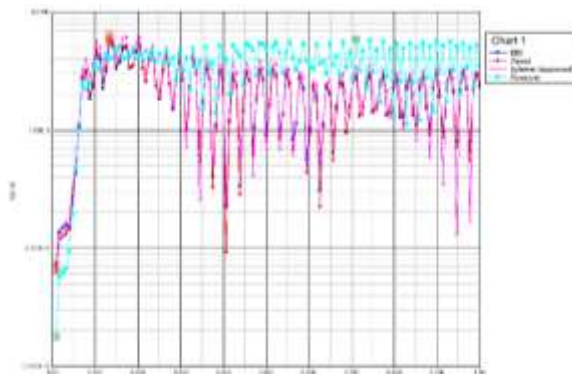


Рис. 2. Вібраційні коливання в фундаменті будівлі поліклініки за різними варіантами захисту (частота 31,5 Гц)

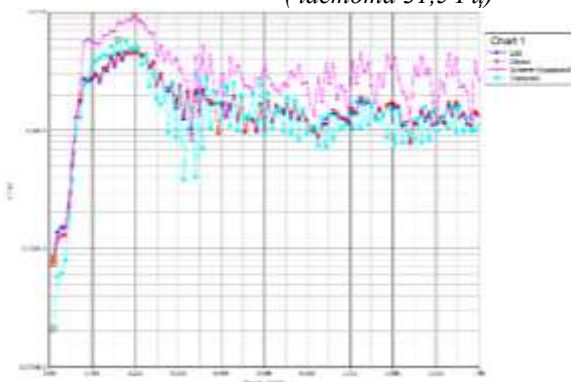


Рис. 3. Вібраційні коливання в фундаменті будівлі поліклініки за різними варіантами захисту (частота 63 Гц)

Було проведено розрахунок комбінації заходів таких як - захист в межах конструкції рейок з застосуванням блочних опор EBS і влаштуванням демпфуючої прокладки (гумове покриття "Гумінат" середньої твердості) між днищем котловану і огородженням котловану «стіною в ґрунті». Результати розрахунку наведені в таблиці. 2.

Таблиця 2.

Варіанти віброзахисту	Результат розрахунку					
	Будівля №1			Будівля №2		
	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
Влаштування рейкових блочних опор EBS	72,67	60,82	41,10	79,11	50,28	35,22

Отже, за результатами розрахунків, що були проведені, можемо зробити висновки, що найкращим вібраційним захистом є комбінація з застосуванням блочних опор EBS і влаштуванням демпфуючої прокладки.

Список використаної літератури:

1. ДБН В.2.1-10-2018 "Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення".
2. ДСН 3.3.6.039-99 "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації".
3. ДСН 3.3.6.037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку".
4. ДБН В.2.3-7:2018 "Метрополітени".

**Верезумський А.В., здобувач освітнього ступеня «магістр»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОПОЛІМЕРНОЇ АКТИВНОСТІ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ГРАНІТОЇДНИХ ПОРІД

Накопичення великотоннажних відвалів гірничодобувної промисловості, зокрема відходів обробки граніту, становить значне техногенне навантаження на довкілля. Ці матеріали, що розглядаються як промислові відходи, водночас становлять значний недооцінений сировинний потенціал. У рамках циркулярної економіки постає науково-практичне завдання щодо їхньої ревалоризації. Одним із найбільш перспективних напрямків є їхнє застосування у геополімерних композитах (ГПБ) як екологічної альтернативи традиційному портландцементу. Це вимагає теоретичного обґрунтування геополімерної активності цих дрібнодисперсних матеріалів.

Ключовою фізичною характеристикою гранітних відсівів (шламу) є їхній гранулометричний склад. Вміст дрібнодисперсних частинок (0–0,63 мм) стабільно варіюється від 29,2% до 32,1%. Цей показник, що є критичним недоліком для використання у бетонах, теоретично є перевагою для геополімеризації. Висока питома поверхня дрібних фракцій забезпечує збільшену площу контакту з лужним активатором, що, як очікується, має інтенсифікувати процеси розчинення алюмосилікатних фаз та прискорити хімічні реакції, які лежать в основі формування геополімерної матриці [1].

Теоретична можливість геополімеризації ґрунтується на хімічному складі відходів. Рентгенофлуоресцентний аналіз гранітних шламів показує, що вони є алюмосилікатною сировиною, яка складається переважно з SiO_2 (65,8%) та Al_2O_3 (15,5%). Наявність цих двох основних оксидів є фундаментальною передумовою для синтезу геополімеру. У той час як для кераміки цінністю є оксиди-плавні (K_2O , Na_2O), для геополімеризації ці ж лужні оксиди, що вже присутні у структурі мінералів, можуть потенційно сприяти процесу, знижуючи потребу в активаторі або посилюючи реакційну здатність шламу.

Дрібнодисперсний гранітний шлам у геополімерних системах може відігравати подвійну роль. По-перше, він може виступати як активний алюмосилікатний прекурсор, де його компоненти (SiO_2 та Al_2O_3) безпосередньо беруть участь у реакції поліконденсації з лужним розчином, формуючи тривимірну полімерну сітку. По-друге, він може діяти як активний наповнювач (мікронаповнювач). Дрібні частинки заповнюють пори між більшими зернами, оптимізуючи гранулометрію суміші, знижуючи загальну пористість та покращуючи щільність і, як наслідок, міцність кінцевого композиту [2].

Існуючі дослідження, проаналізовані у літературі, підтверджують цю теоретичну гіпотезу. Зокрема, вказується на можливість розробки рецептур геополімерного бетону на основі активованого кам'яного шламу. При цьому наголошується, що часткове заміщення (до 30%) основного в'язучого цим шламом здатне не лише не погіршити, але й підвищити показники міцності геополімерного бетону. Це є прямим свідченням того, що гранітний шлам діє не як інертний баласт, а як функціонально активний компонент системи.

Екологічний аспект є ключовим драйвером цієї технології. Геополімерні композити розглядаються як екологічна альтернатива портландцементу, виробництво якого пов'язане зі значними викидами CO_2 . Порівняльний аналіз життєвого циклу (LCA), згаданий у проаналізованих джерелах, підтверджує екологічну вигідність ревалоризації шламу, зокрема у геополімерах, порівняно з його захороненням. Використання техногенних відходів для створення довговічних будівельних матеріалів є практичною реалізацією принципів сталого розвитку.

Таким чином, теоретичний аналіз фізичних та хімічних властивостей дрібнодисперсних відходів гранітоїдних порід свідчить про їхню високу потенційну геополімерну активність. Вони можуть виступати і як алюмосилікатний прекурсор, і як активний мікронаповнювач. Подальші дослідження мають бути зосереджені на експериментальній верифікації: оптимізації складу лужного активатора, визначенні максимального ефективного відсотка заміщення та дослідженні довговічності отриманих геополімерних композитів.

Список використаної літератури:

1. Дослідження якісних властивостей відходів каменевидобування та каменеобробки з метою їх використання як сировини для виготовлення геополімерного бетону / В. І. Шамрай та ін. Технічна інженерія. 2023. № 1(91). С. 385–397. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-385-397](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-385-397).
2. Development of geopolymer concrete formulations based on activated stone processing sludge to reduce natural resource consumption / Shamrai V. et al. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 5, no. 6 (137). P. 41–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341720>.

Для визначення повного вектору швидкості коливань у точці вимірювання виконувалося окреме встановлення трьох сейсмоприймачів, кожен з яких фіксував одну з компонент вектору швидкості:

- вертикальну складову (V_h);
- тангенціальну складову (V_T);
- радіальну складову (V_r).

Для фіксації та подальшої обробки аналогових сигналів дослідники використовували чотириканальний електронний осцилограф виробництва компанії «Tektronix» та аналого-цифровий перетворювач типу E-330. Застосований стандартний АЦП підключався до принтерного порту портативного комп'ютера і функціонував як зовнішній модуль E-330, який підтримує режими EPP або Bidirectional (ці режими підтримуються більшістю сучасних багатофункціональних карт і ноутбуків).

Пропускна здатність порту EPP становить близько 0,600-1 МБ за секунду, що забезпечує можливість введення сигналів широкого спектра частот у режимі реального часу.

Модуль E-330 обладнано власним цифровим процесором ADSP-2105, який відповідає за управління всіма периферійними компонентами (АЦП, ЦАП, цифрові лінії, пам'ять даних) і синхронізацію процесів введення та виведення інформації.

Осцилограф «Tektronix» оснащено функцією автоматичної самодіагностики, що дозволяє здійснювати метрологічний контроль під час зміни умов експлуатації – як зовнішніх (температура, тиск тощо), так і внутрішніх (зокрема, збій у роботі систем). Процедура діагностики активується щоразу під час увімкнення приладу.

Під час проведення промислових вибухів максимальна швидкість коливань облицювання в ніші №1 склала 0,185 см/с при частотах 64-102 Гц, у ніші №3 – 0,0471 см/с при частотах 60-73 Гц.

Результати реєстрації коливань кріплення (обробки) існуючого тунелю у ніші № 1 наведені на рис. 2.

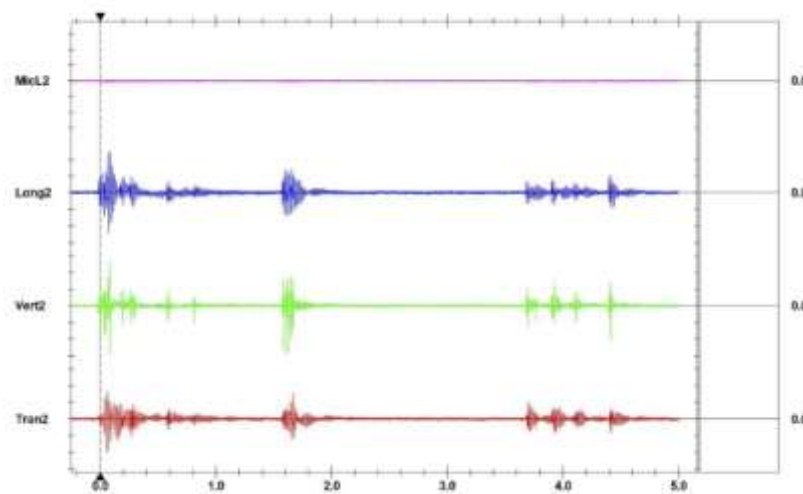


Рис. 2. Результати коливань облаштування існуючого залізничного тунелю у ніші №1

За результатами спостережень встановлено, що інтенсивність коливань, спричинених вибуховими роботами, перевищує природний фон, який фіксується під час руху залізничного транспорту. Водночас ці коливання не перевищують I балу за шкалою MSK-64 на зазначених відстанях до об'єкта, що підлягає охороні. Відповідно до ДБН В.1.1-12:2006 «Будівництво у сейсмічних районах України», сейсмічна активність району досліджень становить 8 балів за шкалою MSK-64 із періодом повторюваності струсів один раз на 5000 років (ймовірність перевищення інтенсивності коливань протягом 50 років – 1%). Відповідно до зазначеного нормативного документа, ґрунти за сейсмічними властивостями віднесені до II категорії.

Встановлено, що зафіксовані коливання у гірському масиві не створюють загрози для конструкцій та стабільності існуючого старого тунелю.

Для більш точного прогнозування впливу сейсмічних коливань на існуючий тунель необхідно одночасно контролювати величину масової швидкості зсуву порід як на мінімальній відстані до вибуху, так і на віддаленій точці, що забезпечить достовірність результатів вимірювань.

**Гаважук М. Б., студент 3 курсу, група ПЦБ-3,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Підвисоцький В.Т., д.гол.н., професор
Державний університет «Житомирська політехніка»**

АНАЛІЗ ТЕХНОГЕННИХ ЗМІН ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА М. ЖИТОМИР

Інженерно-геологічне середовище (ІГС) м. Житомир визначається його унікальною геологічною будовою – місто розташоване на Українському щиті, де на невеликих глибинах залягають міцні кристалічні породи, які є надійною основою для будівництва. Проте, над кристалічним фундаментом залягає покрив четвертинних відкладів (леси, лесоподібні суглинки, піски, супіски), які мають наступні особливості: лесові ґрунти при зволоженні втрачають міцність і можуть давати значні просідання, що є критичним для фундаментів, на невеликих відстанях спостерігається швидка зміна літологічного складу. Місто пронизане р. Тетерів та її притоками, що обумовлює наявність значних територій з високим рівнем ґрунтових вод (РГВ) та схилів річкових долин, що можуть бути схильними до зсувів.

Техногенні зміни в ІГС міста Житомир концентруються навколо наступних основних факторів:

1. Зміна гідрогеологічного режиму. Витоки з водопровідних та каналізаційних мереж – застарілі або пошкоджені комунікації призводять до постійного інфільтраційного живлення ґрунтових вод, що спричиняє

- різке підняття рівня ґрунтових вод на забудованих територіях, як наслідок, відбувається замокання підвалів та ослаблення основи фундаментів;
- вимивання дрібних частинок ґрунту (піску, суглинків) з-під фундаментів, що веде до утворення порожнин і деформації будівель;
- порушення дренажних систем – будівництво та прокладання комунікацій часто руйнують природні та існуючі дренажні системи, затримуючи відтік води.

2. Порушення геологічного середовища будівельними роботами. Вібраційний вплив, а саме роботи зі забивання паль, використання важкої будівельної техніки, а також постійний транспортний рух створюють динамічні навантаження. Це може спричиняти:

- ущільнення (або розущільнення), тобто зміну щільності ґрунтів основи, особливо піщаних та лесових;
- поява або розширення тріщин у фундаментах та конструкціях старих будівель, розташованих поблизу району будівництва;
- надмірне навантаження від багатоповерхових будівель може викликати консолідаційне осідання ґрунтів, особливо на ділянках із значною потужністю лесоподібних суглинків.

3. Утворення техногенних ґрунтів. Створення великих насипів із будівельного сміття, шлаків, або привізного ґрунту під час планування територій. Ці ґрунти характеризуються: низькою та неоднорідною щільністю, складно прогнозованою міцністю та високою стисливістю, а також наявністю небезпечних хімічних компонентів, що можуть агресивно впливати на бетон та арматуру фундаментів.

Наслідком зазначених змін є активізація або виникнення техногенних геологічних процесів (табл.1):

Таблиця 1

Наслідки змін ІГС м. Житомир

Техногенний процес	Типові наслідки для будівель	Локалізація в Житомирі
Підтоплення (внаслідок підвищення РГВ)	Підтоплення підвалів, руйнування гідроізоляції, корозія фундаментів.	район центра, Мальованка, Крошня.
Зсуви (через підрізку та замокання схилів)	Руйнування інфраструктури та будівель на схилах річкових долин.	круті схили вздовж р. Тетерів, Смолянки.
Осідання (внаслідок замокання лесових ґрунтів)	Перекося, тріщини в несучих стінах, деформації віконних та дверних прорізів.	Райони з поширенням лесових суглинків, де є масові витоки.
Техногенна корозія	Руйнування залізобетонних конструкцій фундаментів через агресивність ґрунтових вод (наприклад, сульфатна агресія від промислових викидів або витоків каналізації).	Промислові зони та старі міські райони з високою забрудненістю РГВ.

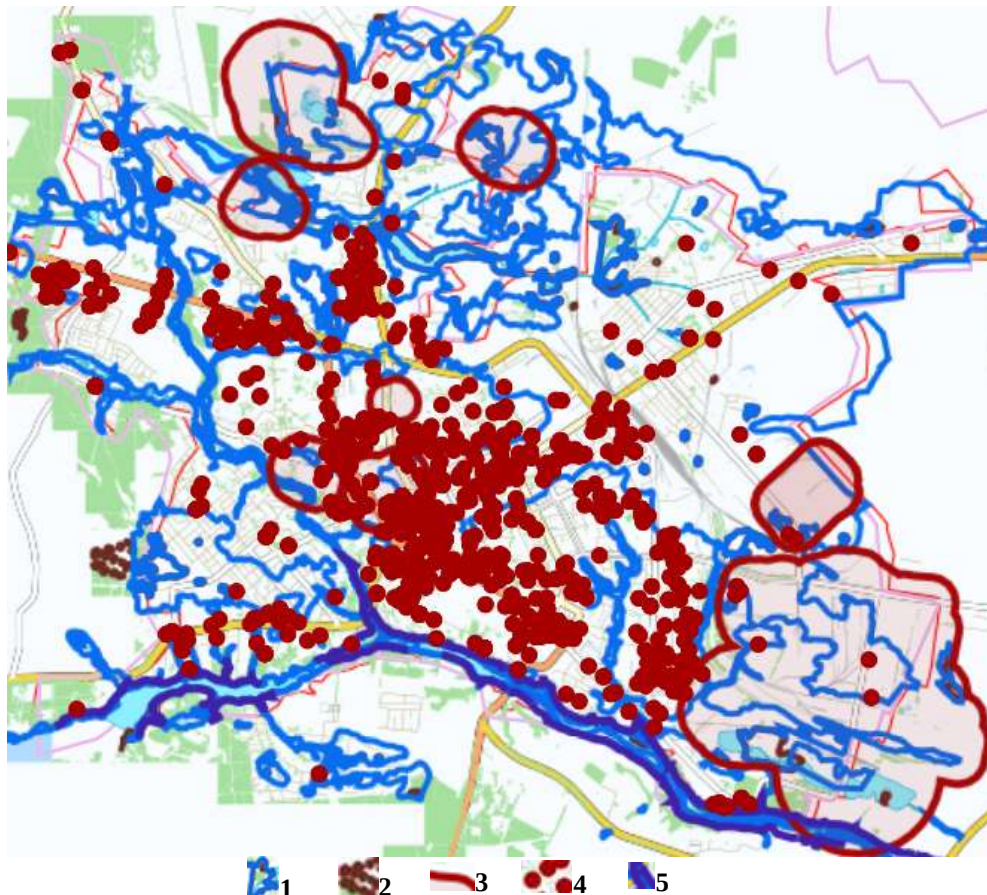


Рис. 1. Прояви небезпечних інженерно-геологічних процесів у Житомирі:
1 – підтоплення ґрунтовими водами; 2 – заболочення; 3 – зона підприємств I-3 класу шкідливості;
щільність забудови; 5 – затоплення паводковими водами

Основними заходами з інженерного захисту і стабілізації ІГС м. Житомир є:

1. Ремонт та герметизація мереж водопостачання і каналізації, облаштування лінійного дренажу, збільшення площі водопроникних поверхонь (зелені зони, дренажні тротуари), контроль рівнів ґрунтових вод.
2. Регулювання інфільтрації води, зміцнення основ дорожніх покриттів геотекстилями та армуючими шарами, ін'єкційне ущільнення зон з ризиком пустот.
3. Укріплення схилів з урахуванням природної динаміки річки; влаштування підпірних стінок, анкерних конструкцій, обмеження будівництва на крутих схилах, відведення поверхневих і підпірних вод.
4. Введення суворих вимог до інженерно-геологічних вишукувань перед початком будівництва, особливо при ущільнювальній забудові, з обов'язковим прогнозуванням впливу на сусідні споруди.
5. Управління техногенним рельєфом – ущільнення насипів, заборона засипання ярів без проєкту інженерного захисту, рекультивація кар'єрів.

Отже, техногенний вплив на інженерно-геологічне середовище Житомира є значним і проявляється у формі підтоплення, суфозії, локальних зсувів, забруднення підземних вод і зміни рельєфу. Основними причинами зміни ІГС є забудова, недостатня надійність комунальних мереж, промислове навантаження та порушення природних гідрогеологічних умов.

Для стабілізації ситуації необхідний комплексний моніторинг геологічного середовища, модернізація систем водовідведення, контроль забудови в небезпечних зонах і впровадження сучасних методів інженерного захисту.

Список використаної літератури:

1. Борзяк О.С., Лютий В. А., Романенко О. В. Інженерно-геологічні дослідження для будівництва: навч. посібник. Харків: УкрДУЗТ, 2022. 100 с.
2. Кузло М. Т. Інженерно-геологічні вишукування, ґрунтознавство та механіка ґрунтів : навч. посіб. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2024. 267 с.
3. https://gis.zt-rada.gov.ua/map/plan_zoning

Гайдамака Д.В. студент 2-го курсу, групи ГС-41, НН ІЕЕ,
Косенко Т.В., старший викладач,
Науковий керівник: Вапнічна В.В., к.т.н., доц.
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ БЕТОНУ: ВІД ПАСИВНИХ БАР'ЄРІВ ДО АКТИВНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СИСТЕМ

Вступ. Бетон по праву вважається основою сучасної цивілізації. Від фундаментів хмарочосів і прольотів мостів до тунелів і гідроелектростанцій – цей матеріал формує середовище нашого існування. Ми цінуємо його за міцність, негорючість та економічність. Однак, за макроскопічною міцністю бетону ховається парадокс: на мікрорівні його структура є пористою та проникною.

Цементний камінь, що зв'язує інертні заповнювачі, пронизаний мережею капілярів та пор, що залишилися після гідратації цементу. Ця пористість є «ахіллесовою п'ятою» бетону, відкриваючи доступ для головного ворога – води, яка несе з собою агресивні хімічні речовини. Проникнення вологи запускає каскад руйнівних процесів, які щороку призводять до мільярдних збитків на ремонт та відновлення бетонних конструкцій у всьому світі.

Мета дослідження: проаналізувати еволюцію інженерної думки в галузі захисту бетону, провести порівняльний аналіз традиційних пасивних та сучасних активних методів, і детально розглянути найбільш перспективну на сьогодні технологію – інтегральну кристалічну гідроізоляцію.

Наукова новизна представленої роботи полягає у системному обґрунтуванні переходу від парадигми пасивного бар'єрного захисту бетону до концепції активного інтегрального управління його властивостями. На відміну від традиційних методів, що фокусуються на створенні зовнішнього, вразливого до пошкоджень шару (мембрани, покриття), запропонований підхід передбачає хімічну модифікацію самої матриці бетону. Новизна полягає у впровадженні біоміметичного принципу – «самозаліковування» (Self-Healing). Це означає, що матеріал набуває здатності автономно реагувати на виникнення нових пошкоджень (мікротріщин) шляхом активації «сплячих» хімічних компонентів та повторної кристалізації. Таким чином, бетон перетворюється зі статичного, вразливого матеріалу на динамічну, адаптивну систему, здатну підтримувати свою водонепроникність протягом усього життєвого циклу.

Викладення матеріалу. Розуміння ефективності захисту неможливе без чіткого аналізу загроз. Уся деградація бетону так чи інакше пов'язана з його пористістю. Насамперед, це фізична деградація через цикли заморожування-розмерзання, коли вода в порах замерзає, розширюється в об'ємі та буквально розриває структуру бетону зсередини. Це призводить до поверхневого лущення та розтріскування. Не менш небезпечною є хімічна деградація, зокрема сульфатна та кислотна агресія, коли хімічні сполуки з ґрунтових вод чи промислових стоків вступають в реакцію з компонентами цементного каменю, утворюючи нові сполуки, що також розширюються та викликають внутрішні напруження.

Однак, найбільш катастрофічним процесом для залізобетону є електрохімічна деградація – корозія арматури. У здоровому бетоні (з високим рН) сталеві арматури захищені пасивною оксидною плівкою. Проте іони хлоридів, проникаючи крізь пори, руйнують цей захисний шар. У присутності вологи та кисню запускається процес іржавіння (рис. 1). Продукти корозії мають об'єм, що у 2-6 разів перевищує об'єм металу, і цей «розпираючий» тиск призводить до глибоких тріщин та відшарування захисного шару бетону, що врешті-решт веде до втрати несучої здатності.

Ці комплексні загрози стимулювали еволюцію методів захисту. Історично першою інженерною думкою було створення фізичного бар'єру на шляху води. До цього типу належать рулонні бітумні мембрани, полімерні плівки, обмазувальні мастики та полімерні покриття. Логіка їх проста: створення водонепроникного «чохла» або «кокона» навколо конструкції. Проте, ці пасивні системи мають фундаментальні недоліки: вони вразливі до механічних пошкоджень під час монтажу та засипання котловану, їхня якість критично залежить від виконання швів та примикань, знайти та усунути місце протікання під землею практично неможливо, і вони абсолютно безсилі, якщо волога проникає крізь конструкцію зсередини (негативний тиск води).

Саме ці обмеження стимулювали пошук технологій, які б не «покривали» бетон, а ставали його невід'ємною частиною. Так з'явилися інтегральні системи, що працюють всередині самої бетонної матриці.

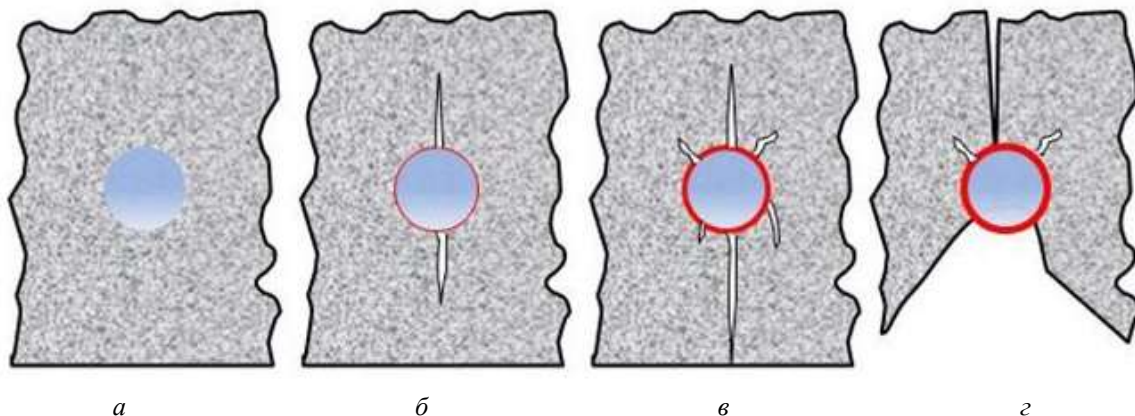


Рис. 1. Вплив корозії на бетон: а) до корозії; б) ознаки корозії; в) поява тріщин; г) подальша корозія

Найяскравішим представником таких систем є технологія проникаючої кристалічної гідроізоляції. Це вже не просто фізичний бар'єр, а хімічна модифікація бетону на мікрорівні. Принцип дії заснований на введенні в бетон (у вигляді домішки або покриття) спеціалізованих хімічно активних компонентів. При контакті з вологою та побічними продуктами гідратації цементу (такими як гідроксид кальцію, що завжди присутній у бетоні), ці компоненти вступають в каталітичну реакцію. Результатом є формування мільйонів нерозчинних, голкоподібних кристалів (гідросилікатів кальцію). Ці кристали ростуть і заповнюють пори, капіляри та мікротріщини, фізично блокуючи шляхи для міграції води та розчинених у ній хімікатів. Таким чином, бетонна матриця стає водонепроникною по всій своїй товщі, зберігаючи при цьому паропроникність, тобто здатність «дихати».

Ключовою перевагою цієї технології є активний захист, а саме – унікальна властивість «самозаліковування» (Self-Healing). Хімічні компоненти залишаються в «сплячому» стані в структурі бетону. Якщо в процесі експлуатації (наприклад, через усадку) в бетоні утворюється нова мікротріщина шириною до 0.4-0.5 мм, і в неї потрапляє вода, ця вода поновлює каталітичну реакцію. Починається ріст нових кристалів, які герметизують дефект. Бетон, по суті, «самозаліковується», автоматично ремонтує себе без зовнішнього втручання.

На практиці технологія застосовується у двох основних формах. Перша – це домішки в бетонну суміш (Admixtures), що є найбільш прогресивним методом для нового будівництва. Активні компоненти у вигляді сухого порошку додаються на бетонному заводі, забезпечуючи інтегральну гідроізоляцію всієї конструкції з моменту її створення та значно прискорюючи будівництво. Друга форма – це покриття (Coatings), що застосовуються для ремонту та модернізації існуючих конструкцій шляхом нанесення суспензії на ретельно зволожену поверхню.

Переваги такого підходу очевидні: це інтегральність (захист є частиною бетону), довговічність (працює весь термін служби), здатність до самозаліковування та універсальність (працює при позитивному та негативному тиску води). Це також значно підвищує хімічну стійкість бетону. Сфери застосування охоплюють усі критично важливі об'єкти: підземне будівництво (фундаменти, паркінги), гідротехнічні споруди (дамби, греблі), резервуари (включно з питною водою) та будь-які об'єкти транспортної інфраструктури, такі як тунелі та мостові конструкції.

Висновки. Аналіз показує, що у філософії захисту бетону відбулося тектонічне зрушення. Ми переходимо від парадигми «пасивного приховування» дефектів за допомогою мембран до парадигми «активного управління» властивостями матеріалу.

Сучасні інтегральні кристалічні технології – це вже не просто «витрати на гідроізоляцію». Це активні інвестиції в життєвий цикл об'єкта. Вони дозволяють на етапі проектування запрограмувати довговічність конструкції, кардинально знизити ризики, прискорити будівництво та виключити майбутні колосальні витрати на періодичний ремонт і відновлення. Зрештою, це перехід від боротьби з наслідками до усунення першопричини деградації бетону.

Список використаної літератури:

1. Shetiya R.K., Elhadad S., Salem A., Fulop A., & Orban Z. (2024). Investigation into the Effects of Crystalline Admixtures and Coatings on the Properties of Self-Healing Concrete. *MDPI, Materials*, 17, 767. <https://doi.org/10.3390/ma17030767>
2. Ammar M.A., Chegenizadeh A., Budihardjo M.A., & Nikraz H. (2024). The Effects of Crystalline Admixtures on Concrete Permeability and Compressive Strength: A Review. *MDPI, Buildings*, 14, 3000. <https://doi.org/10.3390/buildings14093000>
3. Зміцнення та захист бетону: як продовжити термін служби конструкцій за допомогою обробки. URL: <https://aquaron.com.ua/zmicnennya-ta-zahust-betonu/> (дата звернення 15.11.2025)

**Зелінський Я.Й., здобувач освітнього ступеня «магістр»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ УТИЛІЗАЦІЇ ШЛАМУ КАМЕНЕОБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ

Накопичення великотоннажних відвалів гірничодобувної промисловості, зокрема відходів (шламу) обробки граніту, створює значне техногенне навантаження на довкілля, спричиняючи вилучення продуктивних земель та забруднення повітря мінеральним пилом. Ключова науково-практична проблема утилізації цього шламу полягає в його гранулометричному складі. Вміст дрібнодисперсних частинок (0–0,63 мм) у відсівах стабільно становить 29–32%, що у 6–10 разів перевищує гранично допустимі норми (3–5%) для дрібного заповнювача бетонів. Такий надлишок пилу різко збільшує водопотребу суміші та знижує кінцеву міцність виробів, роблячи традиційне використання у бетонах нерациональним та вимагаючи дороговартісної промивки [1].

Альтернативний шлях утилізації ґрунтується на гіпотезі, що критичний фізичний недолік відсівів (надлишок пилу) може бути конвертований у технологічну перевагу в керамічній промисловості. Ця теоретична модель пропонує використовувати дрібнодисперсний шлам не як інертний заповнювач, а як активний хімічний компонент – плавень (флюс). Завдяки своєму хімічному складу, що є аналогічним первинній сировині, ці відходи є значним недооціненим сировинним потенціалом.

Теоретичне обґрунтування цього шляху базується на хімічному аналізі шламу. Дослідження підтверджують високий вміст лужних оксидів K_2O та Na_2O – близько 8,0%. Рентгенофлуоресцентний аналіз показує, що сумарна частка оксидів-плавнів у гранітному шламі сягає 18,7%. Це кардинально відрізняється від традиційної вогнетривкої сировини, як-от каолін, який містить лише 2,4% плавнів. Таким чином, доведено, що гранітний шлам може замінювати вогнетривкий каолін і виступати як ефективний каталізатор процесу спікання.

Прогнозований фізико-хімічний механізм полягає у використанні шламу для цілеспрямованого зниження вогнетривкості керамічної шихти. Висока концентрація оксидів-плавнів (K_2O , Na_2O , а також CaO та MgO) при нагріванні формує легкоплавкі евтектичні суміші з SiO_2 та Al_2O_3 . Це забезпечує інтенсивне утворення рідкої склоподібної фази при значно нижчих температурах (на 100–200 °C менше), ніж це необхідно для спікання чистого каоліну. Утворений рідкий розплав виконує функцію капілярного ущільнення керамічного тіла, заповнюючи пори та зв'язуючи частинки.

Ключовою прогнозованою перевагою є суттєве енергозбереження. Активація процесів низькотемпературного спікання дозволяє теоретично обґрунтувати зниження оптимальної температури випалу. Замість типових $>1200^\circ C$ для мас на основі каоліну, прогнозований оптимальний діапазон становить 1000–1150°C. Це забезпечує потенційну економію палива у діапазоні 10–20%.

Окрім енергоефективності, очікується значне покращення фізико-механічних властивостей кінцевого продукту. Інтенсивне утворення склофази, що закриває пори, має призвести до різкого зниження водопоглинання. Одночасно, формування міцної скломатриці, що зв'язує частинки, прогнозовано забезпечить значне зростання міцності при стиску.

При теоретичному моделюванні цього процесу важливо враховувати і побічні ефекти. Висока концентрація плавнів та інтенсивне ущільнення, ймовірно, спричинять збільшення загальної усадки виробів при випалі. Також, підвищений вміст пігментуючих оксидів у шламі, зокрема Fe_2O_3 (4,5%) та TiO_2 (0,7%), змінить кінцевий колір кераміки з білого на відтінки жовтого або коричневого, що є прийнятним для будівельної кераміки.

Таким чином, теоретично доведено, що шлам камінеобробних підприємств є цінною техногенною сировиною, здатною вирішити як екологічну проблему відвалів, так і технологічну задачу енергозбереження. Для експериментального підтвердження гіпотези низькотемпературного спікання запропоновано конкретні рецептури із систематичним введенням гранітного відсіву (від 10% до 40%) та схему термічних сходинок випалу (950°C – 1150°C).

Список використаної літератури:

1. Дослідження якісних властивостей відходів каміневидобування та камінеобробки з метою їх використання як сировини для виготовлення геополімерного бетону / В. І. Шамрай та ін. Технічна інженерія. 2023. № 1(91). С. 385–397. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-385-397](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-385-397).

Івахненко Д. І., студентка 1 курсу, група ГТ-51, НН ІЕЕ
Науковий керівник: Гребенюк Т. В., кандидат технічних наук, доцент
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА: МИНУЛЕ, СУЧАСНІСТЬ І МАЙБУТНЄ

Останніми роками технології 3D-друку поступово виходять за межі промислового прототипування і починають займати провідні позиції у сфері будівництва. Адитивне будівництво передбачає пошарове формування конструкцій із спеціальних будівельних сумішей, що подаються через роботизовані принтери, керовані цифровими моделями. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість зайвих операцій, підвищити точність виконання та скоротити людський фактор (Zebari et al., 2025). Зростання інтересу до цієї технології зумовлене прагненням будівельної галузі знайти ефективні рішення проблем дефіциту робочої сили, екологічного забруднення та високої вартості будівництва (Banihashemi et al., 2025; IJIRSET, 2024).

Дослідження показують, що використання 3D-друку дозволяє скоротити будівельні відходи до 60 %, оскільки матеріал подається автоматично й лише в необхідних кількостях (Banihashemi et al., 2025). Окрім зниження негативного впливу на довкілля, це зменшує вартість будівельних робіт. Відсутність опалубки та зменшення потреби у фізичній праці скорочує загальний термін зведення будівель на 30–50 % (IJIRSET, 2024; Joh et al., 2020). У низці експериментальних проєктів житлові модулі було надруковано менш ніж за 48 годин.

У роботі "A Review of 3D Concrete Printing in Construction" [Огляд 3D-друку бетону в будівництві] наведено аналіз технологічних переваг та обмежень. Автори зазначають, що 3D-принтери здатні формувати складні криволінійні структури без додаткових витрат, що робить технологію привабливою з архітектурної точки зору (Zebari et al., 2025). Цифрова модель будівлі безпосередньо інтегрується у систему друку, що мінімізує ймовірність помилок у процесі виробництва (MDPI, 2020). Додатковою перевагою є можливість використання локальних матеріалів, що знижує логістичні витрати (IJIRSET, 2024).

Особливу увагу дослідники зосереджують на властивостях матеріалів. Суміші для 3D-друку повинні поєднувати пластичність, швидкість тверднення та високу адгезію між шарами. У роботі "Development of 3D-Printable Concrete: Properties, Challenges and Future Perspectives" [Розробка бетону для 3D-друку: властивості, виклики та перспективи на майбутнє] (2020) доведено, що стандартні бетонні суміші не відповідають цим вимогам і потребують модифікації (Joh et al., 2020). Окремі роботи пропонують використання геополімерних сумішей та вторинної сировини (MDPI, 2020; Zebari et al., 2025).

Попри технологічний прогрес, існують труднощі, пов'язані з відсутністю міжнародних стандартів, методів армування та довгострокових випробувань конструкцій. Традиційне розміщення арматури неможливе, тому досліджуються альтернативи – інтегровані волокна, дрогове армування або після друку (Banihashemi et al., 2025; Joh et al., 2020).

Практичне застосування технології уже охоплює житлові будинки, інженерні споруди, мости, захисні модулі, а також об'єкти для екстремальних умов. Надруковані будівлі вже функціонують у США, Нідерландах, ОАЕ, Китаї. NASA досліджує можливість друкувати споруди з місячного реголіту (IJIRSET, 2024; Zebari et al., 2025).

3D-друк у будівництві є прогресивною технологією, що здатна забезпечити швидше, економічніше та екологічніше зведення споруд. Переваги включають зменшення відходів, скорочення витрат часу та ресурсів, а також можливість створення складних геометричних форм (Banihashemi et al., 2025; Zebari et al., 2025). Водночас успішне впровадження технології потребує подальших досліджень матеріалів, розробки нормативної бази та вдосконалення процесів армування (Joh et al., 2020; MDPI, 2020). Очікується, що з розвитком матеріалознавства і робототехніки адитивне будівництво стане одним із ключових напрямів розвитку галузі (IJIRSET, 2024).

Список використаної літератури:

1. Banihashemi, S., Akbarnezhad, A., & Sheikhhoshkar, M. (2025). 3D printing in construction: Sustainable technology for building industry [3D-друк у будівництві: сталий технологічний розвиток для будівельної галузі]. *Progress in Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s40964-025-01314-y>
2. IJIRSET. (2024, June). 3D printing concrete in construction [PDF] [3D друк бетону в будівництві]. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. https://www.ijirset.com/upload/2024/june/86_Printing.pdf
3. Zebari, S. M. S., Khawaja Al Harki, B. Q., Al Jawahery, M. S., & Nadhif, N. N. M. (2025, February). A review of 3D concrete printing in construction [Огляд 3D друку бетону у будівництві]. In *The 3rd International Conference on Engineering and Innovative Technology (ICEIT 2024)*. <https://doi.org/10.31972/iceit2024.058>
4. ResearchGate. Joh, C., Lee, J., Bui, T. Q., Park, J., & Yang, I.-H. (2020). Buildability and mechanical properties of 3D printed concrete [Можливість будівництва та механічні властивості 3D друкованого бетону]. *Materials*, 13(21), 4919. <https://doi.org/10.3390/ma13214919>

**Кузнєцов В. А., студент IV курсу, групи 6.1922-ПЦБ
кафедри промислового та цивільного будівництва**
**Науковий керівник: Мішук К. М., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри промислового та цивільного будівництва**
*Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізький національний університет*

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ PERMEABLE PAVING В ДОРОЖНЬОМУ ПОКРИТТІ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

У ході росту рівня урбанізації виникають проблеми, що пов'язані з поверхневим стоком дощової/талогої води, оскільки збільшується частка площ непроникних дорожніх покриттів, наприклад, асфальтобетонних або бетонних. З огляду цього, підвищується навантаження на дренажні системи доріг, у містах зростає ефект «теплого» острова, що пов'язаний з повільним випаровуванням води, а влаштування зливних систем – псує автентичну архітектурно-інженерну виразність дорожнього покриття загалом. Використання інноваційних рішень для ефективного використання утвореного обсягу дощової/талогої води, є запорукою для усунення певної частки зазначених проблемних аспектів. Так, одним з прикладів такого рішення, може стати технологія Permeable Paving, використання якої дозволить навчитися ефективно управляти зливовими стоками та за можливості адаптувати процес до концепцій сталого розвитку й «зелених» технологій, що є досить актуальним моментом у контексті розвитку сучасних міст та модернізації міської інфраструктури загалом.

Технологія Permeable Paving – це інноваційне екологічне рішення, що являє собою проникні дорожні покриття для доріг, парковок, пішохідних доріжок та інших, що в основному виготовляються з певного пористого матеріалу (водопроникний бетон або асфальт) та дозволяє утвореним дощовим/талим стокам протікати через нього й просочуватися (інфільтруватися) в ґрунт [1]. На Рис. 1 (а), продемонстровано дію водопроникного покриття, на Рис.1 (б) – схему-порівняння традиційного та водопроникного покриття, а на Рис. 1 (в) – вигляд водопроникного бетону.

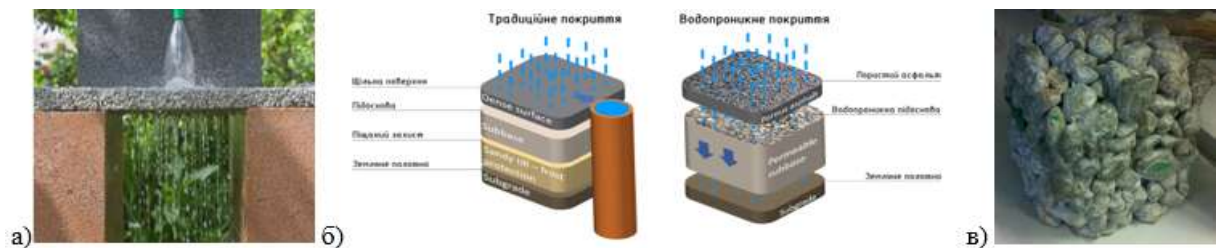


Рис. 1. а) Демонстрація водопроникного покриття; б) Схема-порівняння традиційного та водопроникного покриття; в) Вигляд водопроникного бетону

До основних типів водопроникних покриттів відносять: водопроникні блокувальні бруківки; водопроникні сітки; водопроникні шарнірні блокові системи; водопроникний бетон; пористий асфальт. При цьому, можуть бути додатково включені й такі наступні компоненти як: система підводного водовідведення; геотекстиль (за необхідності); водонепроникна геомембрана на ділянках, де інфільтрація ґрунту небажана; георешітки для майданчиків з важким транспортним навантаженням [2].

Загалом, водопроникні покриття є альтернативою традиційним та дозволяють зливовим водам стікати через поверхню й потрапляти в кам'яний резервуар, де вони або тимчасово затримуються, або проникають у нижній шар природного ґрунту. Залежно від властивостей природного ґрунту та фізичних обмежень, така система може бути спроектована або без піддренажу для повної інфільтрації, або з піддренажем для часткової інфільтрації, або з водонепроникним покриттям та піддренажем для неінфільтраційного використання або лише для затримання та фільтрації. З огляду цього, можна зазначити, що такі покриття чудово підходять для ділянок з обмеженим простором для інших поверхневих зливових каналізаційних споруд чи місць, де бажано збільшити опір ковзанню та швидкість танення снігу й льоду, а також зменшити потребу у застосуванні солі для боротьби з льодом взимку [2]. Прикладом, таких об'єктів можуть бути дороги з низьким рівнем руху, парковки, під'їзні шляхи, пішохідні площі, велосипедні доріжки, смуги обслуговування або аварійного доступу, узбіччя доріг або аеропортів та тротуари [1; 2]

Зважаючи на інноваційність технології Permeable Paving, вона як будь-яка інша, має свої переваги та недоліки у використанні, коротка характеристика яких наведена у Таблиці 1.

Переваги та недоліки технології Permeable Paving [3]

Переваги	Недоліки
• Управління зливовими водами. Технологія ефективно зменшує поверхневий стік, дозволяючи воді проникати крізь покриття та інфільтруватися в ґрунт. Це допомагає пом'якшити наслідки повеней та зменшує навантаження на дренажні системи • Поповнення ґрунтових вод. Технологія сприяє природному поповненню ґрунтових вод, допомагаючи підтримувати здоровий рівень водоносного горизонту • Покращена якість води. Технологія дозволяє фільтрувати воду, зменшуючи вміст забруднюючих речовин та інших домішок, що значно покращує якість води, перш ніж вона досягне природних водойм • Повторне використання матеріалу. Пористе покриття можна створити з матеріалів, які були рециклізовані. Наприклад, зі шлакового цементу, що утворюється під час виробництва заліза • Зменшення «теплого» острова. Технологія дозволяє зливовим водам ефективніше випаровуватися з поверхні, що допомагає охолоджувати навколишню територію. Вона також дає змогу корінню дерев розповзатися, зберігаючи його здоровішим, а прилеглу ґрунтову основу – більш стійкою до геологічних явищ • Зниження витрат на обслуговування. У довгостроковій перспективі пористі покриття можуть зменшити витрати на обслуговування, у порівнянні з традиційними системами управління зливовими водами. Особливо це стосується клімату з частими циклами замерзання та відтавання, які можуть спричинити розтріскування та пучення традиційного асфальту • Естетична привабливість. Пористе покриття усуває потребу у влаштуванні зливових систем (решіток, каналів), що робить дороги та інші об'єкти більш архітектурно та інженерно привабливими	• Початкові витрати на встановлення. Початкові витрати на встановлення пористого покриття можуть бути вищими, ніж на традиційне, через необхідність спеціалізованих матеріалів та методів будівництва • Вимоги до обслуговування. Пористе покриття потребує регулярного обслуговування для забезпечення його проникності, зокрема, видалення осаду та сміття, які можуть закупорити порожнини • Структурна міцність. Пористе покриття може мати нижчу несучу здатність порівняно з традиційним, що робить його менш придатним для інтенсивного автомобільного руху. Ретельне проєктування та вибір матеріалів є важливими для забезпечення структурної цілісності • Кліматичні та ґрунтові умови. На ефективність пористого покриття можуть впливати місцеві кліматичні та ґрунтові умови. У районах з високим вмістом глини або екстремальними погодними умовами може знадобитися вкладиш або підводний дренаж

На Рис. 2 представлено приклади реалізованих проєктів у канадській провінції Онтаріо з використанням технології Permeable Paving [2].



Рис. 2. а) Пористий асфальт (Coults Park, Whitchurch-Stouffville); б) Водонепроникний бетон (Lakeside Park, Mississauga); в) Проникна бруківка (Georgetown); г) Водонепроникна бруківка на під'їздах до житлових будинків (Brampton)

Підсумовуючи, варто зазначити, що хоча технологія Permeable Paving може потребувати регулярного обслуговування, оновлення нормативної бази, проведення низки додаткових випробувань та дотримання точних показників ґрунтової основи, вона стає більш популярним методом створення невеликих доріг та смуг руху, які здатні витримувати вищі показники припливу та інфільтрації, ніж водонепроникні покриття, що є значним досягненням у сфері сталого розвитку й розвитку «зелених» технологій будівництва.

Список використаної літератури:

1. Contributors to Wikimedia projects. Permeable paving - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Permeable_paving (дата звернення: 16.11.2025)
2. Permeable pavements - LID SWM Planning and Design Guide. *LID SWM Planning and Design Guide*. URL: https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Permeable_pavements (дата звернення: 16.11.2025)
3. The benefits of porous pavement in drainage design. *Autodesk*. URL: <https://www.autodesk.com/blogs/water/2025/03/04/the-benefits-of-porous-pavement-in-drainage-design/> (дата звернення: 16.11.2025)

Латчук В.А., студент 2 курсу,
спеціальності «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»

Науковий керівник: Козішкурт С.М., к.т.н., доцент
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЛАНДШАФТНОГО ЗРОШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Проблема забезпечення водними ресурсами урбанізованих територій загострюється в умовах кліматичних змін, дефіциту прісної води та інтенсивного антропогенного впливу. Водна рамкова директива ЄС (2000/60/ЕС) і Стратегія ЄС з адаптації до зміни клімату (2021) наголошують на необхідності раціонального управління водними ресурсами й формування стійких міських екосистем. Міські екосистеми, на відміну від природних, характеризуються обмеженою здатністю до саморегулювання водного балансу, що призводить до деградації ґрунтів, пересихання зелених насаджень і підвищення температури повітря в літній період. Ущільнення забудови та зменшення площі природного ґрунтового покриття посилюють ефект так званого «теплого острова міста» та сприяють накопиченню поверхневого стоку, який не використовується повторно.

Збереження зелених насаджень є ключовим чинником формування комфортного й екологічно збалансованого міського простору. Для підтримання їх життєздатності необхідно забезпечувати оптимальний водний режим в умовах підвищених температур, нерівномірних опадів та ущільнених ґрунтів. Ландшафтне зрошення виконує не лише естетичну, а й важливу екологічну функцію, сприяючи стабільності урбанізованих територій, підвищенню біорізноманіття та ефективному використанню води.

Традиційні методи поливу (ручний, поверхневий, за допомогою пересувних установок) характеризуються низькою рівномірністю зволоження, великими втратами води на випаровування і стік, а також значними трудовитратами. Вони не враховують фактичний стан вологості ґрунтів, що призводить до нераціонального водокористування. За рекомендаціями ФАО (FAO Irrigation and Drainage Paper 66), ефективність зрошення визначається не кількістю поданої води, а ступенем її засвоєння рослинами.

Централізовані системи водопостачання, які використовуються для поливу зелених насаджень у містах, також мають обмеження. Вони проектувалися для господарсько-питних потреб і не розраховані на пікові навантаження влітку. Використання питної води для поливу є економічно й екологічно неефективним, оскільки зменшує резерви для населення та промисловості. Крім того, централізовані системи не забезпечують належного тиску у віддалених або висотних ділянках, що знижує ефективність поливу.

У сучасних умовах поширюються водозберігаючі технології зрошення, орієнтовані на оптимальне використання води. До них належать:

- дощові системи, що забезпечують рівномірне покриття поверхні території та можливість автоматичного керування поливом;
- краплинне зрошення, при якому вода подається безпосередньо до кореневої зони рослин, що зменшує втрати на випаровування;
- підґрунтове зрошення, яке дозволяє зволожувати кореневий шар без утворення поверхневої кірки, забезпечуючи стабільний мікроклімат і збереження структури ґрунту.

Застосування цих технологій у комплексі з автоматичним керуванням і локальними джерелами води створює основу для формування інноваційних систем ландшафтного зрошення в урбанізованому середовищі.

Інноваційність сучасних систем ландшафтного зрошення полягає у впровадженні інтелектуальних технологій управління, використанні альтернативних джерел води, енергоощадних компонентів та інтеграції у зелену інфраструктуру міських територій. Основна мета таких рішень – досягнення високої ефективності поливу при мінімальному споживанні водних і енергетичних ресурсів.

Одним із ключових напрямів розвитку є **автоматизація управління поливом**. Сучасні системи оснащуються сенсорами вологості ґрунту, температури, швидкості вітру, інсоляції та опадів. Дані з цих датчиків передаються на контролер, який визначає оптимальний режим поливу відповідно до фактичних умов. Завдяки цьому виключається людський фактор і перевитрати води, а водний баланс підтримується з високою точністю. У низці європейських країн активно застосовуються розумні контролери (Hunter Hydrowise, Rain Bird IQ, Netafim NMC Pro), які мають можливість підключення до метеосервісів та віддаленого управління через інтернет.

Важливою інновацією є **використання альтернативних джерел водопостачання**. У системах ландшафтного зрошення частіше застосовують дощові, очищені стічні та дренажні води. Подібні практики відповідають вимогам Директиви ЄС щодо очищених стічних вод (91/271/ЕЕС) та принципам циркулярної

економіки у водному секторі. Води накопичуються у підземних резервуарах або спеціально створених біоплато, фільтраційних траншеях (bio-retention cells) чи "дощових садах", де проходять природне доочищення. Надалі така вода використовується для поливу, що дає змогу зменшити споживання питної води та навантаження на комунальні водопровідні мережі. Подібні рішення реалізовані у Німеччині, Данії, Італії, а в Україні поступово впроваджуються у сучасних житлових комплексах та рекреаційних зонах.

Енергоефективність систем забезпечується завдяки **застосуванню сонячних насосних станцій, бездротових клапанів і модульних конструкцій трубопроводів**. Такі рішення узгоджуються з концепцією «зелених» будівель (Green Building Standards, LEED, BREEAM), де ефективне управління водою є одним із базових критеріїв. Це дозволяє експлуатувати систему в автономному режимі, особливо на територіях, віддалених від центральних мереж. Використання сучасних полімерних матеріалів із підвищеною стійкістю до ультрафіолету та корозії продовжує термін служби системи та зменшує витрати на обслуговування.

Перспективним напрямом є **інтеграція систем зрошення в екологічну і містобудівну інфраструктуру** на основі концепції SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems – сталі системи міського водовідведення). Ландшафтне зрошення стає невід'ємною частиною комплексних рішень, таких як «зелені дахи» (Green Roofs), «вертикальне озеленення» (Green Walls) та біоінженерні елементи (наприклад, фільтраційні траншеї, дощові сади). Ці інтегровані рішення поєднують функції поливу, збору та очищення поверхневого стоку, зниження запиленості та підтримання біорізноманіття. Таким чином, системи зрошення виконують не лише технічну, а й комплексну екологічну функцію, підвищуючи стійкість урбанізованих територій до кліматичних змін і паводків.

Впровадження інноваційних систем ландшафтного зрошення забезпечує значний екологічний ефект і сприяє сталому розвитку міських територій. Насамперед це проявляється у **зниженні споживання водних ресурсів**, що є критичним фактором у сучасних умовах дефіциту прісної води. Завдяки використанню датчиків і погодних контролерів, витрати води можуть бути скорочені на 25–40 % без зниження ефективності зволоження. При цьому рослини отримують необхідну кількість вологи саме в періоди її дефіциту, що сприяє кращому росту і підвищенню їх стійкості до посухи.

Суттєвим екологічним результатом є **зменшення навантаження на системи міського водовідведення**. Використання дощової та очищеної стічної води у системах поливу сприяє скороченню обсягів поверхневого стоку, що знижує ризики підтоплення, ерозії ґрунтів і забруднення водоприймачів. Одночасно формується локальний кругообіг води, який відтворює природні гідрологічні процеси в урбанізованому середовищі.

Інноваційні системи також сприяють **поліпшенню мікроклімату міських територій**. Зволоження зелених насаджень зменшує температуру повітря на 2–3 °С, підвищує його вологість, знижує запиленість і концентрацію шкідливих речовин. Завдяки цьому формується більш сприятливе середовище для життя людей, а також зменшується прояв ефекту «міського теплового острова».

Важливою складовою екологічного ефекту є **покращення стану ґрунтів і підтримання біорізноманіття**. Рівномірне та дозоване зволоження запобігає утворенню поверхневої кірки, ущільненню й засоленню ґрунтів. Оптимальний водний режим сприяє активізації біологічної активності ґрунту, розвитку кореневих систем рослин і стабілізації зеленого покриву.

Впровадження таких систем має також **соціально-економічний ефект** – зниження витрат на утримання зелених зон, підвищення естетичної привабливості територій, поліпшення умов для рекреації населення. Таким чином, інноваційні системи ландшафтного зрошення виступають важливою складовою стратегії «зеленого міста», забезпечуючи поєднання екологічних, економічних і технологічних переваг.

Інноваційні системи ландшафтного зрошення є важливим напрямом розвитку сучасного водного господарства та урбаністичної екології. Вони поєднують технічну ефективність, екологічну безпечність і ресурсоощадність, що дозволяє адаптувати системи поливу до кліматичних змін і обмежених водних ресурсів. Застосування автоматизованих контролерів, сенсорів вологості, краплинних і підґрунтових систем забезпечує точне регулювання водоспоживання та рівномірний розподіл вологи. Це дозволяє скоротити витрати води до 40 %, зменшити енергоспоживання та знизити антропогенне навантаження на довкілля. Використання альтернативних джерел – дощової, очищеної або повторно використаної води – сприяє збереженню природних запасів і формуванню замкнутого водного циклу в межах міських ландшафтів. Завдяки впровадженню інноваційних технологій створюються передумови для сталого управління зеленими зонами, підвищується комфорт і якість міського середовища, а також зміцнюється екологічна безпека територій. Розвиток таких систем узгоджується із Цілями сталого розвитку ООН (SDG 6 – Чиста вода і належні санітарні умови, SDG 11 – Сталий розвиток міст і громад).

Отже, інноваційні системи ландшафтного зрошення є важливим інструментом у реалізації концепції «розумного» та «зеленого» міста, що поєднує технологічний прогрес із збереженням природного балансу.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ СУПРОВІД РОБІТ З ВЛАШТУВАННЯ МОНОЛІТНОЇ ПЛИТИ ПІДСИЛЕННЯ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ З МОРОЗОСТІЙКОГО ТА ВОДОНЕПРОНИКНОГО БЕТОНУ МОСТУ ЧЕРЕЗ РІЧКУ СІБ НА КМ 484+370 АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ М-12 (М. ГАЙСИН ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Під час розробки робочого проекту з капітального ремонту мосту через річку Сіб на км 484+370 автомобільної дороги М-12, який був розроблений фахівцями фірми ТОВ «Гервін Проект», було застосовано ряд рішень з використанням сучасних технологій та матеріалів. Ці рішення в достатній мірі не обґрунтовані чинними нормативними документами і підлягають науково-технічному супроводу у відповідності до вимог ДБН В. 1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів» [1]. Одним із таких рішень було влаштування монолітної плити підсилення прогонової будови з морозостійкого та водонепроникного бетону по несучим існуючим Т-подібним балкам прогонової будови (рис. 1).

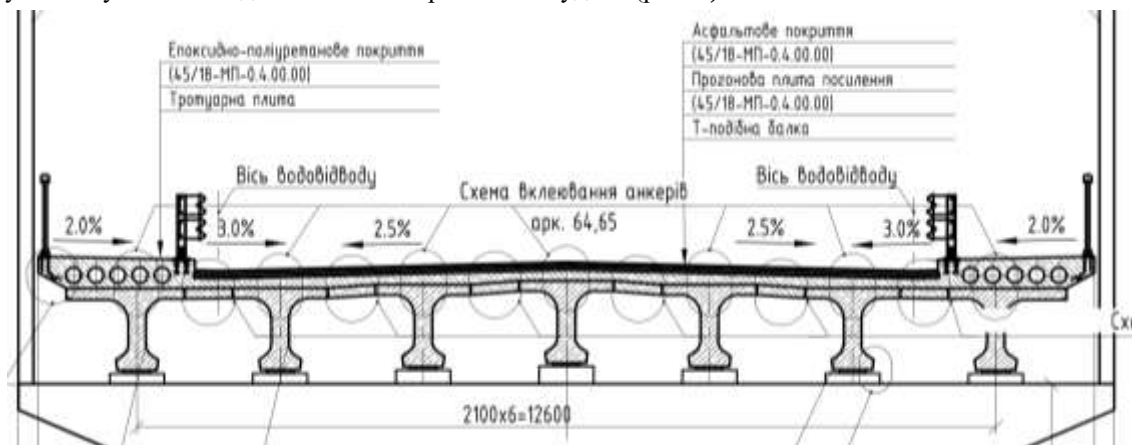


Рис. 1. Переріз прогонової будови

Згідно з проектом тротуарні частини мосту виконуються з тонкошаровим покриттям без бордюрних каменів (див. рис. 1), що вимагає підвищених вимог за морозостійкістю та водонепроникністю бетону і є сучасним конструктивним рішенням, відносно новим для вітчизняної практики. Тому було прийнято рішення для влаштування монолітної накладної плити підсилення прогонової будови застосовувати бетон з підвищеними якісними характеристиками, які не повинні бути менше ніж передбачено рекомендаціями довідкового додатку Е ДБН В.2.3-22:2009 [2]. Згідно з цими рекомендаціями бетон плити підсилення прогонової будови мосту повинен мати такі характеристики:

- клас бетону за міцністю на стиск C25/30;
- марка за морозостійкістю F300;
- марка за водонепроникністю W8;

Такий бетон, марки за морозостійкістю вище F200, відноситься до різновиду спеціальних морозостійких бетонів, які потребують спеціального підходу під час проектування складу та контролю якості. В рамках науково-технічного супроводу для забезпечення такого підходу на основі передового досвіду та наукових досягнень були розроблені рекомендації з проектування складу морозостійкого та водонепроникного бетону.

Далі для проектування морозостійкого та водонепроникного бетону з метою забезпечення дотримання всіх розроблених рекомендацій було прийнято рішення про залучення фахівців фірми ТОВ «Сіка Україна». Ця фірма є представником провідної європейської компанії «Sika», що володіє передовим досвідом та технологіями в галузі виробництва бетону.

У відповідності до розроблених рекомендацій фахівцями ТОВ «Гервін Проект» спільно з спеціалістами ТОВ «Сіка Україна» був визначений орієнтовний склад морозостійкого бетону, який наведений у таблиці 1

В розроблений склад бетону були включені хімічні добавки торгової марки «Sika», що забезпечують задані властивості бетонної суміші та бетону (див. табл. 1).

Хімічна добавка SikaPlast®-2508 (темно-коричнева рідина) є суперпластифікатором на основі полікарбоксилату. Окрім пластифікуючої дії вона дозволяє уповільнити схоплювання бетонної суміші для

збільшення часу її транспортування. Додається разом з водою для замішування, але до застосування інших домішок. Застосування SikaPlast 2508 дозволяє забезпечити:

- низьке водо-цементне (В/Ц) відношення;
- водозниження (результатом є висока щільність і міцність бетону);
- хорошу оброблюваність і високу рухливість бетонної суміші (результатом є істотне зменшення витрат на укладання і ущільнення бетонної суміші);
- тривале збереження консистенції, збільшення часу обробки, в тому числі при підвищеній температурі навколишнього середовища.

Таблиця 1.

Орієнтовний склад бетону, що наданий технічним відділом ТОВ «Сіка Україна» з характеристиками: C30/35 (B35), рухомість P4, F300, W12

№ п/п	Складові бетонної суміші	Витрати сухих матеріалів на м ³
1	Цемент М500 (Ц), кг .	450
2	Вода (В), л	180
3	Гранітний щебінь (Щ), кг: фракції 5-10 мм	400
	фракції 5-20 мм	750
4	Пісок (П), кг	630
5	Хімічна добавка SikaPlast®-2508 (суперпластифікатор, 1,0%), кг	4,50
6	Хімічна повітровтягуюча добавка Sika® Mix Plus (0,035%), кг	0,157
7	Гідрофобізуюча та кольматуюча добавка Sika® WT-200P (1,0%), кг	4,5

Хімічна добавка Sika® Mix Plus (темно-коричнева рідина) є повітровтягуючною та стабілізуючою добавкою, що має властивості тензиду (аніонодний поверхнево-активний засіб). При замішування Sika® Mix Plus формує велику кількість повітряних пор в структурі бетонної суміші під час її приготування. Ці повітряні пори можуть замінити найбільш дрібні частки заповнювача в бетонній суміші, окрім того, покращують її пластичність та оброблюваність. В затверділому бетоні утворюються замкнуті мікропори, завдяки яким зменшується проникність та водопоглинання матеріалу. Також вони попереджують появу усадочних тріщин та висолів на поверхні бетону, не викликають корозію арматури. Забезпечують збільшення морозостійкості бетону, так як велика кількість мікропор забезпечує компенсацію виникаючих при заморожуванні води напружень.

Гідрофобізуюча та кольматуюча добавка Sika® WT-200P – це добавка підвищує водонепроникність і щільність бетону за рахунок кристалізації новоутворень у структурі цементного каменю. Вона складається з суміші цементу, аміноспиртів і заповнювачів. Ці активні речовини утворюють нерозчинні речовини в пористої і капілярній структурі бетону, і герметизують бетон від проникнення води та іншої рідини. Крім цього, спеціальна формула складу Sika WT-200 P поліпшує властивості бетону з самовідновлення і підвищення здатності до усунення мікротріщин в бетоні.

Орієнтовний склад бетону був уточнений в лабораторії ТОВ «Гервін Проект» на основі застосування матеріалів наданих поставщиком бетону. Для забезпечення якості бетону плити підсилення прогонової будови була розроблена та реалізована спеціальна програма вибіркового контролю якості на будівельному майданчику.

Науково-технічний супровід робіт з влаштування монолітної плити підсилення прогонової будови з морозостійкого та водонепроникного бетону дозволив отримати такі важливі результати:

1. Розробити рекомендації з проектування морозостійкого і водонепроникного бетону для визначення дослідного складу бетону на основі застосування провідного досвіду, технологій та матеріалів. Виконати лабораторні дослідження дослідного складу морозостійкого бетону, які підтвердили його високі якісні характеристики та необхідні технологічні параметри бетонної суміші, що в повній мірі відповідають вимогам проекту.

2. Забезпечити завдяки виконанню вибіркового контролю якості бетону монолітної плити підсилення прогонової будови мосту відповідність його характеристик якості проектним вимогам.

Загалом прийняті в процесі науково-технічного супроводу сучасні технологічні рішення із застосування морозостійкого та водонепроникного бетону дозволили забезпечити високу якість бетонних робіт в процесі будівництва.

Список використаної літератури:

1. ДБН В. 1.2-5:2007. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. [Чинний з 01.01.2008 р.]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. 16 с.
2. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування. [Чинний від 11.11.2009р.]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 52 с.

Нестерук Б.О., студент 1-го курсу, гр. ПЦБ-5

Піскун І.А., асистент

Кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ АДАПТАЦІЇ ЗАНЕДБАНОГО ГОТЕЛЮ У С. СТАРА КОТЕЛЬНЯ ПІД СОЦІАЛЬНЕ ЖИТЛО ДЛЯ ВПО

Адаптація занедбаних об'єктів під соціальне житло для внутрішньо переміщених осіб набуває особливої актуальності в умовах зростання потреби у безпечному й доступному житловому фонді. Дослідження технічного стану будівлі готелю у с. Стара Котельня демонструє наявність значного просторового й інфраструктурного потенціалу для її подальшої реконструкції, що робить проєкт перспективним з точки зору соціальної ефективності. Оцінка матеріальних, конструктивних та експлуатаційних характеристик об'єкта дозволяє сформувати науково обґрунтовані висновки щодо доцільності його адаптації та визначити реалістичні межі інвестиційних і будівельних рішень.

Будівля розташована в досить урбанізованому середовищі, що характеризується високим рівнем просторової комфортності. У безпосередній близькості функціонує розвинена інфраструктура, зокрема торговельні заклади та загальноосвітній заклад. Загалом, просторова організація території формує умови, які знижують рівень психологічного навантаження.

Готель являє собою п'ятиповерхову будівлю, функціональна структура якої організована за принципом рівномірного розподілу житлових приміщень. На кожному поверсі передбачено п'ять окремих кімнат, що у сумарному вимірі формує фонд у двадцять п'ять номерів для розміщення відвідувачів (рис.1). Інфраструктурна організація поверхів доповнюється наявністю кухні, ванної кімнати та санітарного вузла, що забезпечує базові умови повсякденного побуту.

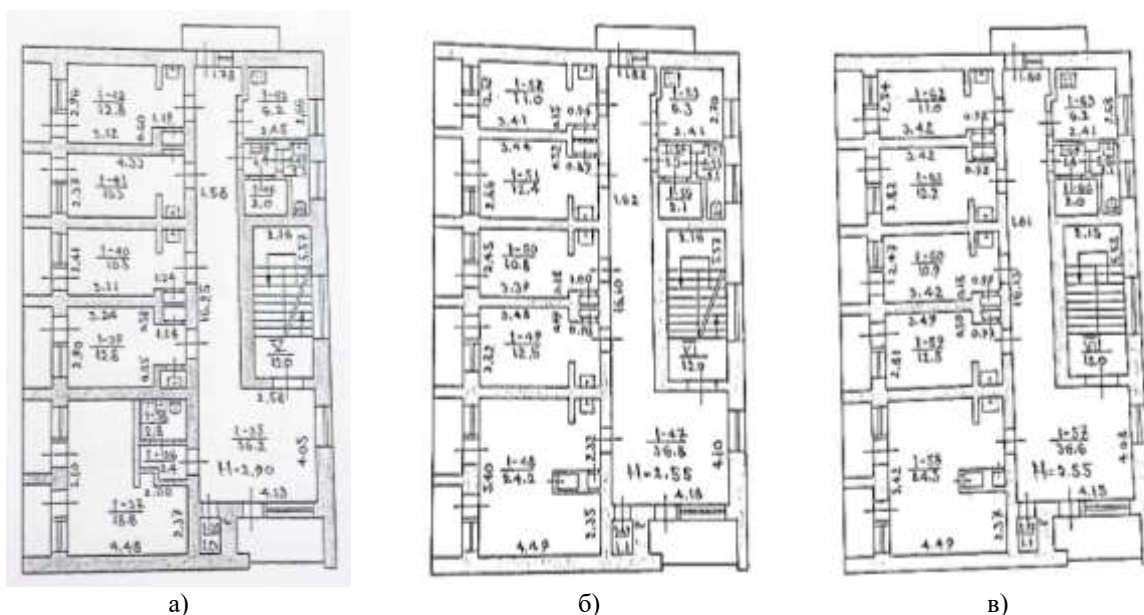


Рис. 1. Поверхові плани будівлі: а – 1-3 поверхи; б – 4-й поверх; в – 5-й поверх

З міркувань безпеки будівля обладнана аварійними сходами, які у разі надзвичайної ситуації дозволяють здійснити оперативну та відносно безпечну евакуацію. У безпосередній доступності також розташоване захисне укриття, що підвищує рівень цивільної безпеки для мешканців та персоналу.

Крім того, простір має потенціал для відновлення невеликого закладу громадського харчування. Такий об'єкт може виконувати соціально-комунікативну функцію, забезпечуючи можливість відпочинку, неформального спілкування та створення психологічно сприятливого середовища для гостей і працівників.

Будівля готелю загалом збереглася у задовільному стані, однак елементи, схильні до біологічного та фізичного руйнування, зазнали суттєвої деградації та потребують комплексного капітального відновлення (рис.2). Насамперед це стосується підлогових конструкцій, оскільки старе дерев'яне перекриття та ламінат зазнали повного зношення, що обумовлює необхідність їх повного демонтажу. Аналогічно у житлових приміщеннях слід видалити зношені шпалери й фрагменти фарби, які втратили адгезію до поверхні стін.

Проект відновлення передбачає модернізацію прорізних конструкцій шляхом заміни застарілих дерев'яних вікон на енергоефективні пластикові аналоги, а також встановлення нових дверей відповідно до сучасних вимог експлуатаційної надійності. Після демонтажних робіт необхідно відновити дерев'яну основу підлоги та укласти новий ламінат, що забезпечить як функціональність, так і привабливі експлуатаційні характеристики.



Рис.2. Поточний стан будівлі готелю

Санітарно-побутові приміщення (душова, вбиральня та кухня) потребують повної реконструкції, включно з оновленням інженерних комунікацій, сантехнічного обладнання та оздоблення. Для забезпечення мінімального рівня комфорту слід укомплектувати номери базовими меблями: ліжками, диванами, шафами, полицями та столами.

Геометричні характеристики будівлі дозволяють сформувати первинне уявлення про масштаб проєкту та обсяг необхідних матеріальних і трудових ресурсів.

Планові габаритні розміри об'єкта визначаються як довжина 16,5 м та ширина 11,9 м. Відповідно до цих величин площа одного поверху становить 196,35 м², що відображає фактичний просторовий контур експлуатаційної зони поверхового рівня. Подальше масштабування шляхом множення площі одного поверху на кількість рівнів будівлі, а саме п'ять поверхів, дає змогу встановити загальну площу об'єкта, що становить близько 981,75 м².

Отримані параметри формують кількісну основу для розрахунку вартості робіт (таблиця 1), оскільки дозволяють визначити необхідний обсяг демонтажних, ремонтно-будівельних та оздоблювальних процесів, а також прогнозувати потребу в матеріалах, інженерних компонентах і трудових витратах.

Таблиця 1.

Наближений розрахунок вартості відновлювальних робіт

Вид робіт	Розрахункова площа	Орієнтовна ціна за м ²	Орієнтовна вартість
Утеплення фасаду (Нетто, мокрий фасад, утеплювач ППС 100 мм штукатурка, фарба)	660 м ²	1200 грн	792360 грн
Заміна вікон та дверей (Металопластикові конструкції, 2-камерний енергоефективний склопакет)	220 м ²	4000 грн	880400 грн
Реконструкція цоколя (Утеплення, гідроізоляція, облицювання плиткою/керамогранітом)	85 м ²	2000 грн	170400 грн
Ремонт покрівлі (Капітальний ремонт гідроізоляції та покриття)	196 м ²	1500 грн	294525 грн
Сума зовнішніх робіт (без запасу)			2137685 грн
Запас на непередбачені витрати (15%)			320653 грн

Проведений аналіз свідчить, що будівля зберегла ключові конструктивні елементи у працездатному стані, а наявні дефекти підлягають усуненню в межах стандартних відновлювальних процедур. Просторові параметри та інфраструктурні характеристики об'єкта підтверджують його придатність до ефективної трансформації у соціальний житловий комплекс для ВПО. Комплексне оновлення будівлі забезпечить підвищення її функціональної цінності та сприятиме формуванню безпечного, комфортного й соціально значущого середовища для майбутніх мешканців

**Олійник О.В., здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ГРАНІТНИЙ ШЛАМ ЯК КАТАЛІЗАТОР НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПІКАННЯ КЕРАМІЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ КАОЛІНУ

Накопичення великотоннажних відвалів гірничодобувної промисловості, зокрема відходів обробки граніту, створює значне техногенне навантаження на довкілля [1, 2]. Ключова перешкода для утилізації цих відсівів у традиційних будівельних галузях, як бетон, полягає в їхньому гранулометричному складі [3]. Вміст дрібнодисперсних частинок (0–0,63 мм) у відсівах стабільно становить 29–32% , що в 6–10 разів перевищує гранично допустимі норми для дрібного заповнювача бетонів (3–5%). Такий надлишок пилу різко погіршує властивості суміші. Дане дослідження пропонує науково-технічне обґрунтування того, як цей критичний фізичний недолік (надлишок пилу) може бути конвертований у технологічну перевагу у виробництві керамічної цегли [4].

Теоретична модель ґрунтується на хімічному складі відсівів. Рентгенофлуоресцентний аналіз підтвердив (табл. 1), що гранітний шлам містить високу концентрацію оксидів-плавнів (сумарно 18,7%) , зокрема високий вміст лужних оксидів K_2O та Na_2O (сумарно близько 8.0%) [5]. Завдяки цьому, гранітний шлам пропонується використовувати не як інертний заповнювач, а як ефективний флюс (катализатор спікання), здатний замішувати вогнетривкий каолін. Висока концентрація цих оксидів формує легкоплавкі евтектичні суміші з SiO_2 та Al_2O_3 при значно нижчих температурах, забезпечуючи утворення рідкого склоподібного розплаву. Цей розплав сприяє капілярному ущільненню керамічного тіла, зменшуючи пористість та підвищуючи міцність без необхідності досягнення високих температур, необхідних для чистого каоліну [6].

Таблиця 1.

Рентгенофлуоресцентний аналіз (вміст оксидів) у глині та гранітних шламах

Оксид	Червоно-бура глина, мас. %	Гранітні шлами, мас. %	Каолін, мас. %	Функціональна роль
SiO_2	53,9	65,8	51,4	Основний склоутворювач
Al_2O_3	18,8	15,5	46,2	Вогнетривкий компонент, основа структури
Fe_2O_3	8,9	4,5	1,5	Плавень та барвник
K_2O	5,9	4,4	0,2	Плавень (Флюс), знижує в'язкість розплаву
MgO	4,9	1,7	0,3	Плавень, знижує в'язкість розплаву, впливає на термічне розширення
CaO	4,7	3,6	0,4	Плавень (Флюс), утворює легкоплавкі силікати
TiO_2	1,8	0,7	-	Плавень, може утворювати пігменти
Na_2O	0,7	3,5	-	Плавень (Флюс), знижує температуру евтектики
P_2O_5	0,2	0,2	-	Плавень, може впливати на структуру склофази
MnO	0,2	0,1	-	Плавень, барвник (зазвичай у більших концентраціях)
Сума плавнів	27,3	18,7	2,4	Визначає температуру утворення рідкої фази

Впровадження гранітного шламу як активного плавню прогнозує значні технологічні переваги. По-перше, очікується зниження оптимальної температури випалу з понад 1200°C (для каоліну) до діапазону 1000–1150°C. Це забезпечує потенційну економію палива на 10–20%. По-друге, прогнозується значне покращення фізико-механічних властивостей готового продукту: зростання міцності при стиску та різке зниження водопоглинання завдяки інтенсивному утворенню склофази при нижчих температурах. Водночас, підвищений вміст Fe_2O_3 (4,5%) та TiO_2 (0,7%) у шламі, ймовірно, змінить кінцевий колір кераміки на жовто-коричневі відтінки [7].

Хоча теоретичне обґрунтування є міцним, ця робота також позиціонується як необхідна основа для подальшої експериментальної верифікації, оскільки попередні дослідження мають низку прогалин. Зокрема, відсутні конкретні експериментальні результати, що підтверджували б спрогнозовані показники зниження температури випалу та фактичної економії енергії саме для композиту "відсів-каолін-глина". Окрім того, майбутні етапи дослідження мають обов'язково включати ґрунтовний техніко-економічний аналіз собівартості виробництва нової цегли та оцінку радіаційної безпеки відсівів гранітоїдних порід для підтвердження можливості їх використання у житловому будівництві [8].

На основі проведеного теоретичного обґрунтування, запропоновано конкретну методологію для експериментального підтвердження гіпотези низькотемпературного спікання. Ця методологія включає розробку кінцевих рецептур керамічних композицій (серії E1–E4), що передбачають систематичне заміщення вогнетривкого каоліну гранітним відсівом у діапазоні від 10% до 40%. Окрім цього, запропоновано детальну схему термічних сходинок випалу (950°C, 1050°C, 1100°C та 1150°C). Вибір 950°C як нижньої межі діапазону має на меті оцінити початкові реакції та ранні стадії спікання, які активуються високою концентрацією плавні у шламі, що дозволить визначити мінімально енергетично вигідну температуру для формування достатньої міцності [9].

Таким чином, комплексне обґрунтування полягає у раціональному використанні техногенних відходів каменеобробки як ефективного джерела плавнів (K_2O , Na_2O , CaO). Це дозволяє цілеспрямовано знизити вогнетривкість керамічної шихти, збагаченої Al_2O_3 з каоліну, та активувати процеси формування легкоплавкої склофази при температурах, значно нижчих за типові. Такий підхід не лише веде до суттєвого енергозбереження у виробництві, але й сприяє екологічній стійкості та реалізації принципів циркулярної економіки шляхом утилізації дрібнодисперсних промислових відходів [10].

Список використаної літератури:

1. Дослідження якісних властивостей відходів каменевидобування та каменеобробки з метою їх використання як сировини для виготовлення геополімерного бетону / В. І. Шамрай та ін. Технічна інженерія. 2023. № 1(91). С. 385–397. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-385-397](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-385-397).
2. Assessment of the impact of the mining industry on the environment: the waste management system / V. Melnyk-Shamrai et al. Ecological Sciences. 2024. No. 4 (55). P. 164–168. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.26>.
3. Reuse of stone working enterprise slurry in geopolymer and concrete products / V. Shamrai et al. Mining of Mineral Deposits. 2024. Vol. 18, no. 4. P. 10–17. URL: <https://doi.org/10.33271/mining18.04.010>.
4. Development of Ceramic Materials for the Manufacture of Bricks with Stone Cutting Sludge from Granite / J. M. Terrones-Saeta et al. Minerals. 2020. Vol. 10, no. 7. P. 621. URL: <https://doi.org/10.3390/min10070621>.
5. Subashi De Silva G. H. M. J., Mallwattha M. P. D. P. Strength, durability, thermal and run-off properties of fired clay roof tiles incorporated with ceramic sludge. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 179. P. 390–399. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.187>.
6. Almendro-Candel M. B., Jordán Vidal M. M. Glasses, Frits and Glass-Ceramics: Processes and Uses in the Context of Circular Economy and Waste Vitrification. Coatings. 2024. Vol. 14, no. 3. P. 346. URL: <https://doi.org/10.3390/coatings14030346>.
7. Rasuly W., Aminian M. K., Fatah S. K. Investigating red ceramic pigments: Tailoring clay-iron oxide composites and analyzing the physical characteristics. International Journal of Applied Ceramic Technology. 2025. URL: <https://doi.org/10.1111/ijac.15083>.
8. Solidification performance and mechanism of typical radioactive nuclear waste by geopolymers and geopolymer ceramics: A review / J. Liu et al. Progress in Nuclear Energy. 2024. Vol. 169. P. 105106. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105106>.
9. Liu R., Xiang D. Recycling photovoltaic silicon waste for fabricating porous mullite ceramics by low-temperature reaction sintering. Journal of the European Ceramic Society. 2021. Vol. 41, no. 12. P. 5957–5966. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.05.028>.
10. Mechanical properties, high temperature resistance and microstructure of eco-friendly ultra-high performance geopolymer concrete: Role of ceramic waste addition / M. Abd Ellatief et al. Construction and Building Materials. 2023. Vol. 401. P. 132677. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132677>.

Постернак О.С., студент, групи ПЦБ-531мп, Інженерно-будівельного інституту
Постернак І.М., канд.техн.наук, доцент,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ І БІОКЛІМАТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВІ

Актуальність проблеми енергоспоживання в умовах кліматичного та енергетичного виклику. Будівельний сектор є одним із найбільших споживачів ресурсів та енергії у світі. Цей вплив охоплює всі етапи життєвого циклу об'єктів, від видобутку сировини та будівництва до експлуатації та утилізації. В умовах глобальних кліматичних викликів та необхідності забезпечення національної енергетичної стійкості, стратегічне значення енергоефективності будівель зростає. Зменшення навантаження на енергетичну мережу та оптимізація споживання є критично важливими для економічної та екологічної безпеки. Кліматичні умови України, які характеризуються як континентальні, створюють унікальні вимоги до проектування. У зонах із різкими перепадами температур та значними сезонними коливаннями необхідний комплексний підхід, що дозволяє ефективно управляти як потребами в опаленні взимку, так і потребами в охолодженні влітку. Традиційні методи будівництва часто не здатні впоратися з цими викликами без значних експлуатаційних витрат. Отже, запровадження технологій, які інтегрують пасивні та активні стратегії, стає ключовим пріоритетом.

Концептуальні засади: поєднання пасивного та активного підходів. Концепція максимальної енергоефективності ґрунтується на синергії двох основних груп технологій. Перша група – пасивні (біокліматичні) стратегії – спрямована на мінімізацію або усунення первинного енергетичного попиту (Demand Reduction). Це досягається за допомогою архітектурних рішень, які використовують природні ресурси та теплофізичні властивості оболонки будівлі. Друга група – активні (інженерні) системи – забезпечує високопродуктивне задоволення мінімального залишкового попиту за рахунок високоефективного обладнання та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Максимальна енергоефективність і мінімізація вуглецевого сліду досягається виключно за умови послідовного та інтегрованого застосування обох груп технологій. Пасивні методи знижують необхідну потужність активних систем, що, своєю чергою, зменшує початкові капітальні витрати на інженерне обладнання та забезпечує довгострокову економію операційних витрат.

Принципи біокліматичного підходу як основи теплового комфорту. Біокліматичний підхід до проектування будівель являє собою архітектурний метод, що ґрунтується на детальному аналізі та використанні характеристик місцевого клімату. Основна мета полягає у забезпеченні необхідного теплового комфорту для мешканців, максимально використовуючи при цьому ресурси навколишнього середовища, такі як сонячне випромінювання, вітер та температура ґрунту. Ключовим орієнтиром для біокліматичного проектування є поняття «зони теплового комфорту», що визначають діапазони еквівалентно-ефективних температур, за яких більшість людей не відчувають ні надмірного тепла, ні мерзлякуватості. Досягнення цих зон комфорту залежить від правильного вибору пасивних стратегій, які керуються біокліматичними індексами та показниками суб'єктивного сприйняття.

Архітектурна оптимізація: орієнтація, затінення та форма. Стратегічні рішення щодо форми та орієнтації будівлі є найпершими та найбільш значущими кроками у забезпеченні енергоефективності. Правильна орієнтація має забезпечити мінімальні втрати тепла в холодний період та найменше надходження сонячної радіації влітку, що є особливо актуальним для клімату з високими амплітудами температур. Таким чином, архітектурна оптимізація визначає основний енергетичний профіль будівлі ще до вибору інженерних систем. Ефективне затінення (Shading) є необхідним аспектом біокліматичної архітектури. Воно передбачає стратегічне використання таких елементів, як навіси, жалюзі або балкони, щоб блокувати високо розташоване сонце влітку, запобігаючи перегріву, і водночас дозволити проникнення низькорозташованого зимового сонця для пасивного сонячного обігріву. Це дозволяє зменшити потребу в активному охолодженні. Крім того, використання вентилярованих фасадів може забезпечити додатковий термозахист, оскільки повітряний прошарок сприяє ефективному відведенню тепла.

Домінування принципу "Fabric-First" та висока герметичність. Принцип "Fabric-First" (пріоритет оболонки) є фундаментальним для високопродуктивного будівництва, такого як Passive House. Цей підхід фокусується на якості зовнішньої оболонки: високоякісній теплоізоляції, герметичності та мінімізації термічних містків. Його мета – мінімізувати необхідну енергію для опалення та охолодження будівлі, перш ніж розглядати активні інженерні системи. Якісно побудована та герметична оболонка, відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», забезпечує функцію пасивного акумулятора та захисту, що є особливо важливим для підвищення стійкості будівель в умовах можливих перебоїв у енергопостачанні.

Теплова інерція та сучасні будівельні матеріали. Теплова інерція, що виражається показником D, допомагає стабілізувати внутрішню температуру та захищає конструкцію від швидких зовнішніх змін температури. Згідно з нормативними документами, сумарна теплова інерція шарів огорожувальної конструкції повинна враховуватися при теплотехнічному розрахунку. Сучасне енергоефективне будівництво активно впроваджує інноваційні матеріали для оптимізації як теплової ізоляції, так і інерції:

Фазоперехідні матеріали (PCM): це матеріали, такі як парафіни або гідрати солей, які інтегруються у сендвіч-панелі або інтелектуальне скління; вони здатні акумулювати та виділяти велику кількість прихованого тепла під час зміни фазового стану, динамічно керуючи тепловим потоком.

Дерев'яне будівництво (CLT): використання крос-ламінованої деревини (CLT-панелей) та біоізоляції (ляне волокно, целюлоза) є прикладом сталої архітектури; цей підхід поєднує високі теплотехнічні показники з низькою втіленою енергією (енергія, витрачена на виробництво матеріалів), що знижує загальний вуглецевий слід будівлі.

Високопродуктивні системи опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВК). Після мінімізації енергетичного попиту за допомогою пасивних стратегій, активні системи ОВК відіграють ключову роль у підтримці комфорту. Сучасні системи ОВК є комплексними рішеннями, які забезпечують не лише контроль температури, але й якість повітря, включаючи аерацію, деаерацію, зволоження, осушення та фільтрацію. В умовах високої герметичності будівель, яка досягається завдяки принципу Fabric-First, критично важливою стає припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла. Цей механізм використовує теплообмінники для витягування тепла з відпрацьованого (витяжного) повітря і передачі його свіжому припливному повітрю, що мінімізує енергетичні втрати, спричинені необхідним повітрообміном. Ефективність таких систем додатково підвищується за рахунок використання вентиляторів з енергозберігаючими ЕС-приводами або АС-двигунами у поєднанні з перетворювачами частоти. Ці компоненти можуть інтегруватися у розумні системи ОВК для забезпечення максимальної ефективності та відмінних акустичних характеристик.

Забезпечення найвищої якості внутрішнього повітря (IAQ). Взаємозв'язок між підвищеною герметичністю будівлі та необхідністю контролювати якість внутрішнього повітря (IAQ) є ключовим аспектом сучасного проектування. Хоча герметичність забезпечує економію енергії, вона також вимагає обов'язкових інвестицій у високоякісну фільтрацію та очищення. Для видалення забруднюючих речовин із внутрішнього повітря рекомендується встановлення високоєфективних фільтрів у системі ОВК. Також системи ОВК можуть бути відрегульовані для збільшення кількості зовнішнього повітря у періоди високих зовнішніх забруднень або для провітрювання. Як додатковий, але потужний інструмент, особливо для комерційних або медичних приміщень, можуть використовуватися UVGI-технології (ультрафіолетове опромінення). Ультрафіолетові лампи, встановлені поблизу стелі, інактивують мікроби та віруси у повітрі. Хоча UVGI не видаляє забруднюючих речовин, воно є корисним доповненням до механічної вентиляції та фільтрації, зокрема для зниження ризику поширення патогенів.

Оптимальна гібридизація з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ).

Максимізація ефективності теплових насосів досягається шляхом їх інтеграції з сонячними системами, що створює високоефективні гібридні системи. Поєднання ТН із сонячними колекторами дозволяє використовувати безкоштовне променисте тепло сонця для гарячого водопостачання (ГВП) та підтримки опалення. Це може майже повністю звільнити тепловий насос від навантаження влітку, що значно зменшує загальне споживання електроенергії та підвищує загальну річну ефективність системи. Особливо інноваційними є стратегії акумулювання та регенерації тепла, які перетворюють нестабільну сонячну енергію на стабільний і надійний вхідний потік для ТН:

Резюме синергетичної ефективності. Комплексний аналіз використання енергоефективних і біокліматичних технологій у будівництві підтверджує, що найбільша продуктивність і стійкість досягаються виключно через інтегровану стратегію, яка послідовно поєднує пасивні та активні підходи. Пасивна мінімізація попиту: застосування принципів біокліматичного проектування (оптимальна орієнтація та затінення) та дотримання принципу "Fabric-First" (якість теплоізоляції та герметичність, що відповідає підвищеним вимогам ДБН В.2.6-31:2021) є фундаментальною передумовою. Пасивні методи мінімізують енергетичний попит, що робить активні системи менш потужними та більш економічними. Високопродуктивне задоволення попиту: залишковий мінімальний попит ефективно задовольняється за рахунок високопродуктивних систем. Теплові насоси, особливо у гібридних конфігураціях із сонячними колекторами для регенерації геотермального поля, забезпечують максимальний коефіцієнт перетворення енергії. Динамічна оптимізація: інтелектуальні системи автоматизації є мультиплікаторами економії, які динамічно адаптують роботу систем ОВК до реальних потреб, забезпечуючи додаткову економію до 30% теплової енергії та скорочуючи термін окупності всього проекту. Стійкість та комфорт: інвестиції у високу герметичність (Fabric-First) та ефективну вентиляцію з рекуперацією тепла гарантують цілорічний тепловий комфорт та найвищу якість внутрішнього повітря.

**Сав'як В.В., студент 2 курсу,
спеціальності «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»
Науковий керівник: Козішкурт С.М., к.т.н., доцент
Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне**

АДАПТАЦІЯ ІЗРАЇЛЬСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ ДЛЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ УКРАЇНИ

В умовах глобального потепління, деградації водних екосистем та зростання водоспоживання питання ефективного управління водними ресурсами набуває пріоритетного значення. Протягом останніх років Україна стикається зі збільшенням частоти посух, зменшенням річкового стоку та загостренням проблеми водного дефіциту у південних регіонах. Ситуація істотно ускладнилася після руйнування Каховської гідроелектростанції у червні 2023 року, що призвело до втрати одного з основних джерел водопостачання півдня країни, зокрема зрошувальних систем Причорноморського регіону. За даними Світового банку, значна частина меліоративної інфраструктури в Україні зазнала серйозних пошкоджень, а окремі системи залишилися неробочими через воєнні дії (Світовий банк, 2023).

У світі є успішні приклади побудови високоефективних гідротехнічних систем в умовах водного дефіциту. Найбільш показовим є досвід Ізраїлю, який досяг одного з найвищих у світі рівнів повторного використання очищених стічних вод – 85–90 %. Такий підхід дозволив країні забезпечувати стабільне водопостачання незалежно від природних ресурсів, що сприяло розвитку агропромислового комплексу.

Адаптація ізраїльських практик повторного використання води до умов України може стати ефективним інструментом подолання структурної водної кризи, модернізації систем водопостачання та зрошення, зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти та підвищення стійкості водогосподарського комплексу. Успішність ізраїльської моделі зумовлена широким застосуванням сучасних технологій водоочищення та організованою системою транспортування технічної води.

Мембранні біореактори (MBR) поєднують переваги активного мулу та мембранної фільтрації, забезпечуючи отримання води високої якості з мінімальним вмістом завислих часток і патогенних мікроорганізмів.

Ультрафільтрація (UF) виконує роль додаткової стадії очищення, що гарантує стабільність параметрів води, необхідних для ефективного функціонування краплинних систем зрошення.

Технологія зворотного осмосу (RO) дозволяє контролювати рівень мінералізації, що є критично важливим під час зрошення культур, чутливих до солевмісту.

Багатоступенева дезінфекція яка включає хлорування, ультрафіолетове опромінення та озонування, забезпечує санітарну безпеку води та підтримує стабільність її якості під час транспортування.

Не менш важливою складовою ізраїльської моделі повторного використання води є впровадження високоефективних систем краплинного зрошення, що забезпечують раціональне та контрольоване подання очищених стічних вод. Краплинне зрошення дозволяє мінімізувати втрати вологості на випаровування та інфільтрацію, а також локалізувати її подачу безпосередньо в кореневмісний шар ґрунту, що особливо важливо при використанні води нижчої якості. В Ізраїлі понад 80% повторно використаних стічних вод подається саме через краплинні системи, що робить їх ключовим елементом циркулярної водної економіки країни. Компанії Netafim та Rivulis виступили глобальними інноваторами у розвитку цих технологій, сформувавши інженерні рішення, які можуть бути адаптовані для модернізації українських гідротехнічних систем зрошення.

Важливою інженерною інновацією є система фіолетових трубопроводів (purple pipelines) – спеціалізованих мереж для транспортування повторно очищеної води. Фізичне відокремлення цих мереж від питних систем водопостачання виключає можливість змішування потоків і забезпечує безпечне використання очищених стоків у сільському господарстві. Purple pipelines інтегровані у єдину національну структуру розподілу води, що дозволяє ефективно маневрувати потоками залежно від сезонних та регіональних потреб.

В Ізраїлі також створено єдину національну мережу розподілу водних ресурсів, яка забезпечує гнучке перенаправлення очищеної води між регіонами. Така система дозволяє мобілізувати надлишкові об'єми у одних районах і ефективно використовувати їх у інших, де спостерігається піковий попит, особливо у сільському господарстві.

Регулювання та контроль якості води здійснює Israel Water Authority. До ключових інструментів управління належать національні стандарти повторного використання води (аналогічні до GWR), єдині тарифні підходи, які стимулюють раціональне водокористування, а також багаторівнева система моніторингу, що охоплює всі етапи руху води – від виходу з очисних споруд до кінцевого споживача.

Основним інженерним викликом при адаптації ізраїльських технологій є забезпечення дотримання двох основних параметрів якості очищеної води: санітарної безпеки та мінімізації ризику засмічення (клогінгу)

зрошувальних систем. Для ефективної та довгострокової роботи краплинних емітерів вміст завислих часток у воді не повинен перевищувати 50 мг/л, а для систем мікрозрошення – 10 мг/л. Саме тому впровадження високоточних фільтраційних технологій, таких як ультрафільтрація (UF) та механічна фільтрація до 100 мікрон, є невід’ємним елементом гідротехнічного проекту. Крім того, критичною характеристикою є показник загальної мінералізації (TDS), який при застосуванні зворотного осмосу (RO) контролюється до рівня, безпечного для ґрунтів та рослин, зазвичай менше 500 мг/л.

В умовах України, де значна частина меліоративної інфраструктури, за оцінками Світового банку, зношена на 60–70%, інтеграція ізраїльських технологій потребує не лише будівництва модульних очисних блоків, а й комплексної реконструкції розподільчих мереж. Найбільш раціональним інженерним рішенням для відновлення зрошення у постраждалих південних регіонах є створення локальних автономних гідротехнічних комплексів. До складу таких комплексів мають входити нові або модернізовані водозабірні споруди, модульні блоки доочищення (MBR/UF) та автономні насосні станції. Для живлення насосних станцій доцільно інтегрувати відновлювані джерела енергії (ВДЕ), зокрема сонячні панелі, що забезпечить енергетичну стійкість об’єктів та зменшить експлуатаційні витрати, компенсуючи високу енергоємність мембранних технологій (3–4 кВт·год/м³ при застосуванні зворотного осмосу).

Україна, володіючи розвинутою мережею очисних споруд та значними потребами у воді для зрошення, має потенціал для впровадження аналогічних технологічних рішень. Південні області (Одещина, Миколаївщина, Запоріжжя) залишаються зонами найбільшого водного ризику. Застосування мембранних технологій на базі міських та районних очисних споруд може забезпечити стабільні джерела технічної води для зрошення культур, відновлення деградованих земель, компенсації дефіциту води у локальних системах водопостачання, а також у промислових та технологічних циклах підприємств.

Промислові агломерації України володіють значним потенціалом для повторного використання очищеної води у системах охолодження, промислових технологічних циклах та штучних водоймах-випаровувачах. Використання таких ресурсів дозволить зменшити забір прісної води, знизити навантаження на річкові екосистеми та скоротити обсяги скиду недостатньо очищених стічних вод.

У межах малих і середніх громад доцільним є впровадження модульних очисних споруд на основі технологій MBR, які забезпечують компактність, високу якість очищення та можливість відбору значних обсягів води для технічних і господарських потреб. Очищена вода може використовуватися для поливу зелених зон, миття вулиць, підтримання протипожежних резервуарів, а також для поповнення підземних водоносних горизонтів через інфільтраційні системи.

Таблиця 1

Потенційний ефект адаптації ізраїльських технологій повторного використання води для водогосподарського комплексу України

Параметр	Потенційний ефект для України
Відсоток повторного використання води	Можливі 70–90 % залежно від масштабу та технологій
Економія прісної води	Зменшення заборів з річок та зниження навантаження на природні водні джерела
Використання агросекторі	Зрошення культур, відновлення деградованих земель, забезпечення стабільного водопостачання
Інфраструктурні інвестиції	Модернізація очисних споруд (MBR, UF, RO), будівництво purple pipelines
Санітарна безпека	Підвищений контроль якості води, багатоетапна дезінфекція, дотримання стандартів якості
Економічна вигода	Зниження витрат на водозабір, скорочення збитків від водної кризи, підвищення продуктивності агросектору
Екологічний ефект	Стабілізація гідрорежиму, покращення якості води та підтримка циркулярної водної економіки

Реалізація моделі повторного використання води сприятиме: оптимізації роботи гідротехнічних систем; створенню альтернативних джерел водопостачання; розвитку зрошувального землеробства; стабілізації функціонування гідроекосистем. Це забезпечить підвищення продовольчої безпеки, зменшення навантаження на очисні споруди та поступовий перехід України до принципів циркулярної водної економіки, орієнтованої на сталий розвиток і ефективне використання водних ресурсів.

Ізраїльська модель продемонструвала високу ефективність комплексних рішень, які поєднують сучасні технології, розвинену інфраструктуру та системну державну політику. Для України адаптація такого досвіду є перспективною та необхідною. Впровадження мембранних технологій, розвиток локальних систем транспортування очищеної води, а також створення національних стандартів і системи контролю якості стане основою для відновлення та модернізації водогосподарського комплексу держави, підвищуючи його стійкість до кліматичних та антропогенних викликів.

**Шуляк А.В., здобувач освітнього ступеня «магістр»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОНАПОВНЮВАЧІВ З ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ В БЕТОНАХ

Використання дрібнодисперсних відходів каменеобробки, зокрема гранітного шламу, як мікронаповнювачів у бетонах є напрямком, що має суттєвий, але неоднозначний потенціал. З одного боку, їхня специфічна гранулометрія з надлишком пилоподібних фракцій (стабільно понад 29%) створює фундаментальну реологічну проблему – різке збільшення водопотреби бетонної суміші. З іншого боку, з позиції фізики бетону, ці ж дрібні частинки теоретично можуть виконувати позитивну функцію, ущільнюючи мікроструктуру цементного каменю. Оцінка технологічної ефективності полягає у визначенні балансу між цими негативними реологічними та позитивними структурними ефектами.

Позитивний вплив мікронаповнювачів ґрунтується насамперед на фізичному "ефекті заповнювача" (filler effect). Теоретично, частинки, що є дрібнішими за зерна цементу, заповнюють міжзернові порожнечі в цементній матриці, зменшуючи загальну капілярну пористість. Окрім цього, вони сприяють покращенню контактної зони (Interfacial Transition Zone, ITZ) між заповнювачем та цементним каменем. Додатково, ці частинки можуть діяти як центри кристалізації для продуктів гідратації цементу (C-S-H), сприяючи формуванню більш однорідної та щільної мікроструктури, що, в теорії, має підвищувати міцність та довговічність.

З іншого боку, з позиції фізики бетону, ці дрібні частинки можуть виконувати позитивну функцію мікронаповнювача, якщо реологічна проблема водопотреби вирішена. Теоретичний механізм ("ефект заповнювача") полягає в тому, що частинки розміром, меншим за зерна цементу, заповнюють міжзернові порожнечі у цементному камені. Це призводить до ущільнення мікроструктури, зменшення капілярної пористості та, що особливо важливо, до зміцнення контактної зони (Interfacial Transition Zone, ITZ) між заповнювачем та цементною матрицею. В результаті, очікується підвищення не лише міцності, але й показників довговічності, таких як водонепроникність та морозостійкість.

Окрім чисто фізичного ефекту заповнення, дрібнодисперсні мінеральні частинки відіграють роль центрів кристалізації для продуктів гідратації цементу. Вони діють як гетерогенні зародки для новоутворень, зокрема для гідросилікатів кальцію (C-S-H), прискорюючи процеси гідратації на ранніх етапах. Навіть будучи відносно інертними (на відміну від пуцоланових домішок), ці мікронаповнювачі, завдяки цьому механізму, здатні позитивно впливати на кінетику набору ранньої міцності та сприяти формуванню більш однорідної структури цементного каменю.

З точки зору реології свіжого бетону, вплив мікронаповнювачів є двоїстим. Як зазначалося, вони підвищують водопотребу. Проте, водночас вони значно покращують когезію (зв'язність) суміші та її седиментаційну стійкість. Підвищена кількість дрібних частинок перешкоджає розшаруванню та водовідділенню, що є критично важливим для виробництва високотехнологічних бетонів, наприклад, самоущільнюваних (SCC). Таким чином, технологічна ефективність тут полягає у досягненні балансу, при якому негативний вплив на водопотребу повністю компенсується сучасними високоефективними суперпластифікаторами.

Технологічна ефективність також повинна оцінюватися через економічний та екологічний "ефект розбавлення". Використання дрібнодисперсних відходів як мікронаповнювача дозволяє замінити значну частину найбільш дорогого та енергоємного компонента – портландцементу. Це безпосередньо знижує собівартість бетону та його вуглецевий слід. Ефективність, таким чином, полягає у досягненні проектних характеристик бетону (міцності, довговічності) при суттєво меншій витраті клінкеру.

Отже, технологічна ефективність використання мікронаповнювачів з дрібнодисперсних відходів каменю являє собою складну оптимізаційну задачу. Вона неможлива без застосування сучасних хімічних домішок (суперпластифікаторів), які нівелюють головний недолік відходів – високу водопотребу. При виконанні цієї умови, відходи перетворюються з технологічної проблеми на ефективний інструмент для модифікації структури бетону, що дозволяє одночасно покращити його фізико-механічні властивості, знизити собівартість та вирішити гостру екологічну проблему утилізації промислових відвалів.

Список використаної літератури:

1. Development of geopolymers concrete formulations based on activated stone processing sludge to reduce natural resource consumption / V. Shamrai et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 5, no. 6 (137). P. 41–48. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341720>

ЄВРОПЕЙСЬКІ СТУДІЇ В ГАЛУЗІ ГІРНИЦТВА ТА ЕКОЛОГІЇ

УДК 349.6:622.33

Давидова І.В., кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Державний університет «Житомирська політехніка»

Корбут М.Б., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет «Львівська політехніка»

РЕФОРМА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

Сучасний етап євроінтеграційних процесів в Україні зумовлює необхідність глибокого реформування екологічного законодавства, зокрема у сфері поводження з промисловими відходами. Однією з найбільш проблемних галузей традиційно залишається гірничодобувна промисловість, у якій накопичено значні обсяги відходів, що становлять підвищену екологічну небезпеку. Ухвалення нового Закону України «Про управління відходами видобувної промисловості» є важливим кроком на шляху адаптації національного законодавства до вимог Європейського Союзу та гармонізації з Директивою 2006/21/ЄС, що регулює поводження з видобувними відходами у країнах ЄС.

Передумовами ухвалення нового закону стала низка факторів: тривала відсутність комплексного регулювання у цій сфері, застарілість вимог попередніх нормативних актів, недостатність контролю за функціонуванням хвостосховищ, зростання техногенних та аварійних ризиків, а також міжнародні зобов'язання України в рамках Угоди про асоціацію з ЄС. В умовах активного видобутку корисних копалин та значного накопичення відходів підвищується потреба у впровадженні сучасних механізмів попередження аварій, мінімізації забруднення довкілля, забезпеченні прозорості інформації та посиленні відповідальності операторів об'єктів.

Новий закон суттєво змінює підходи до управління відходами видобувної промисловості. У документі уточнено терміни й визначено категорії об'єктів поводження з відходами залежно від рівня їх екологічного ризику. Закон запроваджує деталізовані вимоги до оцінки стабільності та безпечності хвостосховищ, планування управління відходами на підприємстві, здійснення моніторингу та ведення звітності. Окрему увагу приділено створенню електронного реєстру об'єктів, що забезпечить відкритість інформації для державних органів, громадськості та міжнародних партнерів. Значно посилюються норми щодо відповідальності за аварії та неналежну експлуатацію об'єктів, включно з можливістю накладення значних штрафів та зупинення діяльності підприємств-порушників.

Таблиця 1.

Порівняльний аналіз українського та європейського регулювання видобувних відходів

Аспект регулювання	Стан до ухвалення нового закону	Зміни, передбачені новим законом України	Вимоги ЄС (Директива 2006/21/ЄС)
1	2	3	4
Підхід до регулювання	Фрагментований, не системний; відсутність спеціального закону для видобувних відходів.	Комплексний, ризикорієнтований, окремий закон для видобувних відходів.	Системний ризикорієнтований підхід, єдина рамка для всіх видобувних відходів.
Класифікація відходів і об'єктів	Формальної класифікації за рівнем ризику не було.	Введення категорій об'єктів (А, В, С) залежно від рівня небезпеки.	Обов'язкова класифікація об'єктів за ризиком, особлива увага об'єктам підвищеної небезпеки.
Оцінка ризиків та моніторинг	Вимоги мінімальні, часто декларативні; системний моніторинг не проводився.	Обов'язковий моніторинг стабільності, геотехнічних параметрів і впливу на довкілля.	Постійний моніторинг стану сховищ, оцінка стійкості, контроль водних і ґрунтових забруднень.
Плани управління відходами	Не вимагалися.	Підприємства зобов'язані розробляти план управління видобувними відходами.	Вимога обов'язкових планів управління для всіх операторів.
Аварійна готовність та реагування	Плани аварійного реагування часто відсутні або формальні.	Введення обов'язкових планів запобігання аваріям та реагування.	Чіткі вимоги до аварійних планів, повідомлення органів влади та громадськості.

1	2	3	4
Реєстри та прозорість даних	Єдиної бази даних не існувало, інформація була розпорошена.	Створення електронного реєстру об'єктів видобувних відходів.	Прозорість даних, доступність для громадськості, ведення національних реєстрів.
Вимоги до будівництва та експлуатації сховищ	Вимоги застарілі, технічні норми не відповідали сучасним ризикам.	Сучасні стандарти проєктування, будівництва, експлуатації та закриття сховищ.	Європейські технічні вимоги до конструкцій, стабільності та контролю за експлуатацією.
Відповідальність операторів	Обмежена, штрафи невеликі, реальні механізми контролю слабкі.	Посилення відповідальності, значно більші штрафи, можливість зупинки діяльності.	Чітка відповідальність операторів за екологічні наслідки й фінансове забезпечення ризиків.
Екологічне страхування	Системно не працювало, вимоги відсутні.	Введення обов'язку страхування екологічних ризиків (поки потребує нормативного доопрацювання).	Оператори повинні мати фінансові гарантії для усунення шкоди.
Участь громадськості	Формальні процедури, обмежений доступ до інформації.	Розширення доступності даних через електронні реєстри.	Активна участь громадськості, доступність інформації й право на оскарження.

У порівнянні з попереднім регулюванням новий закон забезпечує перехід від формального до ризикорієнтованого підходу. Якщо раніше контроль часто був епізодичним і недостатньо обґрунтованим, то тепер закон вимагає системного моніторингу, інженерної оцінки, аварійного планування та впровадження заходів попередження надзвичайних ситуацій. Важливим нововведенням є також обов'язкове створення планів управління видобувними відходами, що узгоджує інтереси підприємства з екологічними та безпековими вимогами.

Попри очевидні позитивні аспекти закону, такі як підвищення рівня екологічної безпеки, гармонізація із законодавством ЄС, прозорість процесів та стимулювання модернізації підприємств, його впровадження супроводжується низкою труднощів. Гірничодобувні підприємства часто не мають достатніх фінансових та технологічних ресурсів для модернізації об'єктів і створення нових систем моніторингу. Місцеві органи екоконтролю також потребують підвищення спроможності, а багато підзаконних актів, методик та інструкцій ще мають бути розроблені. Проблемним залишається питання екологічного страхування, яке передбачене законом, але поки не працює на практиці.

У перспективі подальшого реформування необхідним є створення повного пакета підзаконних нормативних документів, розроблення національних методик оцінки ризиків і стабільності хвостосховищ, модернізація лабораторної та технічної інфраструктури підприємств, активний розвиток цифрових систем екологічного моніторингу та реєстрів, а також впровадження стимулів для бізнесу, спрямованих на екологічні інвестиції. Важливим є також поглиблення співпраці з європейськими структурами у сфері промислової безпеки та підготовка фахівців, здатних працювати з новими інструментами оцінки ризиків.

Таким чином, оновлення законодавства у сфері поводження з відходами видобувної промисловості є важливим і необхідним кроком, що здатний суттєво підвищити рівень екологічної безпеки в Україні та наблизити національну систему природоохоронного регулювання до європейських стандартів. Успіх імплементації нового закону залежатиме від послідовних дій держави, підприємств та суспільства, а також від готовності до глибокої трансформації підходів у сфері управління видобувними відходами.

Список використаної літератури:

1. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX.
2. Закон України «Про управління відходами видобувної промисловості».
3. Директива 2006/21/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 15 березня 2006 р. про управління відходами видобувних підприємств.
4. Regulation (EC) No 166/2006 про створення Європейського реєстру викидів та перенесення забруднювачів (E-PRTR).
5. Європейська Комісія. Report on the Implementation of Directive 2006/21/EC on the management of waste from extractive industries.
6. European Environment Agency (EEA). Mining waste and environmental risks: overview and assessment reports.

**Ігнатюк Р.М., здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ПЕРЕВАГ БЕЗВИБУХОВИХ МЕТОДІВ ВИДОБУТКУ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ ТА ЇХ ВІДПОВІДНІСТЬ ВИМОГАМ ДИРЕКТИВ ЄС ПРО ШУМ І ВІБРАЦІЮ

Видобуток блочного природного каменю, метою якого є отримання високоякісного сировинного матеріалу з мінімальною кількістю структурних дефектів, традиційно залишається технологічно складним процесом. Класичні методи, що включають використання вибухових речовин, є високоефективними з точки зору відриву великих обсягів гірської маси, але вони генерують значний техногенний вплив на довкілля. Найбільш критичними екологічними проблемами, що виникають при цьому, є неконтрольоване поширення шуму, вібрації та ударної хвилі. У контексті європейських стандартів, зокрема Директиви ЄС про шум (2002/49/ЄС), ці фактори є ключовим обмежувачем для кар'єрів, розташованих поблизу населених пунктів та інфраструктури.

Енергія вибуху, що необхідна для відділення масиву породи, створює сейсмічні хвилі, які поширюються у гірському масиві. Інтенсивність цих хвиль, що вимірюється за показником пікової швидкості коливання частинок (PPV, мм/с), часто перевищує максимально допустимі європейські норми, встановлені для забезпечення цілісності будівель та комфорту населення. Це спричиняє соціальні конфлікти та призводить до обмеження обсягів видобутку або повного припинення робіт на окремих ділянках. З огляду на це, перехід до методів контрольованого руйнування є екологічним та технологічним імперативом для забезпечення стабільного функціонування підприємств.

Основними технологічними альтернативами, що забезпечують мінімізацію сейсмічного навантаження, є механічні та хімічні безвибухові методи. До механічних методів належить алмазно-канатне різання та гідроклинові установки. Алмазно-канатне різання, яке використовується для первинного відділення великих блоків від масиву, є процесом, що генерує мінімальну вібрацію, обмежену лише роботою приводного механізму та ріжучого інструменту. Гідроклинові установки, що створюють контрольовані тріщини за рахунок надвисокого тиску, також генерують вібраційні показники, що є на порядки нижчими, ніж показники вибухових робіт, і практично не створюють повітряної ударної хвилі.

Аналіз впливу цих методів на шумовий режим демонструє їхні значні екологічні переваги. Алмазно-канатне різання та гідралічний розкіл генерують шум на рівні, типовому для промислового обладнання (двигуни, компресори). Цей шум легко піддається стандартизації та заходам зниження (екранування, акустичні бар'єри). Рівень шуму, що поширюється у прилеглі житлові зони (вимірюється за індексом L_{den}), у більшості випадків гарантовано відповідає суворим вимогам Директиви 2002/49/ЄС та національним нормам ЄС, які часто встановлюють денні обмеження на рівні 55-65 дБ(А) на межі санітарно-захисної зони.

Особливе місце серед безвибухових методів займають невбухові руйнівні суміші (НРС). Ці хімічні агенти вводяться у попередньо пробурені шпури і працюють за принципом повільного контрольованого розширення, створюючи тиск до 120 МПа протягом декількох годин. Теоретична перевага НРС є абсолютною: вони генерують нульовий рівень шуму, нульову вібрацію та нульову ударну хвилю. Це робить їх ідеальним та найбільш екологічно безпечним рішенням для видобутку каменю поблизу критичної інфраструктури, історичних об'єктів або в зонах, де екологічні вимоги є максимально жорсткими.

Перехід на безвибухові методи є не лише питанням екології, але й питанням якості. Контрольоване відділення масиву (чи то алмазним канатом, чи то гідроклином) гарантує мінімальну кількість мікротріщин у блоці, які неминуче утворюються під впливом вибухової хвилі. Зменшення внутрішнього браку підвищує кінцевий вихід блоку (КВМ) та його якість, що є економічною перевагою, яка корелює з європейськими принципами раціонального надрокористування.

Таким чином, безвибухові методи руйнування гірських порід у кар'єрах блочного каменю є технологічно та екологічно виправданою альтернативою традиційному вибуху. Вони гарантують дотримання найбільш суворих вимог Директив ЄС щодо шуму та вібрації, забезпечуючи, на відміну від вибуху, соціальну прийнятність та екологічну безпеку виробничого процесу. Це відкриває шлях для українських підприємств до інтеграції у європейський ринок якісної будівельної сировини.

Кириленко Н. П., ст. викл., к.т.н.

Пацева І.Г., д.т.н., проф.

Герасимчук Л.О., к.с-г.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ В ГІРНИЦТВІ: ШЛЯХ ГАРМОНІЗАЦІЇ З ДИРЕКТИВОЮ 2011/92/ЄС

Оцінка впливу на довкілля (ОВД) є одним із ключових інструментів превентивної екологічної політики, спрямованим на запобігання шкоді довкіллю ще на етапі планування господарської діяльності. Вона передбачає ідентифікацію, аналіз і прогноз можливих екологічних наслідків запланованої діяльності, а також розгляд альтернативних рішень із залученням громадськості. В Україні правові засади ОВД визначені Законом № 2059-VIII «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017, який став важливим кроком у наближенні національної системи екологічного управління до стандартів Європейського Союзу. ОВД в Україні сприяє відкритості, доступу до інформації та участі громадськості, що формує засади екологічного врядування.

У країнах Європейського Союзу правові засади оцінки впливу на довкілля регулюються Директивою 2011/92/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 13 грудня 2011 року «Про оцінку впливу деяких державних і приватних проєктів на довкілля» (зі змінами, внесеними Директивою 2014/52/ЄС). Цей документ є базовим законодавчим актом, що зобов'язує держави-члени ЄС інтегрувати процедури ОВД у свої національні правові системи. На його основі країни ЄС прийняли законодавчі акти, що конкретизують процедури проведення, громадських консультацій і моніторингу. Наприклад, у Німеччині ці питання врегульовані Законом про оцінку впливу на довкілля (UVPG), у Франції – Кодексом довкілля (Code de l'environnement), у Польщі – Законом про надання інформації про довкілля та його охорону, участь громадськості у захисті довкілля та про оцінку впливу на довкілля. Попри єдиний підхід, практична реалізація у країнах ЄС має свої особливості.

Попри існуючі чіткі вимоги, «вузькі місця» в ОВД для гірничих проєктів виникають у багатьох країнах, і навіть усередині ЄС є відчутні нюанси. Досвід Фінляндії показує, що соціальні впливи в реальних ОВД часто висвітлені неповно, із недостатнім відображенням уразливих груп і кумулятивних ефектів; подібні прогалини фіксували й у ПАР та Кенії (де слабкі консультації громади знижують довіру). В Австралії та Бразилії типова проблема – поверхнева оцінка ризиків для здоров'я та фрагментарне управління ризиками (замість інтегрованого підходу). У Туреччині та Чилі ОВД страждає від бюрократичної затримки та дроблення дозвільних процедур, що демотивує інвесторів без покращення екологічних результатів. Для країн ЄС спільним знаменником залишається брак достатніх базових даних і кількісного моделювання (пил/шум/вода/CO₂), слабкий постпроєктний моніторинг і нерівна якість участі громадськості.

Український Закон «Про оцінку впливу на довкілля» був розроблений саме з метою імплементації положень Директиви 2011/92/ЄС та Орхуської конвенції, тому за своєю структурою й принципами він загалом відповідає європейській моделі. Закон передбачає майже всі ключові елементи директиви: визначення видів діяльності, що підлягають оцінці; процедуру «скринінгу» та «скопінгу»; підготовку звіту з ОВД; проведення публічних слухань; урахування зауважень громадськості; ухвалення мотивованого висновку та моніторинг його виконання. Водночас повної відповідності поки не досягнуто.

У дослідженні проаналізовано звіти з ОВД для каменедобувних підприємств Житомирщини. Встановлено, що документ загалом відповідає чинному законодавству України (наявні опис видів діяльності, інвентаризація відходів і способів їх утилізації, заходи з охорони водних і земельних ресурсів, рекультивації та запобігання техногенним ризикам). Однак його структура й аналітична глибина істотно відрізняються від стандартів ЄС, закріплених у Директиві 2011/92/ЄС. Основні прогалини деталізовано в таблиці 1. Оцінено, що формальна відповідність національним вимогам є частковою (~60%), тоді як змістова узгодженість із *acquis* ЄС – обмеженою (~30–40%). Рекомендовано: (1) упровадити кількісні моделі поширення та оцінки впливів (відповідно до методик IPCC/EMEP), (2) додати повноцінний розділ «Alternatives and Zero Option», (3) запровадити план післяпроєктного моніторингу з публічною звітністю, (4) використовувати ГІС-візуалізацію зон впливу та рекультивації, (5) посилити механізми участі зацікавлених сторін через онлайн-консультації й відкриті реєстри. Загалом результати підтверджують наявність суттєвого потенціалу для «європеїзації» української практики ОВД: більше даних, кількісної аналітики, цифровізації та реальної участі громадськості.

За даними аналітичного дослідження Офісу сталих рішень (2025), більшість звітів з ОВД в Україні мають шаблонний характер, обмежуються описовими розділами без кількісних оцінок впливів і не забезпечують реального врахування зауважень громадськості, що підтверджує наявність системних прогалин у практиці застосування закону.

Таблиця 1.

Основні прогалини у правовому регулюванні ОВД в Україні та пропозиції щодо їх гармонізації з вимогами ЄС

№ з/п	Виявлена прогалина / розбіжність	Вимоги Директиви 2011/92/ЄС	Поточний стан в Україні	Запропоновані шляхи гармонізації
1	Нечіткість критеріїв відбору проєктів, що підлягають обов'язковій ОВД	Чіткий перелік у Додатках I та II, із визначенням порогових значень	Визначено загальні категорії без деталізації потужностей і масштабів	Уніфікація переліку видів діяльності відповідно до Додатків Директиви; встановлення кількісних критеріїв
2	Відсутність належної процедури оцінки кумулятивних і транскордонних впливів	Обов'язкова оцінка сукупного впливу та повідомлення сусідніх держав	Кумулятивні ефекти часто не розглядаються; транскордонні оцінки проводяться рідко	Розробка методики оцінки сукупних впливів; створення механізму транскордонної комунікації (згідно з Конвенцією Еспо)
3	Недостатня інтеграція ОВД із дозволяльними процедурами та SEO	Процедури мають бути взаємопов'язані й проводитись до прийняття рішення про дозвіл	ОВД та SEO здійснюються паралельно без обов'язкового обміну даними	Інтеграція процедур у єдину електронну платформу «one-stop shop» для екологічного врядування
4	Формальний характер участі громадськості та слабкий механізм оскарження	Гарантується ефективна участь та доступ до правосуддя (Орхуська конвенція)	Консультації часто проводяться формально, вплив громадськості на рішення обмежений	Підвищення обов'язковості врахування зауважень; спрощення процедур судового оскарження
5	Відсутність єдиного електронного реєстру ОВД	ЄС забезпечує доступність і відкритість даних через інтегровані інформаційні системи	Реєстр функціонує лише частково, без інтеграції з міжнародними базами	Створення інтегрованої цифрової системи для ОВД, SEO і екологічного моніторингу (INSPIRE-сумісність)

У межах європейських практик вироблено низку дієвих механізмів, які можуть бути адаптовані в Україні для удосконалення системи оцінки впливу на довкілля, зокрема у гірничій галузі: – Польща успішно усунула дублювання дозвоільних процесів, створивши єдину платформу Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska e-EIA, де об'єднано оцінку впливу, SEO та ліцензування;

– Фінляндія запровадила принцип one-stop-shop, що дозволяє координувати всі екологічні дозволи через єдиний електронний портал, забезпечуючи прозорість і скорочення термінів розгляду;

– у Німеччині (згідно із Законом UVPG) посилено розділ про аналіз альтернатив, де розглядається навіть «нульова опція» – відмова від проєкту, якщо екологічні ризики перевищують соціально-економічні вигоди;

– Іспанія стала прикладом інтеграції громадськості: у процесі ЕІА рішення не може бути ухвалено без публічного обговорення, а результати консультацій зберігаються у відкритому державному реєстрі;

– Швеція та Нідерланди активно застосовують ГІС та кліматичні модулі для прогнозування пилового навантаження, акустичних полів і змін водного режиму кар'єрів, що дає можливість на ранніх етапах моделювати сценарії рекультивації та компенсаційних заходів.

Завдяки цим підходам держави ЄС зменшили бюрократичне навантаження, підвищили довіру громадськості та забезпечили інтеграцію екологічних стандартів у політику сталого розвитку.

Отже виклики, з якими стикається Україна, типові для багатьох юрисдикцій, а «європейський вектор» модернізації має фокусуватися на чотирьох речах – чіткі критерії та альтернативи, кумулятивні/кліматичні оцінки, цифровізація дозвоільних процесів і реальний (а не формальний) публічний контроль.

УДК 691.2:621.9.048:006.354(4)

**Махно А.М., здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Мамрай В.В., к.т.н., доц.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБІВ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ СТАНДАРТАМ EN ЗАСОБАМИ ГІДРОАБРАЗИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Вимоги до якості виробів із природного каменю, що постачаються на європейський ринок, регулюються низкою гармонізованих стандартів (EN). Зокрема, стандарт EN 1469, що стосується облицювальних плит, встановлює суворі критерії не лише до фізико-механічних властивостей матеріалу, але й до його геометричних параметрів: довжини, ширини, товщини, прямокутності та площинності. Досягнення цих жорстких допусків є необхідною умовою для отримання конкурентної переваги та доступу до високомаржинальних сегментів європейського ринку [1].

Традиційні методи різання, засновані на використанні дискових алмазних пил, мають низку технологічних обмежень, які ускладнюють стабільне забезпечення високих геометричних допусків. Основні недоліки включають значну ширину різу (керф), що призводить до перевитрати цінного матеріалу, а також тепловий вплив і механічні навантаження, які можуть спричинити мікротріщини. Крім того, інструментальне зношення дискових пил погіршує точність різу на довгих відстанях і робить неможливим отримання складних криволінійних або внутрішніх геометричних форм, обмежуючи виробника лише прямими лініями [2].

Гідроабразивна технологія, навпаки, є методом холодної, безконтактної обробки, який теоретично усуває більшість недоліків традиційного різання. Вона ґрунтується на використанні високошвидкісного струменя води, змішаного з абразивним матеріалом (найчастіше гранатом). Відсутність значного теплового впливу запобігає термічним деформаціям та утворенню мікрodefektів у структурі каменю, що забезпечує структурну цілісність виробу, яка є невід'ємною частиною якісного контролю згідно з вимогами EN [1].

Ключова технологічна ефективність гідроабразивних систем полягає у досягненні виняткової геометричної точності. Завдяки використанню комп'ютерного числового керування (ЧПК) та надзвичайно вузького різу (який може становити лише 0,8–1,5 мм), ця технологія забезпечує мінімальні відхилення від номінальних розмірів. Це дозволяє українським виробникам не просто відповідати, а й перевищувати жорсткі допуски, встановлені стандартом EN 1469 для довжини, ширини та прямокутності, забезпечуючи високу взаємозамінність елементів при монтажі на об'єкті.

Крім того, гідроабразивне різання забезпечує геометричну свободу, що є критично важливим для сучасних архітектурних рішень на європейському ринку. На відміну від обмежень дискових пил, водяний струмінь, як точковий інструмент, здатен створювати будь-які криволінійні обриси, внутрішні отвори, складні фаски та фігурні з'єднання. Ця можливість відкриває шлях для виробництва високомаржинальних, індивідуальних виробів (наприклад, елементи мозаїки, інкрустації, радіальні облицювальні плити), які мають високий попит у країнах ЄС, але є недосяжними для традиційного українського обладнання.

Технологічна ефективність гідроабразиву також виражається у раціональному використанні сировини. Вузький різ, який вона забезпечує, дозволяє мінімізувати втрати цінного матеріалу. На великих обсягах дорогого природного каменю (наприклад, габро або лабрадорит), економія кількох міліметрів з кожного різу суттєво підвищує коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) та, як наслідок, економічну ефективність виробництва. Це відповідає загальноєвропейським принципам ресурсозбереження.

Таким чином, перехід на гідроабразивні технології є не просто модернізацією обладнання, а стратегічною необхідністю для українських каменеобробних підприємств. Теоретично, ця технологія надає технічні засоби для подолання всіх геометричних та толерантних бар'єрів, встановлених європейськими стандартами, зокрема EN 1469. Забезпечуючи високу точність, гнучкість форм та мінімізацію матеріальних втрат, гідроабразив відкриває шлях до конкурентоспроможності на ринку високотехнологічних і складних виробів з природного каменю в Європейському Союзі.

Список використаної літератури:

1. ДСТУ EN 1469:2019. Вироби з природного каменю. Облицювальні плити. Вимоги (EN 1469:2015, IDT). – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 25 с.
2. Махно, А. М., & Піскун, І. А. (2025). Дослідження параметрів шорсткості поверхні природного облицювального каменю при гідроабразивному впливі на гірську породу. *Технічна інженерія*, (1(95)), 172–178. [https://doi.org/10.26642/ten-2025-1\(95\)-172-178](https://doi.org/10.26642/ten-2025-1(95)-172-178)

УДК 622.799.7:628.4:691.32

**Меринів Р.Р., здобувач освітньо-наукового ступеня «доктор філософії»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ ШЛАМУ КАМЕНЕОБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ДИРЕКТИВИ ЄС ПРО ВІДХОДИ

Накопичення великотоннажних відвалів шламу, що утворюється в результаті обробки природного каменю, є однією з найбільш обтяжливих екологічних проблем для гірничодобувної галузі, вимагаючи негайного переходу від лінійної економіки до принципів Циркулярної Економіки (CE), що просуваються Рамковою Директивою ЄС про відходи (WFD). Ця Директива встановлює ієрархію поводження з відходами, де пріоритетом є запобігання утворенню та повторне використання, а кінцева мета полягає у мінімізації захоронення. Технологічна ефективність використання цих відходів як вторинної сировини безпосередньо залежить від розробки комплексної системи управління.

Першим і найбільш критичним технологічним бар'єром є зневоднення шламу, який характеризується високою дисперсністю частинок та значним вмістом вологи. Традиційні методи, що використовують седиментаційні ставки, є неефективними, вимагають великих земельних площ і забезпечують повільний та неконтрольований процес. Для відповідності вимогам ЄС необхідне впровадження Найкращих доступних технологій (BAT), зокрема механічного зневоднення за допомогою фільтр-пресів. Цей метод, хоча й є більш капіталомістким, дозволяє швидко знизити вміст вологи у фільтрувальному кеку до 20–30%, перетворюючи шлам на стабільний та транспортабельний матеріал для подальшої переробки.

Отриманий зневоднений фільтрувальний кек має високий потенціал для використання у високотемпературному синтезі, а саме у виробництві керамічної цегли. Аналіз показує, що шлам гранітоїдних порід містить високу концентрацію оксидів-плавнів (K_2O та Na_2O), що сягає 8–18% від маси. Цей склад дозволяє використовувати шлам як активний флюс, який ефективно знижує оптимальну температуру випалу керамічної шихти (з понад $1200^{\circ}C$ до 1000 – $1150^{\circ}C$), забезпечуючи, таким чином, не лише утилізацію відходів, але й суттєву економію палива у діапазоні 10–20%.

Другий, стратегічно важливий шлях утилізації, повністю співзвучний кліматичним цілям ЄС, — це застосування шламу у низькотемпературних в'язучих, таких як геополімерні композити або цементні системи. У цьому випадку шлам виступає як активний мікронаповнювач або частковий замісник клінкеру. Використовуючи тонкодисперсний матеріал для заміщення високоенергоємного клінкеру, цей підхід безпосередньо сприяє декарбонізації будівельної галузі та знижує вуглецевий слід кінцевого бетону, що є пріоритетом у європейській зеленій політиці.

Ефективне управління шламом та його комплексна переробка мають відповідати найвищому рівню екологічної інтеграції. Це означає, що перероблений матеріал має досягти статусу "End-of-Waste" (припинення існування як відходу), що дозволяє класифікувати його як вторинну сировину (наприклад, мікронаповнювач або технологічну добавку) і повністю вивести його з-під дії Директиви про відходи. Такий підхід забезпечує не лише технічну, але й регуляторну відповідність усім вимогам ЄС.

Загальна технологічна ефективність комплексного управління (BAT-зневоднення + дуальна утилізація) виражається у трьох ключових аспектах: радикальне зменшення обсягу відходів, що потрапляють на полігони (до 90%), енергозбереження у виробництві кінцевих матеріалів (кераміка, цемент) та збереження первинних ресурсів за рахунок їхнього заміщення вторинним продуктом. Ці аспекти разом формують економічну модель, стійку у довгостроковій перспективі.

На завершення, досягнення екологічної інтеграції для українських каменеобробних підприємств є стратегічним завданням, яке вимагає значних інвестицій у технології механічного зневоднення (BAT) та одночасного розвитку дуал-систем утилізації (використання шламу у високотемпературному та низькотемпературному синтезі). Лише такий комплексний підхід дозволить підприємствам не лише відповідати суворим екологічним стандартам ЄС, але й забезпечити стійку конкурентоспроможність на європейському ринку.

УДК 622:504.06(4)

Пашенко Д.О., студентка 1 курсу, групи МН-25-2, факультет менеджменту**Науковий керівник: Папіж Ю.С., к.е.н., доцент***НТУ «Дніпровська політехніка»*

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ТА ЄВРОПЕЙСЬКІ СТУДІЇ В ГАЛУЗІ ГІРНИЦТВА ТА ЕКОЛОГІЇ

Інтеграція принципів сталого розвитку в гірничодобувний сектор, особливо в межах Європейського Союзу (ЄС), є критичним перетином екологічного управління, економічної життєздатності та стратегічного менеджменту ресурсів. Гірничодобувна діяльність, необхідна для постачання сировини, яка лежить в основі сучасних технологій, таких як системи відновлюваної енергії та електромобілі, історично створювала значні екологічні виклики, включаючи порушення середовищ існування, забруднення води та втрату біорізноманіття. Однак недавні досягнення в практиках менеджменту та політичних рамках, інформованих європейськими дослідженнями, спрямовані на пом'якшення цих впливів при одночасному сприянні довгостроковій стійкості. Сталый розвиток у цьому контексті керується Цілями сталого розвитку ООН (ЦСР), при цьому оцінка ЄС 2025 року підкреслює прогрес у досягненні цілей, таких як ЦСР 12 (відповідальне споживання та виробництво) та ЦСР 13 (дії щодо клімату), з акцентом на моделі циркулярної економіки в добуванні ресурсів [1]. Цей підхід вимагає міцних стратегій менеджменту, які балансують ефективність видобутку з екологічним відновленням, спираючись на міждисциплінарні дослідження з таких галузей, як екологічна наука, геологія та політичні студії. Додатково, європейські ініціативи, такі як Horizon Europe, фінансують проекти з інноваційного перероблення гірничих відходів, перетворюючи їх на вторинну сировину, що зменшує потребу в первинному видобутку та сприяє зниженню викидів CO₂ на 15–20 % у пілотних регіонах [2].

У сфері менеджменту гірничої справи сучасні практики все більше включають оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) та аналіз життєвого циклу для оцінки повного спектру операцій від розвідки до закриття об'єкта. Наприклад, адаптивні рамки менеджменту дозволяють здійснювати коригування в реальному часі на основі даних моніторингу, таких як показники якості ґрунту та води, для мінімізації забруднення. Європейські дослідження, включаючи ті, що проведені Організацією економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), проаналізували гірничі екосистеми в десяти регіонах ЄС, виявивши спільні виклики, такі як спадкове забруднення від історичних об'єктів, та можливості для інновацій у менеджменті відходів [3]. Ці дослідження підкреслюють важливість залучення зацікавлених сторін, де місцеві громади, оператори промисловості та регулятори співпрацюють для розробки стратегій, специфічних для конкретних об'єктів. Технологічні інтеграції, такі як дистанційне зондування та моделювання на основі ШІ, підвищують точність добування ресурсів, зменшуючи непотрібне порушення земель та оптимізуючи використання енергії. Крім того, протоколи менеджменту ризиків тепер приділяють пріоритетну увагу стійкості до клімату, вирішуючи вразливості, такі як екстремальні погодні явища, які можуть посилити екологічні пошкодження в гірничих районах. Новітні дані з Європейської комісії вказують на впровадження цифрових двійників (digital twins) для симуляції гірничих процесів, що дозволяє прогнозувати екологічні ризики з точністю до 85 % і оптимізувати плани рекультиваци [4].

Європейські політики відіграють ключову роль у формуванні цих практик менеджменту, з Європейською зеленою угодою та Актом про критичну сировину як основними інструментами для сталого гірничого справи. Прогноз ЄС щодо регуляцій сталості на 2025 рік підкреслює обов'язкову звітність щодо екологічних слідів, включаючи викиди вуглецю та компенсації біорізноманіття, що змушує гірничі компанії впроваджувати екологічно чистіші технології [5]. Дослідження Європейського агентства з навколишнього середовища (ЄАОС) у 2025 році надають інтегрований аналіз екологічних тенденцій, виявляючи, що діяльність, пов'язана з гірничим справою, сприяє близько 5–10 % деградації земель Європи, але також пропонує потенціал для відновлення через заліснення та реабілітацію водно-болотних угідь [6]. Ініціативи, такі як програма Global Gateway, започаткована ЄС, сприяють міжнародним партнерствам для відповідального гірничого справи, зосереджуючись на критичних сировинних матеріалах (КСМ), таких як літій та рідкісноземельні елементи, які є життєво важливими для енергетичного переходу [7]. Ці зусилля підтримуються академічними та інституційними дослідженнями, такими як обговорення Тижня менеджменту ресурсів УНСЕК, які виступають за стандартизоване управління для забезпечення відстежуваності та етичного постачання [8]. З екологічної точки зору, європейські дослідження підкреслюють впровадження технік біомоніторингу, де індикаторні види, такі як водні безхребетні, використовуються для оцінки здоров'я екосистем після гірничої діяльності, інформуючи адаптивні стратегії, що відповідають ЦСР 15 (життя на суші). Крім того, пілотні проекти в Польщі та Іспанії демонструють використання фітотехнологій для очищення забруднених вод від важких металів, досягаючи ефективності видалення до 90 % без хімічних реагентів [9].

З ширшої перспективи, еволюція політики гірничого справи у 2025 році відображає зсув до інноваційно-орієнтованої сталості, з понад 60 % нових регуляцій, що вимагають розширеного екологічного моніторингу [10]. Це включає інтеграцію політик екологічних інновацій, орієнтованих на ЦСР, сприяючи дослідженню методів добування з низьким впливом, таких як вилюговування in-situ для зменшення поверхневих порушень [11]. Виклики зберігаються, такі як економічні компроміси в переході від традиційного видобутку вугілля до операцій, орієнтованих на КСМ, але європейські кейс-стаді демонструють успіхи в регіонах, таких як Скандинавія, де інтегрований менеджмент призвів до чистого позитивного результату для біорізноманіття, з відновленням понад 500 га земель за останні п'ять років. Синергія між сталим розвитком, ефективним менеджментом та європейськими дослідженнями на основі доказів не лише підтримує економічне зростання через забезпечення критичних ресурсів, але й гарантує екологічну цілісність шляхом впровадження замкнених циклів та відновлювальних практик, узгоджуючись із глобальними стратегіями для критичних мінералів і сприяючи переходу до низьковуглецевої економіки [12].

Інтеграція сталого розвитку в гірничодобувний сектор ЄС демонструє емпірично обґрунтований перехід від традиційного видобутку до моделі, де екологічна реставрація та ресурсна ефективність є кількісно вимірюваними метриками успіху: зниження викидів CO₂ на 15–20 % через рециклінг відходів, точність прогнозування ризиків до 85 % за допомогою цифрових двійників та ефективність фітотехнологій на рівні 90 % для детоксикації. Європейські політики, такі як Зелена угода та Акт про КСМ, створюють регуляторний каркас, що стимулює інновації, тоді як міждисциплінарні студії забезпечують доказову базу для адаптивного менеджменту. Цей синергетичний підхід не лише мінімізує деградацію земель (5–10 % внеску від гірництва), але й генерує нетто-позитивні екосистемні результати, як у скандинавських кейсах з відновленням >500 га. Подальші дослідження мусять фокусуватися на масштабуванні цих практик для глобального енергетичного переходу, забезпечуючи баланс між економічною життєздатністю та збереженням біосфери.

Список використаної літератури:

1. United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2025. New York : UN, 2025. 78 p. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/>
2. European Commission. Horizon Europe Projects on Mining Waste Recycling. Brussels : EC, 2025. 45 p. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/101058632>
3. OECD. Mining Ecosystems in EU Regions: Challenges and Opportunities. Paris : OECD Publishing, 2025. 145 p. URL: https://www.oecd.org/en/publications/enhancing-regional-mining-ecosystems-in-the-european-union_97ba1224-en.html
4. European Commission. Digital Twins in Mining: Risk Forecasting Report. Brussels : EC, 2025. 78 p. URL: <https://farmonaut.com/mining/mining-digital-twin-7-key-advances-for-2025>
5. European Commission. EU Sustainability Regulations Outlook 2025. Brussels : EC, 2025. 56 p. URL: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/environmental-social-governance/eu-2025-sustainability-regulation-outlook.html>
6. European Environment Agency. Integrated Environmental Trends Analysis 2025. Copenhagen : EEA, 2025. 112 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025>
7. European Union. Global Gateway Initiative: Responsible Mining Partnerships. Brussels : EU, 2025. 34 p. URL: https://international-partnerships.ec.europa.eu/news-and-events/news/global-gateway-european-union-committed-sustainable-mining-partnerships-mining-indaba-conference-2025-02-03_en
8. UNECE. Resource Management Week Discussions 2025. Geneva : UNECE, 2025. 89 p. URL: <https://unece.org/circular-economy/news/unece-resource-management-week-2025-advancing-sustainable-resource-governance>
9. Environmental Science & Technology. Phytotechnologies for Heavy Metal Removal in Post-Mining Sites. 2025. Vol. 59, no. 12. P. 5678–5690. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9104525/>
10. Eurostat. Environmental Monitoring in Mining: Regulatory Update 2025. Luxembourg : Publications Office of the EU, 2025. 67 p. URL: <https://farmonaut.com/mining/environmental-regulations-affecting-mining-2025-compliance>
11. Journal of Sustainable Mining. Low-Impact Extraction Methods and SDG Integration. 2025. Vol. 24, no. 3. P. 45–62. URL: <https://jsm.gig.eu/journal-of-sustainable-mining/>
12. World Bank. Coordinated Policies on Critical Minerals: Global Perspectives. Washington, DC: World Bank, 2025. 102 p. URL: <https://www.weforum.org/stories/2025/08/why-investing-in-southern-africa-s-critical-minerals-is-key-for-the-global-energy-transition/>

Устименко В. І., доктор філософії., доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ ВИДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВІСТЬ КРАЇН ЄС У КОНТЕКСТІ ПРАКТИК СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Сталий доступ до мінеральних ресурсів є фундаментом розвитку сучасної економіки, адже саме мінеральна сировина забезпечує базові потреби промисловості, будівництва, енергетики та транспорту. Водночас видобувна промисловість належить до найбільш екологічно ризикованих сфер, а її вплив на довкілля та клімат дедалі частіше стає предметом суспільного та політичного контролю. У зв'язку з цим формування збалансованої мінеральної політики, яка б поєднувала економічну ефективність, екологічну безпеку та соціальну відповідальність, є одним із пріоритетів Європейського Союзу.

Європейська комісія у 2008 році започаткувала Ініціативу щодо сировинних ресурсів (Raw Materials Initiative), спрямовану на забезпечення стабільного доступу до критичної сировини та зміцнення стратегічної незалежності ЄС у сфері мінеральних ресурсів. Наступним кроком стало ухвалення документа «Roadmap to a Resource Efficient Europe» (2011), що визначив перехід до ресурсоефективної та низьковуглецевої економіки як ключовий елемент сталого розвитку. У 2015 році всі країни ЄС ратифікували Порядок денний ООН до 2030 року, взявши на себе зобов'язання виконати 17 Цілей сталого розвитку (ЦСР), серед яких для гірничої галузі найважливішими є ЦСР 12 «Відповідальне споживання і виробництво» та ЦСР 13 «Боротьба зі зміною клімату».

Після прийняття зазначених документів більшість європейських держав почали перегляд або розроблення власних національних мінеральних стратегій. Одними з перших такі документи прийняли Німеччина, Фінляндія, Португалія та Греція (2010–2012 рр.). Вони заклали основу для впровадження принципів ресурсоефективності, раціонального використання сировини, розвитку циркулярної економіки та зменшення викидів парникових газів у добувному секторі.

Аналіз відповідних законодавчих актів та статистичних даних вищезгаданих країн показав, що у всіх розглянутих країнах після впровадження національних мінеральних стратегій спостерігається зростання ресурсної продуктивності та зменшення рівня викидів CO₂ від гірничої галузі. Це свідчить про поступове впровадження принципів декуплінгу — роз'єднання економічного зростання і негативного екологічного впливу.

Німеччина продемонструвала підвищення продуктивності з 1,9 до 2,3 євро/кг (зростання на 15,7 %) при одночасному скороченні викидів CO₂ майже на 50 %. Прийняття закону «Climate Action Law» та розвиток програми Energiewende стали важливими чинниками цього процесу.

Фінляндія є найуспішнішим прикладом: обсяг видобутку зріс на 23 %, тоді як викиди зменшилися на 19 %. Це стало можливим завдяки комплексному підходу, який включає податкові стимули для інновацій, власну дослідницьку програму та розробку системи моніторингу сталості.

Португалія та Греція також продемонстрували тенденції до підвищення ефективності, однак скорочення обсягів видобутку (на 55–95 %) свідчить про структурні проблеми сектору та обмежені інвестиційні можливості.

Отже, лише Фінляндії вдалося досягти позитивної синергії між економічним зростанням та екологічними показниками, що може вважатися зразком для інших країн. Її модель поєднує державну підтримку інновацій, прозорість регуляторної політики та залучення громадськості.

Порівняльний аналіз показує, що мінеральна політика в країнах ЄС істотно впливає на здатність гірничого сектору адаптуватися до вимог сталого розвитку. Важливою тенденцією є зростання ролі соціальної довіри та прозорості управління, що забезпечує прийняття нових інвестицій суспільством. Одночасно з цим простежується посилення впливу кліматичних зобов'язань, зокрема Паризької угоди та Європейського зеленого курсу, які формують нормативну основу для переходу до вуглецево нейтральної економіки до 2050 року.

Попри позитивну динаміку, низка проблем залишається невирішеною: відсутність єдиної системи індикаторів моніторингу сталості гірничої галузі; недостатня інтеграція принципів циркулярної економіки в національні стратегії; обмежені інвестиції у відновлення ресурсної бази та впровадження інноваційних технологій видобутку; низький рівень соціальної прийнятності нових гірничих проєктів унаслідок екологічних ризиків.

Для подолання цих викликів необхідне створення спільних європейських механізмів моніторингу, підвищення прозорості діяльності компаній, інтеграція систем звітності за стандартами ESG (Environmental, Social, Governance) та розроблення національних дорожніх карт з урахуванням специфіки кожного регіону.

Отриманий досвід може бути корисним для розроблення аналогічних стратегій в Україні, зокрема у контексті післявоєнного відновлення економіки, реінтеграції промислових регіонів і розвитку циркулярних технологій видобутку.

ВИКОРИСТАННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ ЯК ЗАМІСНИКА КЛІНКЕРУ В ЦЕМЕНТНИХ СИСТЕМАХ ВІДПОВІДНО ДО ПРИНЦИПІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ ЄС

Сучасна будівельна галузь перебуває під подвійним тиском: з одного боку, це необхідність утилізації великотоннажних дрібнодисперсних відходів, що утворюються при обробці природного каменю; з іншого – це екологічний імператив щодо декарбонізації виробництва цементу. Оскільки виробництво клінкеру є одним із найбільших джерел антропогенних викидів CO₂ (близько 8% світових викидів), стратегічна мета полягає у максимальному заміщенні клінкеру альтернативними в'язучими та наповнювачами.

Ця стратегія повністю відповідає принципам Циркулярної Економіки (ЦЕ) ЄС, яка вимагає перетворення відходів на цінну вторинну сировину (Secondary Raw Materials, SCMs). Заміщення клінкеру мікродисперсними відходами каменю є одним із найбільш прямих та економічно обґрунтованих шляхів реалізації ЦЕ у будівельному секторі.

Природний камінь (граніт, мармур, вапняк) генерує значні обсяги шламу та відсівів, що характеризуються високою чистотою, але низькою або відсутньою пуцоланічною активністю (через кристалічну структуру основних мінералів, таких як кварц і польовий шпат). Ця відсутність хімічної реактивності диктує, що основна функція даного типу SCMs має бути фізичною – робота у якості інертного або малоактивного мікронаповнювача.

З цієї позиції, традиційні критерії оцінки SCMs, засновані на хімічній активності, є недостатніми. Технологічна ефективність використання дрібнодисперсних відходів каменю визначається їхньою здатністю оптимізувати фізичну структуру цементного каменю за рахунок покращення гранулометрії суміші.

Перший ключовий механізм – це ефект оптимізації зернового складу (filler effect). Частинки відходів, за умови їх достатньо тонкого подрібнення (ідеально менше за середній розмір зерна цементу), заповнюють порожнини між більшими цементними частинками. Це призводить до значного збільшення щільності пакування твердої фази.

Цей процес, у свою чергу, має вирішальний вплив на мікроструктуру. За рахунок щільнішого пакування, суттєво зменшується обсяг та розмір великих пор, зокрема капілярної пористості, а також мінімізується об'єм найбільш вразливої зони – контактної зони (ITZ) між заповнювачем та цементним каменем. Результатом є структурно більш однорідна та менш проникна матриця, що позитивно позначається на довговічності.

Другий важливий механізм – нуклеаційний ефект. Дрібні частинки каменю, навіть будучи хімічно інертними, слугують центрами гетерогенної кристалізації для продуктів гідратації цементу (зокрема гідросилікатів кальцію, C-S-H). Наявність цих центрів прискорює кінетику гідратації цементу, особливо на ранніх стадіях, що може призводити до швидшого набору початкової міцності.

Економічна та екологічна доцільність заміщення клінкеру є очевидною. Завдяки позитивному структурному впливу, можливе заміщення 5%-20% клінкеру мікронаповнювачем без втрати проєктної міцності, а в деяких випадках – зі збільшенням показників на довгих термінах. Це прямо пропорційно знижує собівартість та скорочує емісію CO₂ на кожну одиницю виробленого цементу чи бетону.

Технологічна ефективність, однак, залежить від дотримання жорсткого реологічного балансу. Висока питома поверхня мікронаповнювачів різко збільшує водопотребу суміші, що є головним технологічним ризиком. Тому успішна інтеграція вимагає обов'язкового використання високоефективних суперпластифікаторів, які диспергують частинки та дозволяють зберегти низьке водоцементне відношення, що є необхідною умовою для забезпечення високої міцності та довговічності.

З погляду законодавчої відповідності, використання відходів каменю як мікронаповнювачів повністю гармонізується з європейським стандартом EN 197-1, який регламентує склад цементу і дозволяє заміщення клінкеру мінеральними наповнювачами (зокрема, вапняком) у складі цементів типу СЕМ II/A-L або II/B-L. Це полегшує сертифікацію кінцевої продукції та її прийняття на європейському ринку.

Таким чином, використання дрібнодисперсних відходів блочного каменю як замісника клінкеру є технологічно обґрунтованим та екологічно необхідним рішенням. Воно трансформує екологічно обтяжливий відхід у функціональний компонент бетону (SCM), що забезпечує мікроструктурне ущільнення, прискорення гідратації та пряму декарбонізацію виробництва, відповідаючи принципам ЦЕ ЄС.

Подальші теоретичні дослідження мають бути спрямовані на розробку точних прогностичних моделей, що пов'язують ступінь подрібнення відходів (питома поверхня) з оптимальною дозою суперпластифікатора, а також на оцінку довгострокової стійкості таких композиційних цементів до агресивних впливів (наприклад, карбонізація), що є критичним для забезпечення довговічності будівельних конструкцій відповідно до вимог стандартів.

ПРОДОВОЛЬЧА БЕЗПЕКА НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

УДК 631.8:633.857.79

**Бондар Б.О., здобувач вищої освіти освітнього ступеня “магістр”
спеціальності 201 “Агрономія”**

**Можарівська І.А., к.с.-г. н., доцент кафедри здоров'я природи
та якості харчових ресурсів**

**Кравченко Н.В., д.с.-г. н., професор кафедри здоров'я природи
та якості харчових ресурсів**

Державний університет “Житомирська політехніка”

**АГРОБІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РІПАКУ ОЗИМОГО ТА ЙОГО МІСЦЕ У
ПРОДОВОЛЬЧІЙ БЕЗПЕЦІ**

Виробництво ріпаку є стратегічно важливим напрямом сільського господарства України, оскільки ця культура має багатофункціональне застосування та може стати ключовим елементом для забезпечення продовольчої безпеки та енергетичної незалежності країни. Ріпак не лише є основним джерелом олії для харчової промисловості, але й має величезний потенціал як сировина для виробництва біопалива, зокрема біодизелю. Завдяки високому вмісту олії (до 50 %), білка та амінокислот, ріпак займає важливе місце на ринку олійних культур, забезпечуючи зростання попиту на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Економічне значення ріпаку для аграрного сектору України є багатогранним. Вирощування ріпаку сприяє диверсифікації аграрного виробництва, знижує залежність від традиційних культур, таких як соняшник, і надає можливість для розвитку нових ринків, зокрема для біопаливної продукції. Біодизель, отриманий з ріпаку, допомагає зменшити викиди парникових газів і знижує залежність від імпортованих енергоносіїв. Таким чином, ріпак є важливим фактором для енергетичної безпеки країни. Зважаючи на зростаючий попит на ріпакову олію та біопаливо в глобальному контексті, Україна має всі передумови для розширення виробництва цієї культури. Завдяки сприятливим кліматичним умовам і наявності значних площ сільськогосподарських угідь, країна може стати одним із лідерів у виробництві ріпаку не лише в Європі, а й у світі. Це дозволяє реалізувати потенціал для розвитку сільськогосподарських кластерів, створення нових робочих місць, покращення інфраструктури та залучення інвестицій у сільськогосподарський сектор.

Проте, незважаючи на високий потенціал ріпаку, розвиток його виробництва в Україні стикається з кількома проблемами. Однією з основних причин недостатньої продуктивності озимого ріпаку є відсутність достатніх досліджень біологічних і генетичних характеристик нових сортів і гібридів. Технології вирощування цієї культури в Україні залишаються недостатньо розробленими, що негативно позначається на урожайності і стабільності виробництва. Зокрема, варто детальніше вивчити реакцію ріпаку на різні агрометеорологічні фактори, таких як зміни клімату, а також ефективність використання нових добрив та засобів захисту рослин.

Крім того, особливу увагу слід приділити адаптації сортів ріпаку до змінюваних кліматичних умов, таких як посухи або підвищення температури. Зміни клімату можуть значно вплинути на врожайність, що потребує запровадження нових агротехнічних рішень та удосконалення селекційних робіт. Це передбачає інтеграцію передових наукових розробок, зокрема в галузі генетики, біотехнології та агрономії, для створення стійких до стресових факторів сортів ріпаку.

Оскільки ріпак активно експортується в країни Європи та Азії, існує великий потенціал для розширення експорту ріпакової олії та біопалива. Це також відкриває нові можливості для українських агровиробників щодо залучення інвестицій у сектор, розвитку переробної інфраструктури та створення додаткових робочих місць. З огляду на це, Україна має всі передумови для становлення ріпаку як однієї з провідних культур у сільському господарстві країни. Однак для досягнення цього потенціалу необхідно вирішити низку наукових і практичних питань, зокрема, щодо підвищення ефективності технологій вирощування ріпаку, удосконалення сортової бази та впровадження інноваційних методів для боротьби з негативними наслідками змін клімату. Такий підхід дозволить не тільки покращити внутрішнє виробництво, але й зробити Україну одним із провідних постачальників ріпакової продукції на міжнародних ринках.

Висновок: ріпак озимий є однією з найбільш перспективних сільськогосподарських культур, що відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки України та багатьох інших країн. Його агробіологічні особливості, такі як висока зимостійкість, здатність до накопичення олії в насінні та позитивний вплив на структуру ґрунтів, роблять його незамінним елементом сівозміни, що сприяє стабільному виробництву високоякісних олій та кормових продуктів.

УДК 635.64

**Боровик М.М., здобувач вищої освіти освітнього ступеня “магістр”
спеціальності 201 “Агрономія”**

**Можарівська І.А., к.с.-г. н., доцент кафедри здоров'я природи
та якості харчових ресурсів**

Державний університет “Житомирська політехніка”

ГОСПОДАРСЬКА ОЦІНКА ГІБРИДІВ КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ

Господарська оцінка капусти білоголової є важливим етапом у визначенні її доцільності для вирощування та включення в агропромислове виробництво. Капуста білоголова займає значну частину посівних площ під овочами в Україні завдяки своїй високій врожайності, універсальності у використанні та хорошим споживчим якостям.

Однією з основних характеристик, що впливає на економічну вигоду вирощування капусти білоголової, є її врожайність. У середньому вона становить 20-25 тонн з гектара, але в передових господарствах та за застосування сучасних технологій вирощування може досягати 50-60 тонн з гектара. Пізньостиглі сорти капусти можуть давати навіть 80-100 тонн з гектара, що робить її високопродуктивною культурою, здатною забезпечити стабільний дохід від продажу. Висока врожайність також дозволяє зменшити витрати на обробіток землі та забезпечити максимальну віддачу від кожного гектара землі.

Не менш важливими є транспортувальність і лежкість капусти білоголової. Вона добре переносить транспортування на великі відстані, що важливо для забезпечення стабільного постачання продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку. Капуста має довгий період зберігання, що дає можливість продавати її протягом тривалого часу після збору врожаю. Це забезпечує рентабельність вирощування навіть за умови сезонних коливань попиту на ринку.

Крім того, капуста білоголова є культурою, що добре пристосована до різних кліматичних умов і має високу стійкість до хвороб і шкідників. Це дозволяє знижувати витрати на засоби захисту рослин і забезпечує високий рівень екологічної безпеки.

Культура також має здатність добре адаптуватися до умов, що дає можливість вирощувати її на значних площах без значних втрат у врожайності.

Капуста білоголова є важливим джерелом вітамінів, мінералів і органічних кислот. Вона містить значну кількість вітаміну С, вітамінів групи В, а також кальцію, калію, магнію, що робить її цінним продуктом для людського здоров'я. Крім того, капуста має низьку калорійність, але високий вміст клітковини, що робить її важливою складовою дієтичного харчування.

Сезонність виробництва капусти білоголової також впливає на її господарську оцінку. Завдяки різноманітним сортам, які відрізняються термінами дозрівання, можливе вирощування капусти протягом усього року. Це дозволяє забезпечити безперервне постачання на ринок і зменшити сезонні коливання цін. Ранньостиглі сорти можна збирати вже через 3-4 місяці після посадки, а пізньостиглі дозволяють продовжити постачання продукції до пізньої осені або навіть зберігати її до зими.

Економічна вигода від вирощування капусти білоголової також обумовлена її низькою собівартістю виробництва. Висока механізація процесів посадки, обробітку та збирання врожаю значно знижує витрати праці і сприяє зниженню витрат на одиницю продукції. Завдяки цим факторам капуста може бути вигідною культурою для багатьох агровиробників, особливо в умовах, коли необхідно забезпечити високу рентабельність та відносно низькі витрати на виробництво.

Проте капуста білоголова має й певні обмеження. Одним із таких факторів є надмірний надлишок продукції на ринку в сезон збору, що може призвести до зниження цін. Ця проблема, в свою чергу, є сигналом для агровиробників щодо необхідності розвитку переробних потужностей для більш ефективного використання надлишків продукції.

Проблема зберігання та переробки також залишається важливою, оскільки більшість капусти вирощується на свіжий ринок, а переробка та експорт залишаються низькими.

Таким чином, капуста білоголова має значний потенціал для розвитку в Україні. Її високі господарські якості, врожайність, добрі смакові та лікувальні властивості роблять її однією з найперспективніших овочевих культур для вирощування.

Однак для досягнення максимальних результатів важливо впроваджувати сучасні технології вирощування, ефективно управляти виробництвом і знаходити нові ринки збуту, включаючи розширення переробки та експорту.

Загалом, капуста білоголова має важливе стратегічне значення для аграрного сектору України, і її господарська оцінка вказує на значний потенціал для розвитку цього напрямку в майбутньому.

УДК 635.21:361.523

**Броцький А.С., студент 1-го курсу, групи АГР-2,
факультету гірничої справи, природокористування та будівництва**
Кравченко Н.В., д.с.-г.н., проф.
Можарівська І.А., к.с.-г.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДО ПОСУХИ

Сучасні кліматичні зміни, що супроводжуються підвищенням середньорічних температур і зменшенням кількості опадів, призводять до зростання частоти посушливих періодів. Це зумовлює необхідність розробки нових біотехнологічних підходів, спрямованих на підвищення адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур до абіотичних стресів.

Мета розглянути основні напрями застосування біотехнологічних методів у формуванні посухостійких сортів - від традиційних методів культури тканин до сучасних геномних технологій редагування ДНК.

Посуха є одним із найважливіших абіотичних факторів, що обмежують продуктивність сільськогосподарських культур у світі. В умовах зміни клімату, особливо в регіонах Степу та Лісостепу України, зниження вологості ґрунту і повітря суттєво впливає на формування врожаю. Традиційні методи селекції, хоча й залишаються основою створення нових сортів, мають певні обмеження щодо тривалості процесу та ефективності у випадку складних полігенних ознак, таких як посухостійкість, тому актуальним є впровадження сучасних біотехнологічних методів у селекційний процес.

Існують такі основні біотехнологічні підходи:

1. Культура тканин та клітин *in vitro*.

Методи культури тканин дозволяють відбирати клітини, або органи рослин, що проявляють підвищену толерантність до осмотичного стресу, зумовленого дефіцитом води. Використання осмотичних агентів (маніт, поліетиленгліколь) у середовищі індукції дає змогу формувати калуси, стійкі до посухи, з подальшою регенерацією повноцінних рослин. Так, у дослідях із пшеницею, соєю та кукурудзою встановлено, що відбір соматоклональних варіантів може підвищити вміст проліну та активність антиоксидантних ферментів, що покращує водоутримувальну здатність клітин. (рис.1).

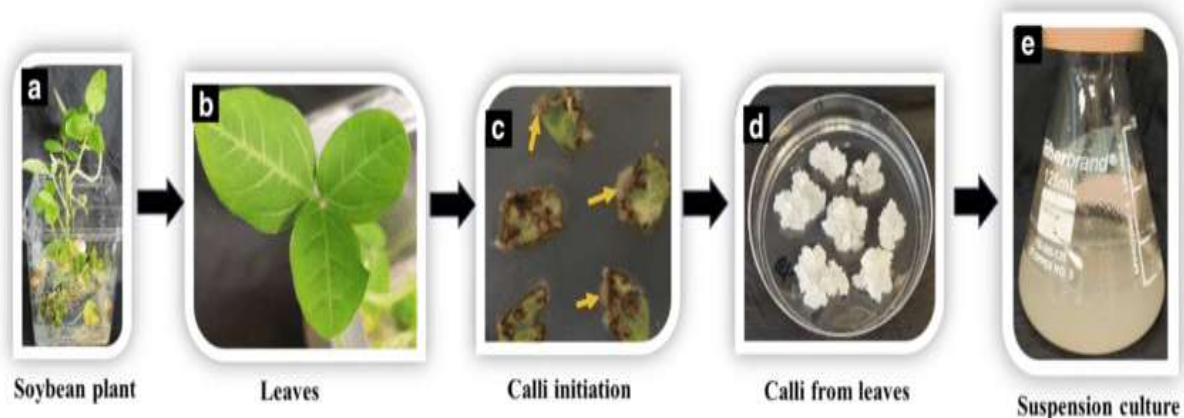


Рис.1. Культура клітин *in vitro*

2. Генетична трансформація та введення генів стресостійкості.

Одним із найбільш ефективних напрямів є перенесення генів, що контролюють синтез осмопротекторів (трегалози, проліну, гліцину-бетаїну), антиоксидантів і білків теплового шоку. Трансгенні рослини пшениці, рису та кукурудзи, що експресують гени DREB1A, HVA1, LEA, демонструють зниження втрат урожайності за умов водного дефіциту.

В Україні дослідження у цьому напрямі ведуться переважно на рівні лабораторних моделей (Національний університет біоресурсів і природокористування України, Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України).

3. Маркер-асоційований добір (MAS).

Використання молекулярних маркерів (SSR, SNP, AFLP) дозволяє ідентифікувати генотипи, що несуть алелі, пов'язані з ознаками посухостійкості. Це значно прискорює селекційний процес,

знижуючи залежність від польових експериментів. Поєднання MAS із традиційною селекцією дозволило отримати посухостійкі лінії пшениці та ячменю, адаптовані до умов Південного Степу України.

4. Редагування геному (CRISPR/Cas9).

Новітня технологія CRISPR/Cas9 відкриває можливості для точкових змін у генах, що регулюють реакцію на водний дефіцит. Наприклад, деактивація генів негативних регуляторів водного стресу (PYL, ABA8ox) сприяє підвищенню ефективності використання води рослинами. Такий підхід є більш прийнятним з погляду біоетики, оскільки не передбачає введення сторонньої ДНК (рис.2.)

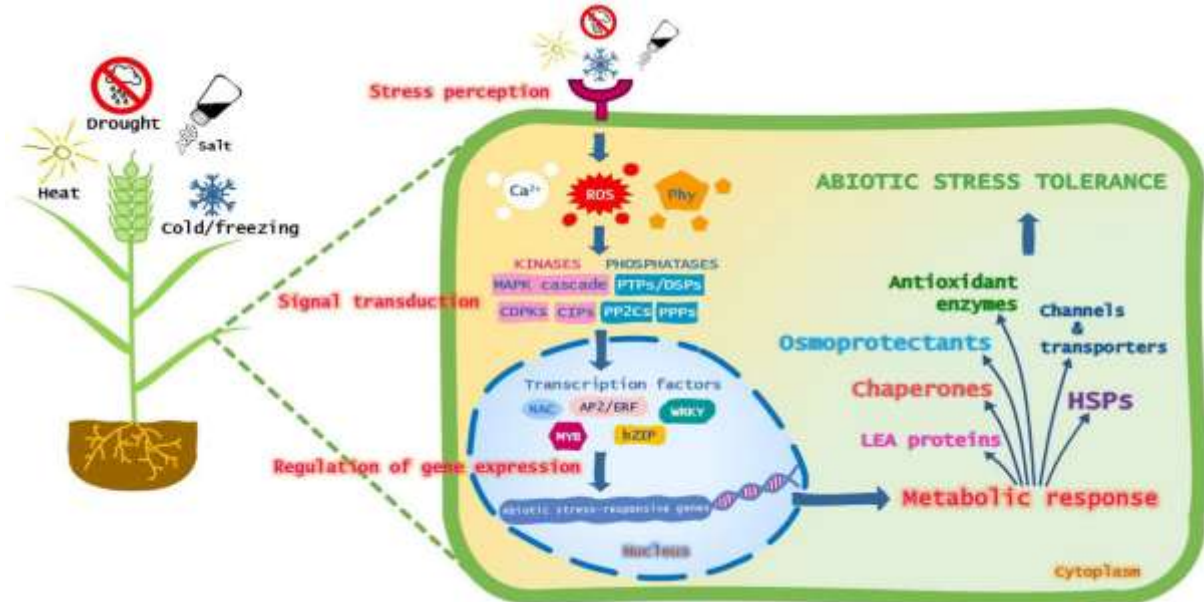


Рис.2. Схема сигнального шляху впливу на рослину абіотичних факторів

Перспективи застосування біотехнологічних методів в Україні

В умовах кліматичних ризиків, що зростають, впровадження біотехнологічних методів у вітчизняне агропромислове виробництво є стратегічно важливим. Українські наукові установи поступово розвивають напрями молекулярної біології та геноміки культур, зокрема пшениці, кукурудзи, сої та соняшнику. Перспективним є створення національних біобанків генетичних ресурсів та платформ для геномного добору, що дозволить інтегрувати біотехнологічні підходи в практику селекції.

Біотехнологічні методи становлять потужний інструмент підвищення стійкості сільськогосподарських культур до посухи. Поєднання класичної селекції з сучасними молекулярно-генетичними технологіями (культура тканин, маркер-асоційований добір, редагування геному) дозволяє суттєво прискорити створення адаптивних сортів. Подальший розвиток наукової інфраструктури, міждисциплінарних досліджень і державна підтримка біотехнологічних проєктів стануть ключовими чинниками забезпечення продовольчої безпеки України в умовах глобальних кліматичних змін.

УДК: 632.7:633.12(477.44)

Вигера С. М., к. с.-г. н., доцент
Горнічний Б. Р., студент ОС магістр
Державний університет «Житомирська політехніка»

РОЗВИТОК ПОПЕЛИЦІ ТА ЇЇ КОНТРОЛЬ У ПОСІВАХ ГРЕЧКИ В СФГ «ОБЕРІГ» ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Гречка (*Fagopyrum esculentum Moench*) є важливою круп'яною культурою в Україні, а Вінницька область належить до регіонів із високим потенціалом її вирощування. Культура використовується як основна або додаткова складова для багатьох продуктів харчування, таких як гречані пластівці, гречані крошки та інші. Її використання в харчовій індустрії робить її важливою культурою для фермерів і виробників харчових товарів.

Гречка відома своїм вмістом важливих мінералів, таких як магній та марганець, а також антиоксидантів. Вона може бути включена в раціони харчування для підтримки здоров'я, зокрема для підтримки серцево-судинної системи та зниження ризику різних хвороб.

Вирощування гречки в регіоні може сприяти розвитку національного виробництва та споживчої здатності країни, зменшуючи залежність від імпорту. Однією з причин низької урожайності є незадовільний рівень агротехніки, що пов'язано з недооцінкою цієї культури та її біологічних властивостей, які визначають місце у сівозміні та розміщення. Короткий вегетаційний період дає можливість висівати гречку в післяукісних посівах та зайнятих парах, є одним із резервів підвищення валових зборів зерна [1, 2].

Одним із основних біотичних факторів, що негативно впливає на продуктивність гречки, є пошкодження попелицями, насамперед видами родини Aphididae, які живляться соками рослин і здатні формувати численні колонії упродовж вегетації. В умовах СФГ «Оберіг» відзначається зростання щільності популяцій попелиць, що зумовлено поєднанням сприятливих агрокліматичних факторів, наявністю первинних резервацій та високою теплообмінністю посівів.

Результати дослідження із встановлення особливостей проходження основних фенологічних фаз розвитку гречки в агроценозі СФГ «Оберіг» упродовж двох контрастних за погодними умовами вегетаційних періодів – 2024 та 2025 років дозволяють оцінити швидкість ростових процесів, реакцію культури на зовнішні екологічні фактори та часову динаміку переходу між послідовними фазами органогенезу.

Особливої уваги заслуговують фази гілкування, бутонізації та цвітіння, від яких значною мірою залежить формування генеративних органів та потенційний рівень урожайності. У 2024 році гілкування розпочалося 28 червня й тривало до 30 червня, у той час як у 2025 році – з 2 до 7 липня. Аналогічна тенденція простежується і для бутонізації та цвітіння: у 2024 році бутонізацію зафіксовано з 30 червня до 10 липня, а цвітіння – з 11 по 15 липня; натомість у 2025 році бутонізація відбулася пізніше, 9–13 липня, а цвітіння – з 14 по 22 липня. Отже, більш пізній розвиток у 2025 році свідчить про вплив погодних умов, імовірно – меншої забезпеченості теплом або більших опадів у червні.

Загалом, гречка, вирощувана в умовах СФГ «Оберіг», демонструє різну реакцію на погодні умови, проте зберігає стабільність тривалості ключових фаз органогенезу. Водночас зсув строків переходу від однієї фази до іншої має вагоме значення для синхронізації обробок, оцінки потенційної шкідливості попелиці та планування заходів захисту рослин у дослідях із біоінсектицидами.

Результати комплексної оцінки ефективності застосування низки біоінсектицидів проти попелиці у період фази «гілкування» гречки – однієї з найчутливіших фаз щодо пошкоджень цим фітофагом представлені в чотирьох варіантах: контроль (обробка водою) та три біологічні препарати – Бітоксикацилін-БТУ, АгріІнсекта та Актофіт. Показники оцінювалися за двома ключовими параметрами: чисельність попелиці (екз./рослину) та заселеність рослин (%).

У контролі чисельність попелиці становила 10,7 екз./рослину, а заселеність – 17,2%. Ці показники є базовими для оцінки ефективності досліджуваних біоінсектицидів. Значна кількість попелиці у контрольному варіанті підтверджує високу потенційну шкідливість цього виду в умовах СФГ «Оберіг» та необхідність застосування регуляторів чисельності.

Застосування Бітоксикациліну-БТУ (5,0 л/га) призвело до помітного зниження чисельності попелиці – до 8,6 екз./рослину, що становить зменшення на 19,6% порівняно з контролем. Заселеність рослин знизилася до 11,4%, тобто на 33,7% менше, ніж у контролі. Ефективність цього препарату можна оцінювати як середню, оскільки, незважаючи на зниження чисельності фітофага, попелиця все ще залишалася на значній частині рослин.

Другий препарат – АгріІнсекта (2,0 л/га) – продемонстрував вищу ефективність. Чисельність попелиці становила лише 4,9 екз./рослину, що свідчить про скорочення популяції на 54,2% порівняно з

контролем. Заселеність рослин зменшилася до 8,5%, тобто на 50,6% менше від контролю. Такий результат свідчить про дієву активність препарату проти попелиці саме у фазі гілкування, коли шкідник активно колонізує молоді пагони.

Найкращий результат встановлено у варіанті з Актофітом (0,4 л/га). Чисельність попелиці становила 3,2 екз./рослину – на 70,1% менше контролю. Заселеність рослин зменшилася до 6,4%, що відповідає 62,8% зниження порівняно з контрольним варіантом. Такий рівень ефективності свідчить про високу контактнo-кишкову дію препарату, його інтенсивний вплив на личинок і дорослих особин попелиці та швидку деградацію популяції після обробки.

Сумарно дані таблиці 3.2 дозволяють стверджувати, що всі досліджувані біоінсектициди ефективно стримують розвиток попелиці, однак їх ефективність різниться. У середньому препарати знижували чисельність шкідника в 1,2–3,3 рази. Найменший рівень заселення та чисельності спостерігався в варіанті з Актофітом, що робить його більш придатним для включення до системи захисту гречки у фазі гілкування.

Тому серед протестованих препаратів найбільш ефективним у контролі попелиці у фазі гілкування виявився Актофіт, тоді як Бітоксикацилін та АгріІнсекта забезпечували середню і високу ефективність відповідно.

Реакція культури на застосування біоінсектицидів, оцінена за продуктивністю – одним із найважливіших інтегральних показників. Урожайність є кінцевим результатом взаємодії багатьох факторів: погодних умов, рівня пошкодження шкідниками, дії інсектицидних препаратів та фізіологічного стану рослин.

У контрольному варіанті урожайність становила 2,34 т/га у 2024 р. та 2,08 т/га у 2025 р., у середньому – 2,21 т/га. Такий рівень є типовим для посушливих регіонів Лісостепу і вказує на середній потенціал формування врожаю за відсутності захисних заходів.

У варіанті з Бітоксикациліном відмічено значне збільшення урожайності: 2,85 т/га у 2024 році та 2,71 т/га у 2025 році, середній показник – 2,78 т/га. Приріст до контролю становив +0,57 т/га, що підтверджує здатність препарату знижувати втрати врожайності внаслідок пошкодження попелицею.

У контрольному варіанті урожайність становила 2,34 т/га у 2024 р. та 2,08 т/га у 2025 р., у середньому – 2,21 т/га. Такий рівень є типовим для посушливих регіонів Лісостепу і вказує на середній потенціал формування врожаю за відсутності захисних заходів.

У варіанті з Бітоксикациліном відмічено значне збільшення урожайності: 2,85 т/га у 2024 році та 2,71 т/га у 2025 році, середній показник – 2,78 т/га. Приріст до контролю становив +0,57 т/га, що підтверджує здатність препарату знижувати втрати врожайності внаслідок пошкодження попелицею.

Варіант із застосуванням АгріІнсекти дав урожайність 2,81 т/га у 2024 р. та 2,39 т/га у 2025 р., у середньому 2,60 т/га, що на 0,39 т/га більше контролю. Попри менший приріст порівняно з Бітоксикациліном, цей показник свідчить про достатню ефективність препарату, особливо з огляду на нижчі затрати на його застосування.

Найвищу врожайність отримано у варіанті з Актофітом – 3,12 т/га у 2024 р. та 2,74 т/га у 2025 р., середня – 2,93 т/га. Приріст до контролю становив +0,72 т/га – максимальний серед усіх препаратів. Очевидно, що краще пригнічення попелиці позитивно позначилося на фотосинтетичній активності рослин та формуванні генеративних органів.

Порівняння між роками свідчить про загальне зниження врожайності у 2025 році для всіх варіантів, що може бути пов'язано з погодними стресами. Проте ступінь зниження у варіантах із біоінсектицидами менший, ніж у контролі, що вказує на компенсаторну роль захисних заходів.

Отже використання біоінсектицидів сприяє зниженню втрат урожаю та забезпечує приріст продуктивності 0,39–0,72 т/га, а найбільш ефективним виявився препарат Актофіт.

Показники якості зерна – маса 1000 насінин і натура – є ключовими характеристиками, що визначають продовольчу та технологічну цінність врожаю гречки. Біоінсектициди впливають не лише на рівень урожайності, але й на структурні параметри самої зернівки.

Найвищі показники якості зерна отримано під час застосування препарату Актофіт (0,4 л/га). Його вплив є найбільш вираженим як у контексті маси 1000 насінин, так і щодо натури зерна. Маса 1000 насінин підвищилася до 27,3 г (109% до контролю), що є максимальним показником серед досліджених варіантів. Підвищення на 2,2 г порівняно з контролем свідчить про практично повне усунення негативного впливу попелиці та забезпечення оптимальних умов наливу зерна.

Таким чином, Актофіт не лише забезпечує максимальне пригнічення шкідника, але й створює умови для формування зерна з найкращими морфологічними характеристиками.

Список використаної літератури:

1. Дрозд М.О. Особливості формування продуктивності гречки залежно від рівня інтенсифікації технологій вирощування у північному Лісостепу України: Автореф. канд. дис. К., 2024. – 19с.
2. Грищенко Р. Є. Врожайність гречки в Лісостепу. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН»*. 2008. Вип. 2. С. 55–60.

Вигера С. М., к. с.-г. н., доцент
Ключевич М.М., д. с.-г. н., професор

Державний університет «Житомирська політехніка»

НАТУРОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ НАТУРОПАТІЇ – АКТУАЛЬНІСТЬ СУЧАСНОСТІ

В умовах стрімкої урбанізації та щорічного збільшення площ забудованих територій продовольча безпека населення постає як один із ключових викликів сучасності. Урбаністичні процеси призводять до скорочення орних земель, фрагментації природних екосистем, зниження різноманіття рослинного та тваринного світу, що безпосередньо впливає на можливості виробництва якісної та безпечної харчової продукції. За таких умов особливої актуальності набувають науково-освітні підходи, притаманні натурології та натуропатії, які спрямовані на відновлення гармонії між природним середовищем та суспільством.

Одним із ключових завдань сучасної науки є пошук моделей сталого розвитку, здатних забезпечити населення повноцінною їжею навіть у високоурбанізованих регіонах. У цьому контексті важливими є технології міського землеробства (urban farming), вертикальних ферм, тепличних кластерів, локальних виробничих модулів, які дозволяють отримувати харчову продукцію без суттєвого тиску на природні ресурси. Поєднання цих технологій із біологічними та природоохоронними методами, що лежать в основі натурологічного підходу, відкриває можливості для створення екологічно безпечних систем харчового забезпечення.

Продовольча безпека урбанізованих територій також пов'язана зі збереженням якості навколишнього середовища. Забруднення повітря, ґрунтів та водних ресурсів індустріальними об'єктами істотно впливає на якість продукції рослинного та тваринного походження. Тому впровадження принципів природних регуляцій, біоорієнтованих технологій і екосистемного підходу стає необхідною умовою не лише збереження здоров'я населення, а й підвищення рівня самодостатності міст.

Короткий аналіз еволюційного процесу людини засвідчує, що вона від започаткування та впродовж свого розвитку живе в природному середовищі біотичного та абіотичного спрямування, живиться в контексті природних регулюючих механізмів тощо.

Саме природа є середовищем життєвих і харчових процесів людини на умовах гармонізації її з іншим органічним і неорганічним світом, внаслідок чого розширювалися та розширюються її розумові здібності та цивілізаційні процеси.

Не забуваймо, що внаслідок своїх цивілізаційних процесів людство своїми діями впливає на природу як з позитивними, так і негативними наслідками, що особливо відчутно впродовж останнього століття. Наприклад негативним процесом життя є виниклі найважливіші проблеми сьогодення, а саме Глобальний голод і Глобальне потепління, що потрібно вирішувати негайно.

Слід враховувати не безпідставні застереження вченого світового рівня С. В. Гокінга (англ. *Stephen William Hawking*; 8 січня 1942 р. – 14 березня 2018 р.): людська раса не має майбутнього, коли не опанує космос; через 600 років життя людини буде під сумнівом; дивіться на зорі, а не під ноги!

Викладене вимагає необхідності подальшого та поглибленого вивчення живого та не живого природного середовища, що далеко не пізнане, зокрема з позицій його впливу на людину та її суспільство.

Постійний вплив сучасних технологій, що поширюються на планеті, здатні викликати глобальні негативні зміни кліматичного та трофічного значення.

Зокрема ряд технологічних досягнень здатне призвести, а, в ряді випадків, і призводить до самознищення цивілізаційних процесів (атомна енергія, генна інженерія, безкінечні війни за владу, території, мову, релігії тощо). Такий необґрунтований технологічний процес, в кінцевому рахунку, може призвести до повільного або ж катастрофічного вимирання людства. Прикладом цьому уже є воєнні події останніх років, коли гине багато невинних людей.

Саме тому в останні роки все частіше виникає риторичне питання – природа дика чи частина людства є такою, що називає природу дику?

Аналіз життя людини засвідчує, що вона є однією із найбільш слабких трофічних та біологічних ланок серед органічного світу планети Тетта.

Підсумкові наслідки таких життєвих процесів важко передбачити в майбутньому щодо послідуєчих природних процесів. Викладений обережний прогноз, вимагає новітніх підходів щодо вивчення принципів гармонізації життєвих процесів людства в природному середовищі.

Саме такі функції логічно покласти також і на науково-освітній напрям натурологія (в українській мові – природознавство).

Не забуваймо, що впродовж свого цивілізаційного розвитку людство в природному середовищі, постійно користується його багатствами для свого харчування, лікування та здорового життя, що притаманно саме вивченню натуропатії.

Наразі відомими (з позитивними та негативними відгуками про ефективність) є наступні методи натуропатії, що здатні впливати на стан людського організму: анімалотерапія, ароматерапія, апітерапія, аероіонотерапія, бальнеотерапія, галотерапія, геліотерапія, гірудотерапія, глинотерапія, гомеопатія, дендротерапія, дельфінотерапія, гірудотерапія, гідрокінезотерапія, енотерапія, іпотерапія, літотерапія, магнітотерапія, спелеотерапія, стоун терапія, таласотерапія, фітотерапія, фунготерапія, хронотерапія тощо.

Нашими обґрунтуваннями встановлено, що з метою поглиблення та покращення знань студентів у майбутній професійній діяльності щодо закономірностей життєвих процесів в природному середовищі та впливу його на людину логічним є викладання саме дисципліни Натурологія з основами натуропатії.

Слід підкреслити, що дисципліна «Натурологія з основами натуропатії» формує в студентів розуміння взаємозалежності між станом природного середовища, здоров'ям людини та доступністю безпечної їжі. Знання методів збереження природних ресурсів, біологічних принципів продуктивності рослин, природних способів регуляції трофічних ланцюгів дозволяють майбутнім фахівцям розробляти та впроваджувати моделі продовольчої безпеки, адаптовані до умов забудованих територій.

З цією метою при викладанні дисципліни вкрай актуальним є вивчення наступних питань щодо гармонізації розвитку суспільства в природному середовищі:

- Природне середовище України та його стан.
- Сучасні життєві процеси в природі та їх науковий світогляд.
- Плантологія та плантопродуцентологія – перспективні напрямки в натурології.
- Біометодологічні критерії покращення стану життя в екосистемах фітоценозів через запилення квіток рослин.
- Природні регулюючі механізми в екосистемах і принципи контролю їх біоти.
- Вплив природи і людини на Глобальне потепління та шляхи його уповільнення.
- Натуропатія – вчення про життєві процеси людини на принципах гармонізації з природним середовищем.
- Апітерапія та бджолина продукція – важливі критерії покращення здорового життя людини.
- Дендротерапія та фітотерапія – перспективні напрямки забезпечення здорового життя людини.
- Роль ароматерапії, бальнеотерапії, гідротерапії, гомеопатії, мінералотерапії та інших критеріїв природного середовища для покращення впливу його на здоров'я людини.
- Природоохоронні методології виробництва безпечної продукції з природного середовища для здорової їжі та лікування.
- Міжнародні та українські структури і законодавчі бази забезпечення сталого розвитку природного середовища.

Таким чином, вивчення природного середовища згідно дисципліни Натурологія з основами натуропатії на основі представлених тем, створить передумови гармонізації покращення здорового життя людини та її спільнот в умовах сталого природного середовища.

Натурологія з основами натуропатії є перспективною дисципліною отримання знань про сталий розвиток природного середовища та створення передумов щодо можливості використання його благ з метою здорового харчування та лікування людини без суттєвого впливу на довкілля.

Під час вивчення дисципліни слухачі мають можливість ознайомитися із сучасними та перспективними біотичними та абіотичними складовими природи, що здатні впливати на здоровий спосіб життя людини.

Освоєння природоохоронної методології виробництва безпечної продукції з природного середовища здатне створити передумови щодо зменшення площ орних земель, покращення стану довкілля, наблизивши такі показники до рівня ведучих країн.

У сучасних умовах стратегія продовольчої безпеки неможлива без інтеграції природничо-наукових підходів, екологічних принципів та натуропатичних знань. Поєднання природних методів з інноваційними технологіями здатне забезпечити стабільне виробництво якісної продукції, зберігаючи природні ресурси й підтримуючи здоров'я населення в умовах глобальних кліматичних, соціальних і просторових трансформацій.

Використання натурологічних підходів, розвиток громадських городів, локальних фермерських ініціатив, систем короткого постачання та екологічної освіти населення сприяє подоланню цих дисбалансів. Такі моделі забезпечують не лише харчову самодостатність, але й формують екологічну свідомість мешканців, зміцнюючи взаємодію між природним середовищем, соціальною справедливістю та здоров'ям населення.

УДК: 632.4:633.854.78(477.44)

Вигера С. М., к. с.-г. н., доцент
Франко Б. П., студент ОС магістр

Державний університет «Житомирська політехніка»

ЗАХИСТ СОНЯШНИКА ВІД НЕСПРАВЖНЬОЇ БОРОШНИСТОЇ РОСИ В СІВОЗМІНІ ТОВ «МАЯК-Р» ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Соняшник є однією з ключових олійних культур України, а Вінницька область належить до регіонів стабільного виробництва насіння високої якості. Водночас значного пошкодження врожаю завдають хвороби, серед яких провідне місце посідає несправжня борошниста роса (*Plasmopara halstedii*). Збудник характеризується стійкістю ооспор у ґрунті (до 8–10 років), високою варіабельністю патотипів та здатністю уражувати рослини від проростання насіння до фази цвітіння.

У сівозміні ТОВ «Маяк-Р» соняшник займає важливу частку посівних площ, що вимагає ретельного контролю інфекції та впровадження інтегрованої системи захисту.

Дослідження дозволили всебічно оцінити динаміку розвитку несправжньої борошнистої роси соняшника (*Plasmopara halstedii*) протягом вегетаційного періоду культури. Згідно з отриманими результатами, інтенсивність розвитку хвороби істотно варіювала залежно від фази росту за шкалою ВВСН, що дало можливість визначити критичні періоди ураження агроценозу та окреслити найбільш вразливі етапи органогенезу рослин.

На ранніх етапах розвитку соняшника, зокрема у фазі ВВСН 35 (ріст стебла), рівень розвитку патогену становив 12,4 %. Порівняно низька інтенсивність ураження в цей період зумовлюється кількома факторами. Передусім у даній фазі рослини характеризуються активним наростанням вегетативної маси та формуванням центрального стебла, а також відносно високим рівнем фізіологічної стійкості проростків. Крім того, погодні умови на початку вегетації частіше коливаються в межах, менш сприятливих для патогену, зокрема спостерігається більша амплітуда добових температур та нижча відносна вологість. Водночас фіксований ураження рівень 12,4 % свідчить про наявність первинного інфекційного фону та формування потенційної загрози для наступних етапів розвитку рослин.

У фазі ВВСН 45 (формування квіткових зачатків) рівень розвитку несправжньої борошнистої роси зріс до 18,2 %, що вказує на активізацію патогену в умовах сприятливого поєднання температурно-вологісного режиму. Саме в період бутонізації соняшник стає особливо вразливим до інфекційного тиску, адже рослини спрямовують значну кількість пластичних речовин на формування генеративних органів, що знижує їхню здатність ефективно протидіяти патогенам. Зростання рівня ураження майже на 6 процентних пунктів порівняно з попередньою фазою свідчить про високий адаптивний потенціал збудника та швидке нарощування вторинної інфекції.

Найбільш інтенсивний розвиток хвороби був зафіксований у фазі ВВСН 75 (формування насіння), де ураження сягало 32,7 %, що перевищує показник у фазі ВВСН 45 більш ніж у 1,8 раза. Період наливу насіння характеризується значним фізіологічним навантаженням на рослину й одночасним зростанням її чутливості до стресових чинників, у тому числі до патогенів. У цей період відбувається найактивніше поширення спороношення *Plasmopara halstedii*, особливо за умов достатньої зволоженості ґрунту та повітря. Накопичення інфекції до рівня понад 30 % становить суттєву загрозу для продуктивності рослин, адже несправжня борошниста роса уражує судинну систему, порушує транспіраційні потоки та закономірно знижує процеси фотосинтезу.

Порівняльний аналіз даних демонструє чітку закономірність: із переходом рослин до наступних фаз органогенезу інтенсивність розвитку хвороби зростає. Одержані дані засвідчують наявність реального ризику зниження продуктивності соняшника в разі відсутності профілактичного або лікувального фунгіцидного контролю. Підвищення показників ураження до рівня понад 30 % у фазі формування насіння здатне прямо вплинути на масу 1000 насінин, виповненість кошика й загальну урожайність культури.

Встановлено чітку тенденцію до поступового зростання інтенсивності розвитку несправжньої борошнистої роси соняшника впродовж вегетації — від 12,4 % у фазі ВВСН 35 до 32,7 % у фазі ВВСН 75. Найкритичнішим періодом ураження виявилась фаза формування насіння, що свідчить про потребу в посиленому фунгіцидному супроводі на середніх та пізніх етапах розвитку культури.

Рівень ураження, що перевищує 30 %, є небезпечним для формування стабільної врожайності, оскільки патоген значно послаблює фізіологічні процеси, зменшує площу активної листкової поверхні та знижує продуктивність рослин.

Отримані дані є підставою для обґрунтування оптимальних строків фунгіцидних обробок і підтверджують важливість системного захисту посівів у зоні досліджень.

Результати вивчення ефективності фунгіцидних препаратів щодо контролю *Plasmopara halstedii* в умовах польового дослідження на площах ТОВ «Маяк-Р» демонструють суттєві відмінності у рівні ураження рослин соняшника залежно від використаного засобу захисту.

Ураження понад 30 % є критичним, оскільки воно інтенсивно впливає на фізіологічний стан рослин, обмежує їх потенціал до формування насінневих структур та істотно знижує продуктивність посіву.

На цьому фоні суттєво виділяється ефективність препарату Аканто плюс 28, КС, який поєднує два механізми дії: стробілуриновий (пікоксістробін) та триазоловий (ципроконазол). Рівень розвитку хвороби за його застосування становив лише 3,9 %, тобто був зменшеним у 8 разів порівняно з контролем. Таке значне зниження ураження пояснюється синергізмом діючих речовин, що проявляється у потужній профілактичній дії стробілурину та вираженому лікувальному ефекті триазолу. Пікоксістробін блокує мітохондріальне дихання патогену, тоді як ципроконазол порушує біосинтез ергостеролу, що унеможливорює формування інфекційних структур. Унаслідок цього патоген не може успішно колонізувати рослину, а розвиток захворювання блокується на ранніх стадіях.

Оцінювання технічної ефективності фунгіцидів є ключовим елементом розроблення інтегрованих систем захисту посівів соняшника від *Plasmopara halstedii* — збудника несправжньої борошнистої роси, яка належить до найбільш шкочинних хвороб культури в умовах зони Лісостепу України. Технічна ефективність визначає реальний рівень зниження ураження посівів після застосування препарату порівняно з контролем, що дозволяє оцінити практичну доцільність використання конкретних засобів захисту.

Застосування препарату Аканто плюс 28, КС, що містить пікоксістробін (200 г/л) та ципроконазол (80 г/л), забезпечило технічну ефективність 87,7 %, що свідчить про значне зниження інтенсивності розвитку патогену. Успішність цього препарату ґрунтується на поєднанні двох механізмів дії — стробілуринового та триазольного. Пікоксістробін інгібує дихальні процеси патогену на рівні мітохондрій, тоді як ципроконазол блокує біосинтез стеролів, що є структурною основою клітинної мембрани грибів. Комбінований вплив порушує життєдіяльність патогену як у ранніх, так і в пізніх стадіях інфекційного циклу. Ефективність на рівні майже 90 % є показником високої адаптивності препарату до умов підвищеної вологості та наявності інтенсивного спороношення *Plasmopara halstedii*.

Найвищу технічну ефективність виявлено у варіанті із застосуванням фунгіциду Брандер, КС, до складу якого входять азоксистробін (200 г/л) та тебуконазол (160 г/л). Технічна ефективність препарату становила 92,5 %, що є найвищим показником серед усіх досліджуваних варіантів. Азоксистробін забезпечує тривале профілактичне блокування проникнення патогену в тканини рослини, утворюючи захисний бар'єр завдяки здатності переміщуватися по поверхні листкової пластинки та частково проникати у восковий шар. Тебуконазол характеризується глибокою системністю та вираженою лікувальною дією, здатністю проникати в ксилему та інгібувати розвиток патогену в точках росту. У результаті препарат ефективно стримує розвиток хвороби навіть за високого інфекційного тиску та при коливаннях метеорологічних умов.

Фунгіцидні препарати, окрім власне протигрибної активності, нерідко проявляють так званий фізіологічний ефект: стимулювання фотосинтезу, уповільнення старіння листкової поверхні, покращення водного режиму та загальний вплив на енергетичний обмін рослин.

У всі фунгіциди суттєво впливають на збільшення площі листкової поверхні впродовж усього вегетаційного періоду. Найбільш виражений ефект спостерігається у двокомпонентних препаратах — Брандер, КС та Аканто плюс 28, КС, що пояснюється синергією стробілуринів і триазолів: перші стимулюють фотосинтез і гальмують старіння, другі блокують розвиток патогену всередині рослини. Такий підхід забезпечує тривале збереження високого рівня асиміляційних процесів та покращення потенціалу врожайності.

Урожайність є інтегральним показником, що найбільш повно відображає кінцевий ефект застосування технологічних прийомів та засобів захисту рослин. Динаміка врожаю формується під впливом комплексу факторів: інтенсивності розвитку хвороб, фізіологічного стану рослин, рівня асиміляційної поверхні та біосинтетичної активності фотосинтетичного апарату.

Найвищу врожайність забезпечив фунгіцид Брандер, КС, який поєднує азоксистробін і тебуконазол. У 2024 р. приріст урожаю становив 2,78 т/га, а у 2025 р. — 2,90 т/га, середня урожайність — 2,84 т/га, що на 0,68 т/га більше контролю. Це є найвищим показником у дослідженні. Результати свідчать, що застосування комбінованого фунгіциду дозволило суттєво зменшити рівень ураження рослин, збільшити площу листкової поверхні, інтенсифікувати фотосинтетичні процеси і забезпечити стабільний та високий рівень запилення і наливу насіння. Фізіологічний ефект стробілуринів у поєднанні з глибокою системною дією триазолів позитивно впливає на тривалість функціонування листків і покращує загальний метаболічний стан рослин.

Таким чином, результати таблиці підтверджують, що фунгіцидний захист є обов'язковою умовою забезпечення високої продуктивності соняшника в господарствах Лісостепу. Застосування ефективних препаратів дає змогу не лише контролювати патоген, а й підвищувати метаболічну активність рослин, зберігати життєздатність вегетативних органів і забезпечувати стабільне та високопродуктивне формування насіння.

УДК 633.34:631.5

**Власюк А.В., здобувач вищої освіти освітнього ступеня “магістр”
спеціальності 201 “Агрономія”**

**Можарівська І.А., к.с.-г. н., доцент кафедри здоров'я природи
та якості харчових ресурсів**

**Кравченко Н.В., д.с.-г. н., професор кафедри здоров'я природи
та якості харчових ресурсів**

Державний університет “Житомирська політехніка”

АГРОТЕХНІЧНІ ІННОВАЦІЇ У ВИРОЩУВАННІ СОЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ

Урожайність сортів сої є одним з ключових факторів для забезпечення продовольчої безпеки, оскільки соя має важливе значення в глобальному продовольчому ланцюгу. Вона є джерелом білка, олії та інших поживних речовин, які використовуються як у харчуванні людей, так і в годівлі тварин. Тому питання підвищення урожайності сої стає все більш актуальним для забезпечення продовольчої безпеки, особливо в країнах з високими потребами в білках рослинного походження.

Одним з основних аспектів, який визначає урожайність, є вибір сортів сої, адаптованих до конкретних кліматичних та агрономічних умов. В умовах різних регіонів урожайність може значно варіюватися через різні фактори, такі як температура, вологість, склад ґрунту та наявність природних ресурсів. У помірних кліматичних зонах, де є достатньо опадів і помірна температура, можна досягти високих показників урожайності. Натомість в районах з посушливими умовами, де нестача води є серйозною проблемою, досягнення високих врожаїв сої стає складнішим завданням. Однак завдяки розвитку нових сортів, стійких до посухи, а також впровадженню інноваційних агротехнологій, можливість збільшення врожайності в таких умовах стала реальністю. Вибір сортів сої залежить також від стійкості до хвороб і шкідників. Згідно з дослідженнями, сорти, які мають вищу стійкість до основних захворювань, таких як фузаріоз, або бульбочкові бактерії, можуть значно знижувати рівень втрат урожаю. Такі сорти не тільки підвищують продуктивність, але й зменшують потребу в застосуванні хімічних засобів захисту, що може мати позитивний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини.

Одним із найбільш перспективних напрямків у розвитку сортів сої є використання генетично модифікованих (ГМ) культур. Сорти сої, стійкі до гербіцидів або шкідників, дозволяють значно збільшити ефективність вирощування. Наприклад, ГМ-сорта Roundup Ready, що стійкі до гербіцидів, забезпечують більш точне та ефективне управління бур'янами, що допомагає уникнути конкуренції за ресурси між рослинами і, відповідно, підвищує урожайність. Крім того, сорти, модифіковані для стійкості до шкідників, можуть знижувати втрати від атак комах, що в свою чергу позитивно впливає на кінцевий врожай. Однак навіть із використанням генетично модифікованих сортів, великою проблемою для багатьох регіонів є зміни клімату, які можуть суттєво впливати на загальну продуктивність. Зокрема, екстремальні погодні умови, такі як посухи або затоплення, можуть призвести до значних втрат урожаю, навіть якщо використовуються високопродуктивні сорти. У таких умовах важливим стає впровадження адаптивних агротехнологій, які дозволяють зберігати високі показники урожайності. Наприклад, застосування технологій точного землеробства, яке включає використання датчиків, дронів та аналітики для моніторингу стану полів, дозволяє максимально ефективно використовувати природні ресурси, такі як вода та добрива.

Також важливою є роль добрив і засобів захисту рослин. Оптимальне використання мінеральних та органічних добрив, а також регулярний моніторинг здоров'я рослин дозволяє значно підвищити продуктивність сільськогосподарських угідь. Проте надмірне застосування хімічних речовин може призвести до деградації ґрунтів та забруднення навколишнього середовища, тому важливо зберігати баланс і використовувати методи, які сприяють сталому розвитку сільського господарства. Вибір правильного сорту та агротехнічних заходів має вирішальне значення для забезпечення продовольчої безпеки. Оскільки соя є основним джерелом білка для багатьох країн, збільшення її продуктивності має прямий вплив на зниження дефіциту білкових продуктів, зокрема в країнах, що розвиваються.

Загалом, для забезпечення продовольчої безпеки важливо не лише підвищити продуктивність сортів сої, але й гарантувати сталість і стабільність виробництва в умовах змін клімату та глобальних економічних викликів. В цьому контексті важливою є комплексна стратегія, яка включає як наукові досягнення в селекції і біотехнології, так і прогресивні методи агрономії та сталого управління природними ресурсами.

УДК 635.21:361.523

**Галицький В.О., аспірант 3-го курсу, 201 спеціальності «Агрономія»,
факультету агротехнологій та природокористування,**

**Швець Б.С., аспірант 3-го курсу, 201 спеціальності «Агрономія»,
факультету агротехнологій та природокористування,**

Сумський національний аграрний університет

Кравченко Н.В., д.с.-г.н., проф.

Державний університет «Житомирська політехніка»

СУЧАСНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ТА АДАПТАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРТІВ СОЇ (GLYCINE MAX (L.) MERR.) В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Останні десятиліття ХХІ століття характеризуються суттєвими кліматичними змінами, що виявляються у підвищенні середньорічних температур, зменшенні кількості опадів та зміні режиму зволоження території України. Для Північно-Східного Лісостепу, зокрема Сумської області, зафіксовано збільшення теплозабезпеченості вегетаційного періоду на 180–200 °С та зниження кількості опадів у середньому на 20–30 мм порівняно з багаторічними показниками до 2024 р.

Унаслідок цього гідротермічний коефіцієнт (ГТК) знизився з 1,2 до 0,95, що свідчить про поступовий перехід регіону до умов, близьких до центрального й південного Лісостепу.

Такі зміни зумовили зміщення агротехнічних строків і прискорення темпів розвитку сільськогосподарських культур. У регіоні стало можливим проведення сівби теплолюбних культур, зокрема сої, вже у третій декаді квітня, тоді, як раніше оптимальними вважалися строки середини травня. Високі температури в період вегетації сприяють швидшому проходженню фенологічних фаз, що забезпечує більш раннє досягання та збирання врожаю (у серпні), зменшуючи потребу у десикації та енергозатрати виробництва.

Підвищення теплозабезпеченості та достатня кількість опадів створюють сприятливі умови для вирощування сої в північних районах України. Прогнозується, що протягом наступних 20–30 років теплозабезпеченість північної частини країни може досягти сучасного рівня центральних і південних областей, що відкриє широкі можливості для стабільного виробництва високобілкових культур, зокрема сої, нуту та сочевиці [3].

Соя (*Glycine max (L.) Merr.*) — одна з найбільш універсальних і економічно вигідних культур сучасного землеробства. Вона поєднує високу харчову, кормову й промислову цінність, є важливим джерелом рослинного білка (35–40%) і жиру (18–22%). Окрім того, соя - прекрасний попередник у сівозмінах, завдяки здатності фіксувати атмосферний азот у симбіозі з бульбочковими бактеріями, покращуючи родючість ґрунту

В Україні площі під соєю постійно зростають, що зумовлено, як високою прибутковістю, так і попитом на зерно культури на внутрішньому та світовому ринках. Проте, зміна кліматичних умов вимагає добору адаптованих сортів, здатних ефективно реалізовувати потенціал урожайності в умовах підвищених температур і періодичних посух.

Мета досліджень - визначення особливостей формування урожайності сортів сої різного селекційного походження в умовах Північно-Східного Лісостепу України та встановлення найбільш адаптованих до змін клімату сортів для впровадження у виробництво.

Дослідження проводили протягом 2023–2024 рр. на полях компанії ТОВ «БІЛОПІЛЛЯ АГРОСВІТ» Сумської області). У досліді використано 6 сортів сої, зарубіжної селекції, різних груп стиглості. У результаті досліджень встановлено, що в умовах Північно-Східного Лісостепу України найвищу стабільність і врожайність забезпечили сорти Кіото, Аріса, Хана та Ніагара, які проявили підвищену жаро- та посухостійкість і забезпечили урожайність 2,3–2,6 т/га у середньому за роки досліджень. Зазначені сорти найповніше реалізували біологічний потенціал, демонструючи добру адаптацію до коливань гідротермічних умов.

Отримані результати свідчать, що за умов подальшого потепління клімату соя має значні перспективи для розширення посівних площ у північній-східних регіонах країни, зокрема в Сумській області, де культура може забезпечувати стабільні врожаї високоякісного зерна та сприяти підвищенню ефективності сівозмін.

УДК 635.21:361.523

**Гнітецький М.О., студент 2-го курсу, групи ЗБЮ- 1м,
Любиченко В.О., студент 2-го курсу, групи БЮ- 1м,
факультету агротехнологій та природокористування**

Сумський національний аграрний університет

**Кравченко Н.В., д.с.-г.н. , проф.
факультету гірничої справи, природокористування та будівництва
Державний університет «Житомирська політехніка»**

МІКРОКЛОНАЛЬНЕ РОЗМНОЖЕННЯ РОСЛИН

У сучасному світі розвиток біотехнологій відкриває нові можливості для аграрного сектору, особливо у сфері рослинництва. Одним із найперспективніших методів відтворення рослин є мікроклональне розмноження, яке базується на принципах культури тканин *in vitro*. Цей метод дозволяє отримати значну кількість генетично однорідного садивного матеріалу за короткий час, що є особливо актуальним у світлі глобального попиту на високоякісну продукцію сільського господарства, декоративного рослинництва та фармакології.

Мікроклональне розмноження активно застосовується для розмноження рідкісних, зникаючих та особливо цінних сортів рослин, які важко, або неможливо відтворити традиційними способами. Завдяки цьому методу можна зберегти та поширити унікальні генотипи, вільні від вірусів та інших патогенів. Водночас, незважаючи на численні переваги, метод має й певні обмеження – зокрема високу собівартість, складність технічного забезпечення процесів, а також ризики виникнення соматоклональних варіацій.

У зв'язку з цим виникає необхідність комплексного аналізу переваг і недоліків мікроклонального розмноження рослин, що дозволить оптимізувати його використання у практиці, оцінити доцільність впровадження на різних рівнях господарювання та визначити напрями подальших досліджень.

Актуальність теми: в умовах інтенсифікації сільського господарства, змін клімату та зростаючих вимог до якості рослинної продукції мікроклональне розмноження є одним із ключових інструментів біотехнологічного забезпечення аграрного виробництва. Актуальність теми обумовлена необхідністю ефективного та безпечного відтворення цінних сортів рослин з гарантованими характеристиками. Також важливим є аналіз обмежень, що можуть впливати на економічну доцільність широкого впровадження даного методу.

Мета роботи: проаналізувати переваги мікроклонального розмноження рослин, оцінити доцільність його використання у сучасному рослинництві та запропонувати можливі шляхи подолання обмежень цього методу.

Проводили дослід з павлонією. Дослідження виконували, починаючи згідно із загально-прийнятими методиками. Мета оптимізація технологічного процесу культивування видів рослин *in vitro*, *ex vitro*. Методи: фізіолого-технологічний – розробка протоколів складових етапів біотехнологій мультиплікації і адаптації рослин математично-статистичний аналіз для обґрунтування кількісної оцінки отриманих експериментальних даних..

Наукові розробки в галузі культури клітин і тканин створили умови для масового поширення нових видів рослин у сучасному розсадництві. Наукові розробки в галузі мікророзмноження (МР) набувають масштабного комерційного поширення. Завершальним етапом мікророзмноження є адаптація регенерованих рослин, вирощених у стерильних умовах *in vitro*, до нестерильних умов *in vivo*.

Мікророзмноження є ключовим інструментом у сучасній біотехнології рослин, що дозволяє отримувати велику кількість генетично ідентичних рослин (клонів) з невеликої кількості вихідного матеріалу. Цей процес поділяється на три основні типи, які відрізняються своїм підходом до ініціації нового росту:

Переваги мікроклонального розмноження. Швидкість отримання значної кількості клонів однієї рослини. Шляхом традиційного розмноження з однієї рослини отримують в середньому 5-100 клонів, тоді як шляхом мікроклонального розмноження можна отримати до декількох мільйонів рослин (Рис. 1).



Рис.1. Мікроклональне розмноження павлонії.

Оздоровлення вихідного садивного матеріалу, звільнення його від бактерій, вірусів, нематод, що досягається використанням лише дуже невеликої частини рослини – бруньки або лише її частини (Рис.2.).



Рис.2. Мікроклональне розмноження малини.

УДК 911.375.1:658.6

**Горецький М.А., студент 1-го курсу ,групи АГР-2,
факультету гірничої справи, природокористування та будівництва
Кравченко Н.В., д.с.-г.н., проф.
Можарівська І.А., к.с.-г.н., доц.
Державний університет "Житомирська політехніка"**

ВПЛИВ УРБАНІЗАЦІЇ НА ПРОДОВОЛЬЧУ БЕЗПЕКУ:РИЗИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Урбанізація в Україні суттєво змінила просторову та економічну динаміку держави, насамперед вплинувши на структуру аграрних територій і стан продовольчої безпеки. У другій половині ХХ століття відбувся різкий зсув у бік зростання міського населення: якщо раніше переважали сільські громади, то нині міські жителі складають понад дві третини населення країни. Така демографічна трансформація змінила характер освоєння територій і суттєво вплинула на розвиток регіонів.

Інтенсифікація урбанізації спричинила суттєві екологічні зміни, які прямо впливають на безпеку продовольства. Відповідно до моніторингу, більше 6,5 млн.га сільськогосподарських угідь в Україні вважаються деградованими, щорічно через ерозію втрачається близько 80 тис.га родючих ґрунтів. Забрудненість повітря у великих містах перевищує допустимі норми, а більше 17% води, що подається населенню, не відповідає санітарним стандартам. Щороку генерується приблизно 592 тисячі тон небезпечних відходів, що призводить до збільшення навантаження на екосистему.(Рис. 1.)



Рис. 1. Негативні наслідки урбанізації

Сучасні виклики потребують інноваційних підходів до вирішення кризових явищ. Перспективними напрямками є розвиток вертикального фермерства, гідропоніки, точного землеробства та інших передових агротехнологій. Впровадження принципів "розумного міста" в аграрному секторі, підтримка локальних продовольчих систем та малих фермерських господарств дозволяють зменшити транспортні витрати і підвищити стійкість продовольчого забезпечення. Інтеграція зелених технологій у міське планування, розвиток екологічно чистого виробництва та підтримка програм "зеленого міста" і "розумного села" становлять основу для гармонійного розвитку урбанізованих і сільських територій(Рис.2).

Урбанізація в Україні - це не лише демографічний перехід, а справжня революція, що переплітає долю мегаполісів із майбутнім аграрної могутності країни. Майбутнє, де кожне місто має свій зелений пояс, де продукти з сусіднього поля надходять прямо на полиці міських супермаркетів, де агротехнології та екологія йдуть рука об руку - це не утопія.



Рис. 2. Іновачії для поліпшення ситуації в міста

Це стратегічна реальність, яку ми можемо побудувати вже сьогодні. Україна має унікальний шанс стати світовим лідером нової ери - ери, де міста живуть у гармонії з селом, а продовольча безпека стає фундаментом національної могутності.

Урбанізація — тривалий і глобальний процес, який змінює не лише демографічну структуру, а й попит на харчові продукти, логістику їх постачання та використання земельних ресурсів. В умовах трансформаційних викликів (війна, зміни клімату, економічна нестабільність) розуміння взаємозв'язку урбанізації та продовольчої безпеки набуває першочергового значення для аграрної політики України і регіонів, зокрема Житомирської області.

Зростання міського населення змінює структуру споживання (попит на перероблені продукти, короткострокові запаси, холодний ланцюг), що вимагає більш гнучкої логістики й ринкових інструментів.

Урбанізація тисне на земельні ресурси: розширення забудови та інфраструктури приводить до втрати сільськогосподарських угідь в околицях міст і фрагментації земельного фонду.

Концентрація населення підсилює залежність від зовнішніх постачальників (зони дефіциту стають більш вразливими при порушеннях ланцюгів поставок). Ці механізми детально проаналізовані у дослідженнях з теорії урбанізації та продовольчої безпеки.

Житомирська область залишається важливим регіоном зернового та тваринницького спрямування; статистичні дані свідчать про зростання загального намолоту ранніх зернових у 2024 році порівняно з 2023 (позитивна динаміка валового збору), проте простежуються проблеми з внесенням мінеральних добрив на 1 га та зниження погोलів'я деяких видів тварин (zt.ukrstat.gov.ua)

Аналітика ГУ статистики Житомирської області показує, що внесення мінеральних добрив у 2024 р. на 1 га стало меншим ніж у 2023, що може негативно впливати на урожайність за умов змін клімату. Це підкреслює чутливість регіональної продуктивності до логістичних і ресурсних обмежень. (zt.ukrstat.gov.ua).

Перспективи та адаптаційні стратегії (регіональний рівень, Житомирщина) вважаємо такі:

- інтенсифікація точного землеробства (сенсорика, супутниковий моніторинг, оптимізація доз удобрення) для підвищення ефективності на наявних площах;
- розвиток міських і периміських агроформ (урбан-фермерство, вертикальні/гідропонні системи) у межах житлових агломерацій як елемент диверсифікації продовольчих постачань;
- підтримка логістичних ланцюгів і локальної переробки (холодильні потужності, малі переробні підприємства) для зменшення втрат і підвищення доступності продуктів у кризових умовах;
- збереження і охорона родючих земель: містобудівні норми, зонування з пріоритетом аграрного використання кращих ґрунтів у периферіях;

Отже, урбанізація створює подвійний ефект: з одного боку — формує стабільні ринки збуту й технологічний попит, з іншого — збільшує тиск на земельні й ресурсні бази, підвищує вразливість локальних продовольчих систем. Для Житомирської області пріоритетом має стати поєднання інноваційного підходу в землеробстві, збереження ґрунтового потенціалу та розвиток локальної переробки і логістики. Це дозволить знизити ризики, пов'язані з урбанізацією, та підвищити стійкість регіональної продовольчої безпеки.

Ми пропонуємо розробити регіональну стратегію просторового розвитку з чітким зонуванням аграрних земель у буферних зонах міст; стимулювати впровадження прецизійних технологій та програм субсидіювання добрив/насіння для підвищення продуктивності на існуючих площах; інвестувати в місцеву переробку та холодильні потужності; запровадити програми підтримки молодіжного підприємництва в сільській місцевості та програми професійної перепідготовки; формувати систему моніторингу продовольчої доступності на рівні громад (ЩОСОК — щомісячний соціальний моніторинг).

УДК: 632.7:633.15(477.82)

Ключевич М.М., д. с.-г. н., професор

Бугира В. В., студент ОС магістр

Державний університет «Житомирська політехніка»

PHYLOTRETA VITTULA REDT. У ПОСІВАХ КУКУРУДЗИ ТА КОНТРОЛЬ ЇЇ РОЗВИТКУ В СФГ «ЗЛАГОДА» ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Збільшення виробництва зерна в Україні є основою основ поліпшення усіх галузей сільського господарства та підвищення добробуту народу. За планування розвитку підприємств необхідно розглядати сучасні виклики, основні напрямки і заходи щодо подальшого розвитку агропромислового виробництва нашої країни [1–3]. Кукурудза (*Zea mays*) – одна із найважливіших зернових культур у світі, яка відіграє ключову роль у харчовій безпеці та економіці багатьох країн. Зерно кукурудзи використовують для виробництва багатьох продуктів, таких як кукурудзяне борошно, кукурудзяний крохмаль, цукор та інші. Кукурудза відіграє ключову роль у світовому господарстві, ставши однією з основних культур для вирощування та споживання. Велика частина світового врожаю кукурудзи йде на корм для тварин, що є важливою ланкою в системі виробництва продовольства [2, 3].

Потреба в зерні невіддільно зростає, не дивлячись на стрімке нарощування його виробництва, що обумовлено зростанням населення нашої планети. Так, у 1950 р. (3 млрд людей) під посівами зернових було 593 млн га, а в 2016 р. – понад 700 млн га, населення становило понад 7 млрд людей, площа на душу населення зменшилась з 0,2 до 0,1 га або 2 рази, що вимагає відповідного збільшення урожайності зернових, зокрема таких стратегічних культур як пшениця, рис і кукурудза, валове виробництво зерна яких становить 88 %, з них пшениці – 25,4 % [2].

Незважаючи на успіхи у вирощуванні кукурудзи, існують виклики, такі як шкідники та зміни клімату. Нові технології, такі як впровадження стійких сортів і гібридів, можуть сприяти вирішенню цієї проблеми і забезпечити стабільний врожай в майбутньому. Збільшення урожайності та вирішення проблем вирощування кукурудзи важливі для забезпечення стабільності світового харчового ринку в майбутньому. Зменшення врожайності кукурудзи через шкідників є серйозною проблемою для сільськогосподарського виробництва. Ефективність заходів з контролю великою мірою залежить від інноваційних підходів та наукових досліджень. Збалансоване поєднання хімічних, біологічних та генетичних методів може сприяти збереженню врожайності кукурудзи та забезпеченню продовольчої безпеки у світі [1, 5].

Метою дослідження було встановити розвиток смугастої хлібної блішки в посівах кукурудзи та ефективність інсектицидів проти неї в умовах СФГ «Злагода».

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання: вивчити сезонну динаміку чисельності смугастої хлібної блішки; встановити стійкість гібридів кукурудзи проти фітофаг; визначити технічну ефективність інсектицидів проти смугастої хлібної блішки; встановити урожайність кукурудзи на зерно залежно від пошкодження смугастої хлібної блішки; визначити економічну ефективність застосування інсектицидів на кукурудзі проти смугастої хлібної блішки.

Аналіз отриманих даних за два роки свідчить, що чисельність смугастої хлібної блішки суттєво залежала від погодних умов – температури, вологості та наявності бур'янів у міжряддях. У 2024 році, за помірно теплої весни, відзначалося поступове наростання чисельності блішки, яка досягала пікових значень у фазу 4–5 листків. У 2025 році, за більш високих температур, пік активності шкідника настав раніше, що підтверджує тісну залежність фенології комах від температурного режиму.

Загалом, результати дослідження таблиця 3.1 демонструє двофазний характер активності смугастої хлібної блішки: перший пік спостерігався навесні, коли шкідник масово заселяє сходи кукурудзи, а другий, менш інтенсивний, — у період викидання волотей, коли комах повторно активізуються.

Застосування обліку дозволило отримати достовірні результати та забезпечити комплексну оцінку стану популяції шкідника впродовж усього вегетаційного періоду. Отримані дані мають важливе практичне значення для розробки систем інтегрованого захисту кукурудзи — вони дають змогу своєчасно визначати строки обробок інсектицидами, планувати профілактичні заходи та оцінювати ефективність контролю чисельності шкідника.

Польові дослідження проводилися із виявлення рівня заселення посівів кукурудзи смугастою хлібною блішкою (*Phyllotreta vittula* Redt.) та визначення ступеня пошкодження качанів різних гібридів культури. У дослідження було включено два поширених гібриди — НК Фалькон та Делітоп, які відрізняються за морфологічними й господарсько-біологічними ознаками

Рівень заселення смугастою хлібною блішкою коливався залежно від гібрида. У середньому за два роки спостережень найбільша кількість заселених рослин відзначалася у гібрида НК Фалькон – 13,4 %, тоді як у гібрида Делітоп цей показник становив 8,4 %. Середній рівень заселеності посівів у господарстві за роки досліджень дорівнював 10,9 %.

Пошкодження качанів кукурудзи також залежало від стійкості гібридів до шкідника. Найвищий показник ураження зафіксовано у гібрида НК Фалькон – 32,6 %, що свідчить про більш значний негативний вплив смугастої хлібної блішки на цей сорт. Гібрид Делітоп показав нижчий рівень пошкодження – 25,6 %. У середньому пошкодження качанів на посівах кукурудзи становило 29,1 %.

Рівень стійкості гібридів кукурудзи до смугастої хлібної блішки суттєво впливає на формування врожайності та якості зерна. Гібрид Делітоп проявив вищу толерантність до пошкоджень, що зумовило менший вплив шкідника на продуктивність рослин. Гібрид НК Фалькон, навпаки, виявився більш чутливим до ураження, що призвело до нижчої маси зерна та зменшення врожайності.

Польові дослідження, проведені у СФГ «Злагода» впродовж 2024–2025 рр., були спрямовані на визначення ефективності сучасних інсектицидних препаратів у системі захисту кукурудзи від комплексу шкідників. Дослід включав варіанти із застосуванням препаратів Контадор Дуо, КС (діючі речовини — імідаклоприд 300 г/л + лямбда-цигалотрин 100 г/л) і Лаготрин, СК (лямбда-цигалотрин 250 г/л), які порівнювались із контролем – варіантом без обробки.

Застосування препарату Контадор Дуо, КС у нормі 0,07 л/га показало найвищу біологічну та технічну ефективність. Чисельність шкідників після обробки зменшилася до 2,4 екз./м², що відповідає технічній ефективності близько 81,2 %. Такі результати свідчать про високу активність комбінованого препарату, який поєднує контактну та системну дію, забезпечуючи як швидке знищення шкідників, так і тривалий захисний ефект. Поєднання імідаклоприду (системний неонікотинοїд) і лямбда-цигалотрину (піретроїд контактної дії) дозволяє одночасно впливати на різні стадії розвитку шкідників і запобігати повторному заселенню рослин.

Проведений статистичний аналіз $H_{P05} = 1,02$ свідчить, що різниця між варіантами є достовірною. Це підтверджує істотну перевагу комбінованого препарату Контадор Дуо, КС порівняно з односкладовим Лаготрином, СК.

За результатами спостережень, у контрольному варіанті урожайність зерна становила 5,02 т/га у 2024 р. та 5,12 т/га у 2025 р., що свідчить про стабільність показників у межах середньостатистичної врожайності для регіону.

Так, використання препарату Контадор Дуо, КС забезпечило врожайність 5,19 т/га у 2024 р. та 5,37 т/га у 2025 р., що на 0,17–0,25 т/га перевищує контроль. Середній показник за два роки склав 5,28 т/га, що на 0,21 т/га більше, ніж у варіанті без обробки.

Ще вищий результат продемонстрував препарат Лаготрин, СК, урожайність за його використання становила 5,23 т/га у 2024 р. і 5,41 т/га у 2025 р., із середнім показником 5,32 т/га, тобто приріст до контролю склав 0,25 т/га.

За розрахунками, найвищий приріст урожайності – 0,25 т/га (4,9%) – забезпечив саме Лаготрин, тоді як Контадор Дуо дав приріст на рівні 0,21 т/га (4,1%).

За два роки спостережень встановлено, що погодні умови мали стабільний, але помірно впливовий характер на урожайність. У 2025 році, коли умови для розвитку шкідників були дещо сприятливішими, ефективність препаратів проявилася більш виразно, що підтверджується вищими показниками урожайності.

Висока ефективність інсектицидів підтверджує доцільність їх застосування в технологічній системі вирощування кукурудзи, особливо у роки з підвищеною чисельністю фітофагів. Підвищення урожайності навіть на 0,2–0,25 т/га має значний економічний ефект, зважаючи на площі посівів і вартість продукції.

Отже, проведені дослідження засвідчили, що обидва інсектициди ефективно підвищують урожайність кукурудзи, однак найкращим варіантом за поєднанням біологічної та економічної ефективності є Лаготрин, СК, який показав найвищий середній приріст урожайності. Це робить його доцільним для подальшого використання у системах інтегрованого захисту кукурудзи від комплексу шкідників у Житомирській області та аналогічних кліматичних умовах.

Список використаної літератури:

1. Каленська С.М., Дмитришак М.Я., Мокрієнко В.А. та ін. Рослинництво з основами кормовиробництва та агрометеорології: підручник. Київ: Прінтеко, 2023. Ч. 1. 610 с.
2. Морфологія, біологія шкідників зернових культур та заходи боротьби з ними в адаптивних технологіях вирощування: навч. посібник / І. М. Мринський, В. В. Урсал, С. В. Коковіхін, С. О. Лавренко. Херсон: Олді-плюс. 2024. 96 с.
3. Вигера С. М., Іваненко О. А., Ключевич М. М. Натуральний захист рослин та їх продукції при органічному виробництві. *Органічне виробництво і продовольча безпека*: матер. доп. учасн. Міжнар. наук.-практ. конф., 18–20 квіт. 2013 р. Житомир: О. О. Євенок, 2013. С. 337–345.
4. Секун М.П. Найпоширеніші шкідники кукурудзи. *Пропозиція спец. видання*. 2011. № 3. С. 32.
5. Вигера С. М., Ключевич М. М., Ковальчук Р. Л. Обґрунтування новітньої методології забезпечення здоров'я фітоценозів. *Moderní aspekty vědy: XLVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.*, 2024. P. 166–175.

Ключевич М.М., д. с.-г. н., професор

Вигера С. М., к. с.-г. н., доцент

Державний університет «Житомирська політехніка»

МЕТОДОЛОГІЯ ЗАПИЛЕННЯ КВІТКОВИХ РОСЛИН В КУЛЬТУРНИХ І ХОМОПРИРОДНИХ ФІТОЦЕНОЗАХ

Розвиток сучасних міст супроводжується зростанням щільності забудови, що суттєво змінює структуру використання земель і створює низку викликів для підтримання продовольчої безпеки населення. Урбанізовані території відзначаються обмеженими площами, високим антропогенним навантаженням, зниженими можливостями для традиційного землеробства та підвищеною залежністю від зовнішніх постачальників продовольства. Внаслідок цього питання забезпечення міст якісними та безпечними харчовими продуктами стає стратегічним чинником соціальної стабільності, економічної стійкості та національної безпеки.

У багатьох країнах світу доведено, що продовольча безпека міського населення напряду залежить від диверсифікації джерел виробництва харчових ресурсів та раціонального планування міського простору. В умовах активної забудови істотно звужуються можливості створення відкритих ґрунтів для вирощування овочевих і ягідних культур, зменшується частка природних екосистем, що негативно впливає на біорізноманіття та функціонування екологічних ланцюгів. Особливої актуальності набуває проблема зниження чисельності комах-запилювачів — одного з ключових елементів формування урбаністичних продовольчих систем. Адже навіть у межах міста значна частина декоративних та плодкових рослин, зелених зон і приватних насаджень потребує запилення, від якого залежить урожайність, якість плодів та сталий розвиток природного середовища.

У сучасних підходах до формування продовольчої стратегія урбанізованих зон центральне місце займають міське агровиробництво, інноваційні технології вертикального фермерства, використання дахових городів, тепличних комплексів, гідропонних та аеропонних систем. Вони дозволяють суттєво збільшити обсяг виробництва свіжих продуктів без додаткового розширення територій та мінімізувати втрати від транспортування. Наявність таких об'єктів дає можливість забезпечувати місто овочами, зеленню, мікроґріном та іншими культурами навіть в умовах кризи чи перебоїв у логістичних ланцюгах.

Важливою складовою продовольчої безпеки на забудованих територіях є також розвиток пристосованих зелених зон та екологічних коридорів, де підтримується стабільна чисельність популяцій бджолиних, джмелів та інших запилювачів. Їх присутність забезпечує природні цикли відтворення рослин, сприяє збереженню міської флори та формує умови для екосистемних послуг — очищення повітря, затримання пилу, зниження температурних «островів тепла» тощо. Окрему увагу в наукових дослідженнях приділяють створенню «міських пасік», що інтегруються у ландшафтні проекти та виконують як екологічну, так і продовольчу функцію, забезпечуючи додаткові джерела медової продукції та підвищуючи біорізноманіття.

Крім екологічних аспектів, значний вплив на продовольчу безпеку урбанізованих територій мають соціально-економічні чинники. Зростання чисельності населення при незмінних площах під продовольчу інфраструктуру призводить до збільшення навантаження на логістичні системи, склади, ринки, що підвищує ризики перебоїв у постачанні продуктів у разі надзвичайних ситуацій. Тому важливо впроваджувати політику локалізації виробництва — створення фермерських кластерів на приміських територіях, розвиток кооперативних форм господарювання, стимулювання малого агровиробника, що може швидко реагувати на потреби місцевого населення.

Особливої уваги потребують питання якості та безпечності харчових продуктів, які надходять у міські супермаркети та ринки. У густозабудованих районах вплив транспортних викидів, промислових об'єктів і техногенних факторів може підвищувати рівень забруднення атмосферного повітря та ґрунтів. У таких умовах зростає необхідність державного контролю за виробництвом та обігом харчових продуктів, моніторингу рівнів пестицидів, важких металів та інших забруднювачів у продукції рослинництва й тваринництва.

У контексті забезпечення продовольчої безпеки на урбанізованих територіях особливої ваги набуває збереження та підтримання популяцій комах-запилювачів, без яких неможливе повноцінне формування врожаю багатьох плодкових, овочевих та декоративних культур. У містах чисельність запилювачів часто зменшується через фрагментацію природних оселищ, використання пестицидів, забруднення повітря та відсутність достатньої кількості квітучих рослин протягом усього сезону. Проте дослідження свідчать, що при грамотному плануванні міські екосистеми можуть стати навіть більш сприятливими для бджолиних і джмелів, ніж інтенсивно оброблювані агроландшафти. На сучасному етапі в аграрному секторі розширюється асортимент вирощуваних рослин, особливо ентомофільних, а також таких, що мають підвищену стійкість до біотичних та абіотичних чинників.

Така методологія створює передумови для збільшення виробництва меду за рахунок успішного медозбору, а також забезпечує природоохоронний ефект за рахунок зменшення використання засобів захисту рослин.

Інформативні джерела засвідчують, що в межах 80 % відомих видів рослин насіння або ж плодів отримують за рахунок перехресного запилення, особливо шляхом використання комах запилювачів.

За такої агротехніки велике значення має обґрунтування правильної організації запилення вирощуваних у господарстві рослин. Адже відомо, що покритонасінні рослини можуть розмножуватися як статевим, так і вегетативним шляхом.

Органом розмноження покритонасінних рослин є квітка – укорочений пагін з обмеженим ростом. У процесі статевого розмноження рослин утворюються плоди і насіння. Дослідження свідчать, що більш повноцінними є плоди, коли квітки однієї рослини запилюються пилом іншої.

Встановлено, що пилок рослин переноситься по-різному: за допомогою води (гідрофільні рослини); птахами (орнітофільні); вітром (анемофільні); комахами (ентомофільні).

Запилення за допомогою вітру відбувається лише в 20 % усіх перехреснозапилюваних рослин, зокрема жито, кукурудза, береза, дуб, ліщина, багато тонконогових лучних трав тощо. При цьому деякі з цих рослин добре запилюються комахами – різні види мух, метеликів, дикі бджолині, жуки, джмелі.

Особливе значення в запиленні ентомофільних культур мають різновидності бджолиних особливо шляхом використання домашніх медоносних бджіл.

Встановлено, що з двох квіток високонектарних рослин бджоли збирають в середньому 1 мг нектару. Щоб заповнити медовий зобик і зібрати одне обніжжя, бджола повинна відвідати в середньому 100–120 квіток.

Таким чином, бджоли, перелітаючи з квітки на квітку, переносять на приймочку маточки суміш пилку, яка має підвищену порівняно з одностороннім пилом запліднювальну здатність. Бджоли відвідують квітки неодноразово, тому незапліднених зав'язей майже не залишається.

Особливе місце серед комах-запилювачів посідають природні бджолині. Це є особливо актуальним в умовах запилення насінників люцерни та конюшини, де домашні бджоли є малопродуктивними.

У процесі еволюції комахозапильних рослин у будові, забарвленні та функціях їхніх квіток виникли окремі особливості. Так, у вітрозапильних рослин квітки дрібні, не виділяють нектару й не мають запаху.

У комахозапильних рослинах квітки в переважно більшій, вони яскраво забарвлені і добре помітні, а їхні нектарники інтенсивно виділяють нектар, який охоче використовується комахами багатьох видів.

Слід зауважити, що квітки деяких видів рослин цієї групи виділяють леткі ефірні масла. В таких випадках, комахи, орієнтуються за забарвленням квіток і їх запахом, тому знаходять й збирають нектар, здійснюючи при цьому перехресне запилення.

Є свідчення, що у окремих видів рослин з'явилися спеціальні пристосування, які забезпечують їх перехресне запилення комахами. Наприклад, тичинки квітки шавлії рухомо закріплені на підпорках, причому коротке коліно тичинки закриває доступ у глибину квітки. У такому випадку проникаючи в квітку, комаха надавлює на коротке коліно тичинки, а довге коліно опускається вниз і пиляк, ударяючи комаху, залишає на її тілі пилок.

Дослідженнями встановлено, що розмаїття бджолиних нараховує в межах декількох десятків тисяч різновидностей.

Виходячи із такого складного процесу щодо запилення та використання бджолиних та інших комах для цього, нами вперше в Україні введено в науково освітній процес інноваційну дисципліну, а саме Ентомоанфологія.

Створення квіткових коридорів, висадження медоносних та пилюконосних рослин у скверах, на узбіччях, у парках, на дахах будинків і в внутрішніх дворах суттєво збільшує доступність кормової бази для запилювачів. У багатьох країнах практикується впорядкування так званих «комахоорієнтованих» зелених зон, де підбирають асортимент видів таким чином, щоб забезпечити безперервне цвітіння з ранньої весни до пізньої осені. Це не лише підтримує локальні популяції запилювачів, а й стимулює природне запилення міських культур, що підвищує урожайність міського фермерства, покращує якість плодів і сприяє стабільності міських продовольчих систем. Додаткову роль у підтриманні міських популяцій відіграють дрібні види жуків, метеликів та двокрилих, які активно залучаються до запилення дрібноквіткових рослин у парках і прибудинкових зонах. Таким чином, продовольча безпека в умовах забудованих територій виступає комплексною багаторівневою системою, яка включає технологічні, соціальні, економічні та екологічні складові. Інтеграція заходів зі збереження комах-запилювачів у міське планування є однією з ключових передумов стійкої продовольчої безпеки. Ефективне забезпечення населення якісними продуктами вимагає розвитку міського агровиробництва, збереження природних екосистем, підтримання чисельності запилювачів, взаємодії освіти, науки та виробництва, а також впровадження довгострокових стратегій сталого міського планування. Лише інтеграція цих інструментів дозволить сформувати стійку продовольчу систему, здатну адаптуватися до викликів глобальних змін клімату, демографічних тенденцій та зростаючих потреб урбанізованого суспільства.

УДК: 632.4:633.34 (477.43)

Ключевич М.М., д. с.-г. н., професор

Майструк О.В., студент ОС магістр

Державний університет «Житомирська політехніка»

КОНТРОЛЬ МІКОЗІВ У ПОСІВАХ СОЇ В ФГ «ГРОЦЬКИЙ» ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Соя (*Glycine max* Moench.) є стратегічною культурою в Україні та однією з ключових у структурі посівів ФГ «Гроцький». Її значення розповсюджується на багато галузей, включаючи сільське господарство, харчову промисловість, медицину та навколишнє середовище [1–3].

За свідченнями Бабич А. О. [4] культура соя є домінуючою за вмістом білка, її насіння містить його близько 40 %. За високого вмісту соя є важливим джерелом рослинного білка для людини і тварин. Соевий білок містить усі необхідні амінокислоти, і є повноцінним джерелом білка. Більше того, соя містить низку корисних мікроелементів, таких як залізо, кальцій, фосфор, магній та інші.

Соевий лецитин, який виділяють з соєвого олії, використовується як стабілізатор і емульгатор у багатьох продуктах харчування. Він додає текстуру та поліпшує структуру продуктів. Соеві ізофлавоїди, відомі своїми фітозахисними властивостями. Вони можуть допомогти знизити ризик розвитку деяких хвороб, включаючи рак грудей та рак передміхурової залози. Також, споживання сої може мати позитивний вплив на здоров'я серця, оскільки вона допомагає знижувати рівень поганого холестерину в крові [2, 3].

Проте врожайність сої значною мірою недоотримується через ураження рослин збудниками грибних хвороб (антракнозу, аскохитозу, пероноспорозу, фузаріозу, іржі, оливкової плямистості, бактеріозу), які здатні спричинити істотні втрати – від 10–15% до 40% і більше за сприятливих для патогенів умов. У Хмельницькій області, де переважають вологі вегетаційні періоди та родючі чорноземи, мікози розвиваються особливо інтенсивно, тому ефективний контроль хвороб є ключовим елементом технології вирощування. У Хмельницькій області характерне чергування теплих періодів із частими затяжними дощами. Вологість понад 80% і температура 18–25°C сприяли розвитку септоріозу, антракнозу та пероноспорозу. Фузаріоз інтенсивно прогресував у сухі періоди в середині літа, що ушкоджувало судинну систему рослин.

Одним із ефективних профілактичних заходів контролю розвитку хвороб сої є впровадження стійких сортів рослин, і лікувальних – застосування фунгіцидів, що і було передумовою для проведення нами наукового дослідження в умовах ФГ «Гроцький» впродовж 2024–2025 рр.

Стійкість сортів сої до хвороб є важливою характеристикою для забезпечення врожаю і підвищення виробництва цієї культури.

Встановлено, що інтенсивність розвитку септоріозу та альтернаріозу суттєво залежить від генотипу. У контрольних варіантах найбільша ураженість збудником септоріозу була характерна для сортів Алмаз (15,4%) та Емперор (14,6%), що вказує на їх відносно низьку стійкість. Сорти Королева (8,3%) і Моравія (3,9%) демонстрували значно менші значення, що підтверджує їх високу польову толерантність.

Подібна тенденція простежується й щодо альтернаріозу: сорт Емперор мав найвищий рівень ураження (9,3%), тоді як Королева і Моравія – найнижчий (3,1–4,2%). Це свідчить про генетично зумовлену відмінність сортів за резистентністю, яка визначає їхню реакцію на патогенний комплекс.

Застосування фунгіциду Абакус призвело до значного зниження інтенсивності розвитку хвороб у всіх сортів. Рівень септоріозу знизився у 2–4 рази, що особливо виражено у сортів Емперор та Алмаз. Альтернаріоз зменшився у 3–6 разів, найбільше – у сорту Алмаз, що свідчить про високу ефективність препарату щодо цього патогену. Сорти Королева та Моравія після обробки демонстрували мінімальний розвиток хвороб (0,7–2,7 %), що практично виключає негативний вплив хвороб на формування продуктивності.

Таким чином, фунгіцидний захист значно покращив фітосанітарний стан посівів, проте найбільший інтегральний ефект спостерігався на сортах із високою природною стійкістю.

Аналіз морфологічних елементів структури врожаю за відсутності фунгіцидного захисту виявив суттєві сортові відмінності.

Висота рослин варіювала в межах 89,4–104,0 см. Найвищими були сорти Моравія та Емперор, що свідчить про їх високу інтенсивність росту. Найнижчим був Алмаз, але нижча рослина не завжди означає нижчу продуктивність – важливою є сукупність морфометричних ознак.

Кількість бобів на рослині була найвищою у сорту Королева (20,5 шт.) та Моравія (18,0 шт.), що забезпечило формування значної кількості насіння – відповідно 37,4 і 34,5 шт. Це підтверджує їхній інтенсивний тип розвитку та високу здатність до генерації продуктивних органів.

Маса 1000 насінин – важливий показник, що характеризує виповненість і продуктивність насіння. Найвищі значення були у сортів Королева (136,1 г) та Моравія (129,5 г). Сорти Алмаз та Емперор мали нижчі показники, що частково пояснює їх нижчу урожайність у контрольних варіантах.

Сумарно сорт Королева показав найбільш збалансовану структуру врожаю, що відповідає його високому генетичному потенціалу.

Застосування фунгіциду спричинило значне підвищення всіх показників структури врожаю. Це пов'язано зі зменшенням рівня ураженості збудниками хвороб, збереженням фотосинтетичного апарату та продовженням періоду активного наливання насіння.

Висота рослин збільшилась у середньому на 4–10 см, що свідчить про зниження стресового впливу патогенів. Найбільше зростання спостерігалось у сорту Моравія – до 112,8 см.

Кількість бобів на рослині зросла на 2–4 шт., а кількість насіння – у середньому на 12–13 шт. Найвищі значення продемонстрував сорт Королева (24,3 боби та 49,4 насінини), що вказує на значну реакцію на покращення фітосанітарного стану.

Маса 1000 насінин також збільшилась: у Королеви до 148,6 г, у Моравії – до 144,9 г. Це підтверджує інтенсифікацію асиміляційних процесів та оптимальне забезпечення рослин елементами живлення під час формування врожаю.

Таким чином, фунгіцид Абакус дозволив максимізувати врожайний потенціал сортів, що особливо виражено у сортів із вже високими базовими показниками продуктивності.

У контрольному варіанті урожайність коливалася в межах 2,07–2,73 т/га. Найвищу урожайність мав сорт Королева (2,73 т/га), що значно перевищує стандарт Емперор (2,10 т/га). Сорт Моравія також забезпечив суттєво вищу урожайність – 2,31 т/га.

Після застосування фунгіциду урожайність зросла у всіх сортів:

- Емперор – до 2,36 т/га;
- Алмаз – до 2,47 т/га;
- Королева – до 3,08 т/га;
- Моравія – до 2,94 т/га.

Вищий приріст урожайності був у Моравії (+0,63 т/га), ніж у Королеви (+0,35 т/га), хоча абсолютні показники лідером залишилась саме Королева.

Статистичні показники НІР свідчать про достовірність різниць між сортами та варіантами обробки.

Таким чином, фунгіцид Абакус забезпечив підвищення урожайності на 0,2–0,6 т/га, що є суттєвим економічно та агрономічно обґрунтованим ефектом.

Економічний аналіз показав, що застосування фунгіциду Абакус є рентабельним для всіх сортів, однак рівень економічної ефективності залежить від генотипу.

У контролі найвищий прибуток мав сорт Королева (29408 грн/га), далі – Моравія (22268 грн/га). Найнижчий прибуток був у сортів Емперор та Алмаз (≈18 тис. грн/га).

Після застосування фунгіциду Абакус прибуток зріс:

- Емперор – до 21161 грн/га;
- Алмаз – до 23031 грн/га;
- Королева – до 33401 грн/га;
- Моравія – до 31021 грн/га.

Найвищу окупність технології демонструють сорти:

- Королева – 1,76 раза;
- Моравія – 1,64 раза.

Це свідчить, що саме ці два сорти забезпечують максимальну фінансову вигоду за застосування фунгіцидного захисту.

Отже, виявлено значні сортові відмінності за стійкістю до септоріозу та альтернаріозу. Найвищу резистентність показали сорти Королева та Моравія. Структурні показники врожаю у контролі свідчать про високий генетичний потенціал продуктивності сортів Королева та Моравія. Фунгіцид Абакус істотно покращує всі елементи структури врожаю та забезпечує максимальний ефект на високопродуктивних сортах. Урожайність після фунгіцидного захисту зростає на 10–25%, що підтверджує високу ефективність застосування препарату. Економічна оцінка довела доцільність використання Абакусу у виробництві: окупність становила 1,12–1,76 раза залежно від сорту. Найбільш перспективними для вирощування в регіоні є сорти Королева та Моравія, які поєднують стійкість до хвороб, високу врожайність та максимальну економічну ефективність.

Список використаної літератури:

1. Шевніков М. Я., Міленко О. Г., Лотиш І. І. Урожайність сортів сої залежно від елементів технології вирощування. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2018. № 3. С. 25–32.
2. Каленська С. М., Дмитришак М. Я., Мокрієнко В. А. та ін. Рослинництво з основами кормовиробництва та агрометеорології: підручник. Київ: Прінтеко, 2023. Ч. 1. 610 с.
3. Дідора В. Г., Ключевич М. М. Технічні культури : підручник. Вид. 2-е, доповнене. Житомир : Поліський нац. університет, 2024. 462 с.
4. Бабич А. О. Соя для здоров'я і життя на планеті Земля : [монографія]. К. : Аграр. наука, 1998. 271 с.

УДК: 632.4:633.11“321”(477.83)

Ключевич М.М., д. с.-г. н., професор

Сорока В.В., студент ОС магістр

Державний університет «Житомирська політехніка»

СЕПТОРІОЗ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА КОНТРОЛЬ ЙОГО РОЗВИТКУ В ДП «НОВА ПЕРЕМОГА» ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Септоріоз пшениці озимої, спричинений збудниками *Septoria tritici* та *Parastagonospora nodorum*, належить до найбільш економічно небезпечних хвороб зернових культур у Європі. За умов інтенсивного землеробства та техногенної трансформації довкілля його шкідливість зростає через зміну мікрокліматичних параметрів полів, деградацію ґрунтової структури, підвищення щільності посівів та зниження імунного фону фітоценозів [1].

У Житомирській області, де аграрне виробництво тісно межує з кар'єрами з видобутку щебеню, каоліну, гранітів і будівельних матеріалів, питання біотичної стійкості культур стають складовою загальної проблематики безпечного природокористування. Пилові викиди, зміни водного балансу, зміна кислотності та аерації ґрунтів є непрямими чинниками, що впливають на перебіг грибних інфекцій.

Саме тому дослідження септоріозу пшениці озимої в господарстві ДП «Нова Перемога», яке межує з технологічно активними територіями, є прикладом міжгалузевої проблеми, що поєднує питання агрономії, ґрунтозахисного виробництва, екологічної безпеки та техногенного впливу гірничодобувного комплексу.

Септоріоз проявляється переважно у вигляді некротичних плям на листках та колосі, що знижує фотосинтетичну активність рослин та формування продуктивного колосу. За даними різних наукових джерел, втрати врожаю за епіфітотійного розвитку можуть становити 15–35 %, а у критичні роки – до 45 % [1].

До факторів, що сприяють розвитку хвороби, належать: підвищена вологість повітря понад 70–80 %; наявність тривалих рос; надмірне внесення азотних добрив; монокультура; недотримання сівозміни; висока щільність посівів.

Кар'єрні відвали, пилові навантаження та зміни мікрорельєфу сприяють локальному накопиченню вологи, а це може створювати сприятливий мікроклімат для септоріозу. Будівельні та гірничі майданчики провокують підвищення дисперсності частинок у повітрі, що осідають на рослинності, знижуючи кутикуличний захист та травмуючи листову поверхню — це пришвидшує проникнення патогенів.

Таким чином, проблематика розвитку септоріозу безпосередньо пов'язана із загальною тематикою конференції, оскільки модифіковані техногенні ландшафти стають гарячими точками розвитку шкідливих організмів, що потребує інноваційних заходів контролю.

Встановлено, що зараження збудниками септоріозу проходить упродовж усього періоду вегетації пшениці озимої, але найбільш сприйнятливими рослини є у фазі колосіння і цвітіння.

Септоріозу притаманний високий інфекційний потенціал, що є причиною його швидкого розповсюдження в агроценозі культури.

Хвороба призводить до зниження інтенсивності дихання, яке зменшується на 4–17%. Все це може бути причинами вилягання, пустоколосості і загибелі окремих рослин, особливо коли хвороба проявляється у фазах прапорцевого листка, колосіння і цвітіння.

Ураження пшениці збудниками септоріозу впливає на якість зерна: вміст білку знижується на 0,32%, енергія проростання насіння зменшується на 9–37,8 %, а польова схожість – на 5,8–27,2%.

Розвитку хвороби сприяють ранні строки сівби озимих, незбалансовані норми азотних добрив. Високу ефективність забезпечує обробка фунгіцидами.

У вегетаційний період досить поширеним методом, що дає змогу захистити різні частини вегетуючих рослин від зараження фітопатогенними грибами шляхом затримки початку епіфітотії або зниження швидкості інфекції, яка передається, головним чином, аерогенно є обробка рослин фунгіцидами.

Застосування фунгіциду перед настанням патологічного процесу в передепіфітотійній стадії подовжує її розвиток і початок епіфітотійного наростання септоріозу листя припадає на менш вразливий період росту рослини-господаря. Адже початком епіфітотії є поява окремих первинних симптомів на чотирьох верхніх листках. Обробка фунгіцидом при різкому зростанні швидкості інфекції не дає змоги знизити рівень розвитку хвороби і це призводить до додаткових втрат врожаю і неефективного використання засобів захисту.

Список використаної літератури:

1. Інтегрований захист рослин: навч. посіб. / Писаренко В.М., Піщаленко М.А., Поспелова Г.Д., Горб О.О., Коваленко Н.П., Шерстюк О.Л. Полтава, 2020. 245 с.
2. Ключевич М. М. Роль антропогенних факторів у підвищенні стійкості озимої пшениці до септоріозу в агроекологічних умовах Полісся. Вісник ДАУ. 2003. № 1. С. 270–278.

УДК 631.582:633.491

**Красовський А.В., здобувач вищої освіти освітнього ступеня “магістр”
спеціальності 201 “Агрономія”**

**Можарівська І.А., к.с.-г. н., доцент кафедри здоров’я природи
та якості харчових ресурсів**

Державний університет “Житомирська політехніка”

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

Кукурудза є однією з найцінніших сільськогосподарських культур, яка в умовах дотримання агротехнічних вимог здатна забезпечити високу врожайність. Вона займає стабільну позицію на світовому ринку зерна, а завдяки сприятливим природно-економічним умовам України країна здатна не тільки повністю задовольнити власні потреби, але й значно наростити експортний потенціал цієї культури.

Однак на шляху до створення стабільного і конкурентоспроможного середовища для вирощування кукурудзи ще існують численні проблеми агротехнологічного характеру, що стосуються як інфраструктури ринку, так і самих технологій вирощування.

За останні роки кукурудза досягла найвищого рівня врожайності серед зернових культур в Україні. Це пояснюється здатністю рослини ефективно засвоювати світлові промені завдяки специфічній фотосинтетичній структурі, зокрема, здатності фіксувати вуглекислий газ з чотирма атомами вуглецю, що відносить її до групи C₄. Ця характеристика дозволяє кукурудзі бути високопродуктивною культурою, особливо за обсягом утвореної сухої маси під час вегетації — до 220 кг/га.

З огляду на тенденції розвитку аграрного сектору, важливим є проведення досліджень, спрямованих на розробку моделей технологій вирощування сільськогосподарських культур у рамках самовідновлюваних систем землеробства. Такі системи є найбільш ефективними з точки зору використання біокліматичних ресурсів регіону, оскільки сприяють збереженню і підвищенню родючості ґрунтів, ефективному використанню атмосферних опадів та запасів продуктивної вологи, а також допомагають забезпечити стабільний ріст врожайності кукурудзи.

Особливо актуальним є дослідження реакцій нових гібридів кукурудзи на різні організовані фактори вирощування в рамках як традиційних, так і альтернативних систем землеробства. Це дозволяє оптимізувати агротехнічні заходи, адаптувати технології до специфічних умов регіону та підвищити ефективність використання ресурсів, що в свою чергу сприяє не тільки збільшенню врожайності, а й підвищенню екологічної стабільності сільськогосподарського виробництва.

Ефективність елементів технології вирощування кукурудзи на зерно залежить від кількох важливих чинників, починаючи від вибору сорту та закінчуючи збором врожаю. Вибір сорту або гібриду є основою успіху, оскільки адаптовані до місцевих умов рослини краще переносять стреси, менше хворіють і дають стабільно високі врожаї.

Поряд з цим, правильна підготовка ґрунту перед посівом забезпечує оптимальні умови для розвитку рослин, сприяючи їхньому швидкому зростанню та розвитку кореневої системи.

Внесення добрив є невід’ємною частиною технології, адже правильний баланс поживних елементів покращує врожайність і якість зерна. Для кукурудзи важливо забезпечити її необхідними макро- та мікроелементами в оптимальних дозах. Зрошення, особливо в посушливих регіонах, є критичним для забезпечення стабільного зростання рослин, особливо під час цвітіння та наливу зерна.

Захист від шкідників і хвороб є важливим елементом для запобігання втратам врожаю, адже кукурудза є уразливою до різних захворювань та шкідників, таких як кукурудзяний метелик і фузаріоз. Своєчасна обробка та правильне застосування захисних засобів дозволяють зберегти врожай.

Вибір правильного часу для посіву і густота стояння рослин також мають велике значення. Якщо густота надто висока, рослини будуть конкурувати за ресурси, а при низькій густоті може знижуватися потенціал врожаю. Технічні засоби, такі як сучасні трактори і комбайни, значно підвищують ефективність роботи, дозволяючи виконувати всі операції швидко та з мінімальними витратами праці.

Збирання врожаю в оптимальний час, коли вологість зерна досягає 14-16%, мінімізує втрати та забезпечує високу якість продукції. Використання сучасних систем моніторингу і точного землеробства дозволяє зменшити витрати і підвищити врожайність, оптимізуючи використання ресурсів.

У підсумку, ефективність технології вирощування кукурудзи на зерно залежить від інтеграції всіх елементів, правильного планування та використання сучасних технологій на кожному етапі вирощування.

Таким чином, детальніше вивчення агротехнологічних аспектів, а також оцінка ефективності нових технологій вирощування кукурудзи в умовах змінюваного клімату, сприятимуть удосконаленню практики землеробства та забезпечать стабільний розвиток аграрного сектору на довгострокову перспективу.

УДК 635.21:361

**Мельник О.В., студент 1-го курсу, групи АГР-2,
Зайчук А.С., студентка 1-го курсу, групи АГР-2,
факультету гірничої справи, природокористування та будівництва
Кравченко Н.В., д.с.-г.н., проф.**
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОДОВОЛЬЧА БЕЗПЕКА НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ УРБАНІЗАЦІЇ

Продовольча безпека є одним із ключових чинників стабільного розвитку будь якої держави, адже вона безпосередньо впливає на здоров'я, працездатність і добробут населення. У сучасних умовах урбанізації, коли значна частина населення проживає у великих містах, або на щільно забудованих територіях, питання забезпечення продовольчої безпеки набуває особливої актуальності. Зростання кількості міського населення, зменшення площ сільськогосподарських угідь, екологічне навантаження та зміни клімату створюють нові виклики для ефективного функціонування продовольчих систем.

На забудованих територіях можливості для традиційного землеробства обмежені, тому виникає потреба у пошуку інноваційних підходів до виробництва, зберігання та розподілу продуктів харчування. Одним із перспективних напрямів є розвиток урбан-агрокультур - міського або вертикального землеробства, яке дозволяє вирощувати продукти безпосередньо у межах міста, використовуючи дахи будівель, теплиці, гідропонні системи та інші технології з мінімальним споживанням ресурсів (Рис. 1). Це не лише знижує витрати на транспортування, але й сприяє зменшенню викидів парникових газів, а також підвищує продовольчу незалежність окремих громад.



Рис. 1. Dogtooth Technologies (<https://surl.lu/cicnjw>)

Важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки на забудованих територіях відіграє ефективна логістика та інфраструктура постачання. В умовах кризових ситуацій, зокрема війни, або надзвичайних подій, саме розвинена система дистрибуції продуктів дає змогу уникнути дефіциту та підтримати стабільність продовольчих ринків. Значення має також формування резервів продовольства та підтримка локальних фермерських господарств, що постачають свіжі продукти до міських ринків

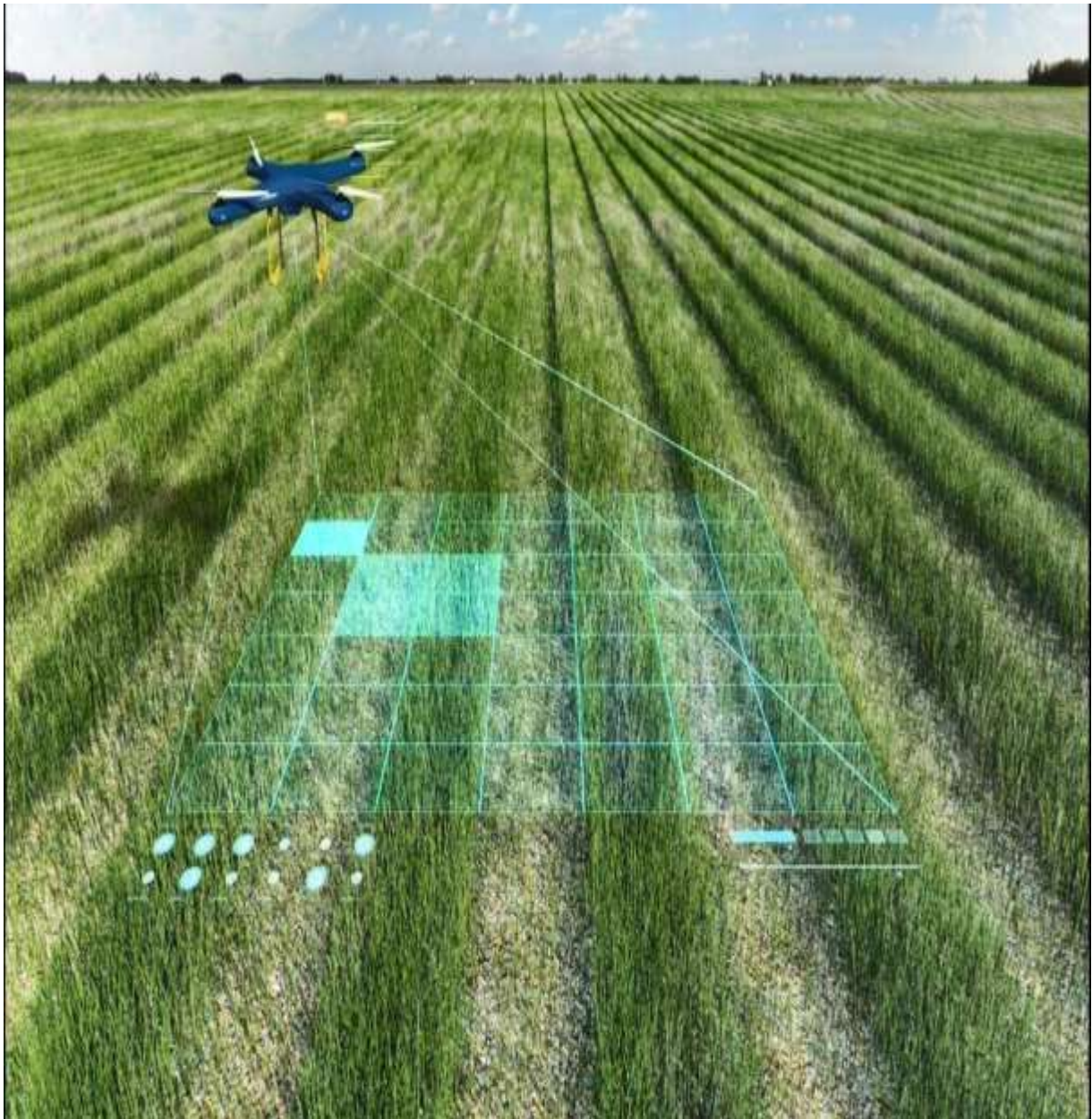


Рис.2. "Розумні" системи (<https://surl.lu/cicnjw>)

Важливим аспектом продовольчої безпеки є економічна доступність продуктів. Навіть при наявності достатньої кількості їжі, низький рівень доходів населення може обмежувати можливість придбання якісних продуктів, тому державна політика має бути спрямована не лише на збільшення обсягів виробництва, але й на підтримку соціально вразливих верств населення через субсидії, програми продовольчої допомоги та розвиток соціальних магазинів. У контексті сталого розвитку міських територій надзвичайно важливим є зменшення харчових відходів. За даними міжнародних організацій, до третини всіх вироблених продуктів у світі втрачається або псується. Створення систем переробки відходів, впровадження компостування, повторного використання харчових залишків у сільському господарстві - це не лише екологічно, але й економічно доцільні заходи, які сприяють підвищенню продовольчої стабільності.

Отже, забезпечення продовольчої безпеки на забудованих територіях потребує комплексного підходу, який поєднує державну політику, інноваційні технології, розвиток локальних ініціатив і свідому участь громадян. Раціональне використання міського простору для вирощування продуктів, підтримка коротких ланцюгів постачання, екологічна відповідальність та соціальна справедливість є запорукою сталого майбутнього урбанізованих суспільств. Лише за умови інтеграції економічних, соціальних та екологічних стратегій можливо досягти справжньої продовольчої безпеки для населення в умовах інтенсивної забудови.

УДК 631.582:633.491

**Сабашук Л.В., здобувач вищої освіти освітнього ступеня “магістр”
спеціальності 201 “Агрономія”**

**Можарівська І.А., к.с.-г. н., доцент кафедри здоров’я природи
та якості харчових ресурсів**

**Кравченко Н.В., д.с.-г. н., професор кафедри здоров’я природи
та якості харчових ресурсів**

Державний університет “Житомирська політехніка”

ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД РІВНЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ В УМОВАХ ТОВ «СІГНЕТ-ЦЕНТР»

Розглянуто агроекологічні аспекти застосування мінеральних добрив у технології вирощування кукурудзи в умовах північного Лісостепу України на прикладі виробничих площ ТОВ «Сігнет-Центр».

Кукурудза впродовж багатьох десятиліть утримує позицію однієї з ключових стратегічних культур аграрного сектору України. Ця рослина формує основу продовольчої, кормової та енергетичної безпеки держави. Завдяки високому потенціалу урожайності, широкій екологічній пластичності та можливості інтеграції в сучасні технології вирощування, культура стала важливою для економічної стабільності та розвитку аграрного виробництва країни.

Висока адаптивність кукурудзи до різноманітних ґрунтово-кліматичних умов, її стабільна продуктивність та здатність забезпечувати високий рівень віддачі за умови раціонального застосування агротехнологій визначають культуру як одну з базових у структурі агровиробництва нашої держави. Наукові дослідження та виробничий досвід підтверджують, що кукурудза демонструє надійність і стійкість за різних умов середовища. Зазначмо, що Житомирський регіон, який поєднує у собі риси Полісся і північного Лісостепу, є перспективною територією для вирощування кукурудзи. Достатня кількість опадів, помірний температурний режим, наявність родючих сірих і темно-сірих лісових ґрунтів створюють сприятливі умови для формування стабільної високої продуктивності цієї культури.

Проте, все ж ефективність виробництва кукурудзи значною мірою визначається рівнем мінерального живлення. За даними численних наукових досліджень, кукурудза належить до культур з високою потребою в елементах мінерального живлення, особливо в азоті, фосфорі та калії, що пов’язано з інтенсивним накопиченням біомаси і формуванням високого врожаю зерна. Ці елементи є критично важливими, адже вони впливають на формування кореневої системи, інтенсивність фотосинтезу, розвиток генеративних органів та кінцеву врожайність культури. Невідповідність між потребами рослини та фактичним забезпеченням макроелементами може призводити до зниження продуктивності та порушення агроекологічної рівноваги.

Саме тому на нас було проведено дослідження у Житомирському районі Житомирської області, на базі ТОВ «Сігнет-Центр», де ґрунтовий покрив представлений переважно сірими та темно-сірими лісовими середньосуглинковими ґрунтами. Було проведено агроекологічну оцінку реакції кукурудзи на різні рівні мінерального живлення та встановлено оптимальні норми внесення NPK, що забезпечують максимальну продуктивність рослин без порушення екологічної рівноваги.

Дослідження виконували на сірих лісових ґрунтах із вмістом гумусу 2,4 %, pH 6,0, середньою забезпеченістю фосфором і калієм та дещо зниженим рівнем азоту. Польовий дослід включав чотири варіанти удобрення та контроль без добрив. Оцінювали біометричні показники рослин, структуру врожаю та показники продуктивності. Результати досліджень показали, що рівень мінерального живлення істотно впливав на ріст і розвиток рослин. Контрольний варіант забезпечував мінімальні темпи наростання вегетативної маси, тоді як оптимальний розвиток відзначено за норми N₁₂₀ P₆₀ K₆₀. Надмірне удобрення (N₂₄₀ P₁₂₀ K₁₂₀) сприяло перевищеному вегетативному росту, подовженню вегетації та дещо гіршому озерненню качанів, що знижувало ефективність використання поживних речовин. Варіанти з підвищеними та максимальними нормами добрив (N₁₈₀ та N₂₄₀) не показали істотної переваги над оптимальним удобренням, а в окремих випадках навіть погіршували продуктивність за рахунок надмірного вегетативного росту.

Отже, отримані результати вказують, що для умов Житомирської області найбільш ефективною та екологічно безпечною є система удобрення, яка базується на середніх нормах внесення NPK, адаптованих до ґрунтових умов та агрокліматичного потенціалу регіону. Застосування таких норм дозволяє забезпечити стабільне підвищення врожайності кукурудзи, раціональне використання добрив та збереження родючості ґрунтів.

УДК 635.21:361.523

**Четверик Б.М., аспірант 3-го курсу, 201 спеціальності «Агрономія»,
факультету агротехнологій та природокористування,**

Сумський національний аграрний університет

**Миرونчук Д.С., студентка 1-го курсу, групи АГР-2,
факультету гірничої справи, природокористування та будівництва**

Кравченко Н.В., д.с.-г.н., проф.

Можарівська І.А., к.с.-г.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ САДІННЯ КАРТОПЛІ

Сільське господарство України, що завжди було основою економіки, зараз гостро потребує інновацій та впровадження новітніх технологій вирощування культур, зокрема й картоплі. Наразі, масштабного вторгнення та окупації майже 25% території України, землі, на яких вирощується сільськогосподарська продукція, суттєво скоротилися. Це створює безпрецедентний тиск на аграрний сектор, змушуючи фермерів шукати шляхи підвищення ефективності виробництва на доступних площах.

У цих умовах оптимізація кожного агротехнічного заходу стає критично важливою, і строки садіння картоплі виходять на перший план, як один із ключових факторів. Правильний вибір часу садіння дозволяє максимально використати сприятливі погодні умови, забезпечити оптимальний розвиток рослин та мінімізувати ризики від абіотичних стресів (як-от посухи або заморозки), а також знизити фітосанітарні ризики.

В умовах дефіциту земельних ресурсів кожен гектар повинен давати максимальний урожай, і точне визначення строків садіння є одним із найдоступніших та ефективних інструментів для досягнення цієї мети. Це не лише про підвищення врожайності, а й про забезпечення продовольчої безпеки країни та економічної стійкості аграрного сектора в ці надскладні часи.

Однак технологія вирощування картоплі включає не лише строки садіння бульб. Наприклад, дослідження на Півдні України показало, що біологізована технологія вирощування картоплі на сидераті забезпечує вищий умовно чистий прибуток і рентабельність порівняно зі стандартною технологією, незважаючи на дещо нижчу врожайність. Це досягається завдяки вищій ціні реалізації органічної продукції та мінімальній кількості засобів захисту рослин.

Зібрані матеріали свідчать, про вплив на вибір оптимальних строків садіння картоплі, на різні аспекти вирощування: від фізіологічного розвитку рослин до кінцевої врожайності та якості продукції. Особливу увагу слід приділити взаємодії строків садіння з кліматичними умовами (температура, опади, тривалість світлового дня), сортовими особливостями картоплі, ризиками розвитку хвороб та шкідників, а також економічною доцільністю. Метою роботи було виявлення спільних тенденцій, протиріч у даних та невирішених питань, що потребують подальших досліджень, особливо в контексті сучасних викликів для сільського господарства України. Дослідження в Західному Поліссі підтверджують ефективність застосування біодобрив. Зокрема, вчені довели, що застосування біодеструктора Екостерн в органічній технології вирощування картоплі значно підвищує біорізноманіття мікробного комплексу ґрунту та кількість корисних мікроорганізмів, що сприяє покращенню ґрунтових процесів. Це свідчить про Екостерн, як ефективний засіб для стимулювання біорізноманіття та пригнічення патогенів у дерново-підзолистих ґрунтах. Дослідження Вдовенко В. показали, що дворазове позакореневе підживлення мікроелементами із препарату Вуксал Макромікс на фоні сидерату та локального внесення мінеральних добрив ($N_{60} P_{60} K_{60}$) значно покращує ріст, розвиток і врожайність насіннєвої картоплі. Цей комплексний підхід збільшив вегетаційний період, висоту рослин, кількість стебел і бульб, середню масу бульби, а також загальну та насіннєву врожайність сортів Анатан і Щедрик порівняно з контролем. Дослідження сортів картоплі Явір (ранньостиглий) та Гурман (середньостиглий) у Карпатському регіоні показало, що опти мальна доза мінеральних добрив ($N_{90} P_{90} K_{120}$) у поєднанні з позакореневим підживленням мікродобривами та схемою садіння 70х20 см сприяє максимальному накопиченню сухої речовини та крохмалю, особливо в сорту Явір.

Варто також зазначити, що дослідження агрометеорологічних умов вирощування картоплі в Західному Поліссі України показало, що зростання врожайності на початку ХХІ століття зумовлене саме технологічним покращенням, новими сортами та ефективнішою боротьбою зі шкідниками та хворобами, а не сприятливими кліматичними змінами. Натомість потепління клімату призвело до збільшення посушливості та періодичного перезволоження ґрунту, що негативно впливає на врожайність і якість картоплі.