



START IN SCIENCE  
CONFERENCE



СТУДЕНТСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА  
КОНФЕРЕНЦІЯ

# START IN SCIENCE

ОЛДІ  
ПІЮС

Збірник тез і анотацій  
наукових доповідей

12 ГРУДНЯ 2025 РОКУ



# Start in Science

## Студентська науково-технічна конференція

Збірник тез і анотацій наукових доповідей

12 грудня 2025 року

Одеса • 2025 • Олді+

УДК 001.892(062.552)  
S81

**Організаційний комітет конференції:**

*Голова* – **Володимир КУХАР**, д.т.н., професор, проректор з науково-дослідної роботи.

*Секретар* – **Христина МАЛІЙ**, к.т.н., доцент, керівник науково-дослідного департаменту.

*Члени комітету:*

**Володимир ПАШИНСЬКИЙ**, д.т.н., доцент, завідувач кафедри матеріалознавства та прикладної механіки;

**Ігор БОЙКО**, к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства та прикладної механіки;

**Едуард ГРИБКОВ**, д.т.н., професор, завідувач кафедри металургії та організації виробництва;

**Юрій ДОБРОНОСОВ**, к.т.н., доцент, доцент кафедри металургії та організації виробництва;

**Іван САХНО**, д.т.н., професор, завідувач кафедри гірничої справи;

**Діна МИХАЙЛОВА**, викладач кафедри гірничої справи;

**Олексій КОЙФМАН**, к.т.н., доцент, завідувач кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем;

**Юрій ШРАМКО**, к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем;

**Ірина СМІРНОВА**, к.е.н., доцент, завідувач кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень;

**Олена ЛАТИШЕВА**, к.е.н., доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень;

**Олег КРУЖИЛКО**, д.т.н., професор, професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля;

**Марина ТАВРЕЛЬ**, старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля;

**Наталія КАЙДАН**, к.ф.-м.н., доцент, завідувач кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін;

**Наталія ГРУДКІНА**, д.т.н., доцент, професор кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін

**Start in Science: студентська науково-технічна конференція : збірник тез**  
S81 і анотацій наукових доповідей. – Одеса : Олді+, 2025. – 350 с.

ISBN 978-617-8559-69-4

До збірника увійшли матеріали, у яких обговорюються перспективні науково-технічні розробки молодих науковців прикладного характеру.

УДК 001.892(062.552)

ISBN 978-617-8559-69-4

© ТОВ «ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025

## СЕКЦІЯ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ

ОЦІНКА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ	
<i>Алексеева О. Є., Пашинський В. В.</i> . . . . .	12
ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ СТАЛІ 110Г13Л ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ КОНУСНИХ ДРОБАРОК	
<i>Горбатюк Я. О., Бокайчук В. В.</i> . . . . .	15
ДОСЛІДЖЕННЯ НАПЛАВЛЕНОЇ КОМПОЗИЦІЇ 110Г13Л+65Х23Г12НЗ	
<i>Гуль К. В., Бойко І. О.</i> . . . . .	17
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ГОРЛОВИН МАЛОГО ДІАМЕТРА МЕТОДОМ РОТАЦІЙНОЇ ОБКАТКИ	
<i>Лісняк Д. О., Кулік Т. О.</i> . . . . .	20
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ	
<i>Попова О. Ю., Пашинський В. В.</i> . . . . .	23
ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ УСТАНОВОК ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ДЛЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ВОГNETРИВКИХ ФУТЕРОВОК	
<i>Смоляга В. Г., Пашинський В. В.</i> . . . . .	26
ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ РОЛИКІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАДІЙНІСТЬ КОНВЕЄРНИХ СИСТЕМ	
<i>Стеценко С. А., Кулік Т. О.</i> . . . . .	29
МОДЕЛЮВАННЯ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЧАСТИНОК ПРИ ВІДНОВЛЕННІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ	
<i>Топоров А. А., Пашинський В. В.</i> . . . . .	33
МАТЕРІАЛИ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛІВ: СТРУКТУРА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ	
<i>Головаха К. Е.</i> . . . . .	36
НОВІ МАТЕРІАЛИ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ	
<i>Кулаков М. С.</i> . . . . .	38

## СЕКЦІЯ МЕТАЛУРГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

АКТУАЛЬНІ НАПРЯМИ СОЦІАЛЬНОЇ РОБОТИ	
<i>Біла Г. В., Щербань О. Д.</i> . . . . .	40
ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ COLD-BOX ТА ХТС-ПРОЦЕСІВ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА	
<i>Бушуй Н. М., Пашинський В. В.</i> . . . . .	44

---

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ ПРОКАТКИ ПРОФІЛЮ Ø 75 ММ НА ТЗС ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	
<i>Варицький В. Р., Штода М. М.</i> . . . . .	47
ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗШИРЕННЯ КРУГЛИХ ПІДКАТІВ В ОВАЛЬНИХ КАЛІБРАХ	
<i>Гриценко К. Г., Самохвал В. М.</i> . . . . .	50
АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА ЗА РАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЙОГО В АГЛОМЕРАЦІЙНІЙ ШИХТІ	
<i>Єсіна Ю. П., Бойко М. М.</i> . . . . .	55
ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АГЛОМЕРАТУ	
<i>Залужна В. П., Кухар В. В.</i> . . . . .	58
ОЦІНКА ВПЛИВУ МЕТОДІВ ПІДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ НА ЯКІСТЬ АГЛОМЕРАТУ	
<i>Залужний С. О., Кухар В. В.</i> . . . . .	62
БЕЗПЕКА ОФІСНИХ СИСТЕМ ЯК ФАКТОР ПРОДУКТИВНОСТІ	
<i>Крохальов О. О., Полупан В. Г.</i> . . . . .	65
ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ СІРКИ В СТАЛІ	
<i>Литвиненко О. В., Малій О. Г.</i> . . . . .	68
SWOT-АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ НАК «НАФТОГАЗ УКРАЇНИ»	
<i>Мельник К. С., Щербань О. Д.</i> . . . . .	70
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРІВ ПІДКАТУ ДЛЯ ДРОТЯНОГО БЛОКУ НА ТОЧНІСТЬ ПРОФІЛЮ ПО ДОВЖИНІ МОТКУ КАТАНКИ	
<i>Нагорна Т. В., Штода М. М.</i> . . . . .	73
АНАЛІЗ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У СТАЛІ	
<i>Перехода С. С., Малій О. Г.</i> . . . . .	77
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ НА РОЛИКОПРАВИЛЬНИХ МАШИНАХ	
<i>Пожидаєв А. В.</i> . . . . .	80
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ДОБАВОК ДО ДУТТЯ В УМОВАХ ДОМЕННОГО ЦЕХУ ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	
<i>Пронін І. М., Бойко М. М.</i> . . . . .	83
КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗА ПРИНЦИПОМ «ВІД ПЕЧІ ДО СЕРТИФІКАТА» В УПРАВЛІННІ ВЗАЄМОДІЄЮ З КЛІЄНТОМ	
<i>Стебунов О. О., Шкрабак І. В.</i> . . . . .	86
АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВІДХОДІВ У ПРОЦЕСІ АГЛОМЕРАЦІЇ	
<i>Цибульський П. Г., Кухар В. В.</i> . . . . .	89

---

---

ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ ПОТРЕБИ У СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІЙ ПІДТРИМЦІ ВИМУШЕНИХ МІГРАНТІВ ПРИ ПРАЦЕВЛАШТУВАННІ В КРАЇНІ ТИМЧАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ	
<i>Чанглі К. М., Шкрабак І. В.</i> . . . . .	93
ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АГЛОМЕРАЦІЇ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ КІЛЬКОСТІ ЗАЛІЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТУ В ШИХТІ	
<i>Ягольник М. В., Павловська Г. Ю.</i> . . . . .	96

### СЕКЦІЯ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ

ЗАСТОСУВАННЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В ГЕОЛОГІЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН	
<i>Бугайов А. П., Кошовий М. А.</i> . . . . .	99
УДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМИ РУДОПІДГОТОВКИ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ КРИВБАСУ	
<i>Журавльов В. М., Левченко К. А.</i> . . . . .	102
ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ КОЛІСНОГО КАР'ЄРНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ПЕРШОТРАВНЕВОГО КАР'ЄРУ ПРАТ «ПІВНІЧНИЙ ГЗК»	
<i>Золотарьов В. І., Каменець В. І.</i> . . . . .	105
БАГАТОРІВНЕВИЙ КОНТРОЛЬ СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ТА ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ НА БАЗІ ГІС K-MINE	
<i>Кириченко І. Г., Бруї Г. В.</i> . . . . .	108
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЯВІВ ДЕФОРМАЦІЇ ПІДОШВИ В ПІДГОТОВЧИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ	
<i>Кирсанов О. Л.</i> . . . . .	112
ІННОВАЦІЙНІ СТРАТЕГІЇ ПІДПРИЄМНИЦТВА В НАФТОГАЗОВІЙ ТА ГІРНИЧОДОБУВНІЙ ГАЛУЗЯХ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	
<i>Колядич В. М., Контурова С. М.</i> . . . . .	116
ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ ПІДНЯТТЯ ПІДОШВИ ВИРОБОК У ДРІБНОШАРУВАТОМУ ГІРСЬКОМУ МАСИВІ	
<i>Кухаренко А. О.</i> . . . . .	119
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗОН ЗСУВУ	
<i>Мітченко Д. В.</i> . . . . .	123
РОБОТА ВИРОБНИЧИХ ПІДРОЗДІЛІВ ПРАТ «ІНГЗК» В УМОВАХ НЕПОВНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА	
<i>Москот А. А., Каменець В. І.</i> . . . . .	126

РЕКОНСТРУКЦІЇ ПІДЗЕМНОЇ ОПОРНОЇ МАРКШЕЙДЕРСЬКОЇ МЕРЕЖІ ГОРИЗОНТУ 265 М ШАХТИ «ДНІПРОВСЬКА» ВСП «ШУ «ДНІПРОВСЬКЕ» ПРАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»	
<b>Новицький Г. А., Волокітін В. С., Назаренко В. О.</b> . . . . .	130
ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ ГЕОТЕХНІЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ У ГІБРИДНУ СТОХАСТИЧНУ МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ	
<b>Пилипчук Д. І.</b> . . . . .	133
ОСОБЛИВОСТІ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	
<b>Рачинський Р. К.</b> . . . . .	135
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУХОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ІНГУЛЕЦЬКОГО ГЗК	
<b>Стрельцова О. М.</b> . . . . .	136
ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ЗМІННИХ ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ ФАКТОРІВ	
<b>Султанов М. В.</b> . . . . .	139
ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОСУ БРОНІ КУЛЬОВИХ МЛИНІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ	
<b>Червятюк С. В., Левченко К. А.</b> . . . . .	142

**СЕКЦІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ,  
ЕЛЕКТРО- ТА РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

ДО ПИТАННЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У МЕРЕЖІ ЦЕХОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	
<b>Азізов Т. М., Бездітко М. В.</b> . . . . .	146
ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ШИН АВТОМОБІЛЯ БЕЛАЗ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
<b>Балинський В. Р., Цимбал Б. М.</b> . . . . .	150
СТАН І ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДНИХ СИСТЕМ БУРОВИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ КАР'ЄРІВ КРИВБАСУ	
<b>Дифорт В. В., Павлишин С. В., Павлишина О. Ю., Хілов В. С.</b> . . . . .	152
ОСОБЛИВОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВІЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ВНУТРІШНІХ СТІНОК ЗМІЙОВИКА ХОЛОДИЛЬНИКА ДЛЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА	
<b>Карпенко А. Ю., Цимбал Б. М.</b> . . . . .	155
РОЗРОБКА МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ БПЛА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНОГЕННИХ РИЗИКІВ У ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	
<b>Карявкіна Н. С., Цимбал Б. М.</b> . . . . .	158

ПОКРАЩЕННЯ ДИНАМІКИ ТИРИСТОРНОГО ПРИВОДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ШЛАКОВОЗУ КОНВЕРТОРНОГО ЦЕХУ ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛ»	
<i>Косенко Р. Г., Сніговий Д. В., Хілов В. С.</i> . . . . .	160
ПОБУДОВА СУЧАСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В РОБОТИЗОВАНОМУ КОМПЛЕКСІ	
<i>Марчук О. В., Корма Д. С., Пухальська О. М.</i> . . . . .	163
ОСНОВНІ НАПРЯМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ГІРНИЧОЇ МАСИ В УМОВАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ	
<i>Рябченко А. А., Сімкін О. І.</i> . . . . .	169

### **СЕКЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОЄКТНО-АНАЛІТИЧНИХ РІШЕНЬ**

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ АДАПТАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ	
<i>Андреев Є. С., Смирнова І. І.</i> . . . . .	173
ФАКТОРИ ТА МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА АКТИВІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ ТА В ПЕРІОД ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ	
<i>Андреева К. С., Латишева О. В.</i> . . . . .	177
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОДАЖІВ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КЛІЄНТСЬКОЇ БАЗИ	
<i>Барабаш Р. Ю., Жерліцин Д. М.</i> . . . . .	182
АГЕНТНІ МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ПОБУДОВИ АДАПТИВНИХ ЦИФРОВИХ СЕРВІСІВ	
<i>Карпенко М. О., Гетьман І. А.</i> . . . . .	185
ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ НА ЗАГАЛЬНЕ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ПРИ ПРИМУСОВІЙ ЗУПИНЦІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ У ПРОСТІЙ НА ЗУПИНЕНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	
<i>Лісютенко І. Ю.</i> . . . . .	188
РОЛЬ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ ТА ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ	
<i>Качура І. В., Латишева О. В.</i> . . . . .	191
ОПИС ТА ОЦІНКА ПОСАД ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СОЦІАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ»	
<i>Мельник К. С., Латишева О. В.</i> . . . . .	194
ІНТЕГРОВАНЕ ЗАПОБІГАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПРОМИСЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ В АГЛОМЕРАЦІЙНОМУ ЦЕХУ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА	
<i>Міняйло Д. О., Латишева О. В.</i> . . . . .	197

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ ГАЗУ НА ВИРОБНИЧІЙ ДІЛЯНЦІ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА <i>Подобний А. Д., Латишева О. В.</i> . . . . .	202
РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ЛИСТОПРАВИЛЬНИХ МАШИН <i>Савенков Д. О., Гетьман І. А.</i> . . . . .	205
ПРЕДИКТИВНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВУГЛЕДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА <i>Ситенко В. А.</i> . . . . .	209
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА МЕТОДІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ЛОГІСТИКИ КОРПОРАТИВНИХ ВІДРЯДЖЕНЬ І ПЕРЕМІЩЕНЬ СПІВРОБІТНИКІВ КОМПАНІЇ <i>Ткачук А. В., Гетьман І. А.</i> . . . . .	213
ПІДГОТОВКА ПРОЄКТУ СТАЛОГО РОЗВИТКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ ПРОЄКТНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ <i>Трусова А. О., Латишева О. В.</i> . . . . .	216
ОПЕРАЦІЙНІ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГЗК ЗАВДЯКИ ВПРОВАДЖЕННЮ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ ІІОТ І ЇХ ІНТЕГРАЦІЄЮ З MES <i>Чуприков С. В., Мінець О. Ю.</i> . . . . .	220
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ESG-СТАНДАРТІВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В УМОВАХ ТОВ «МЕТІНВЕСТ-ШІППІНГ» <i>Шульга С. Д., Латишева О. В.</i> . . . . .	223

### **СЕКЦІЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ**

ВПЛИВ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ <i>Авласьонюк К. І., Масловський К. С., Максимова Н. М.</i> . . . . .	227
СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ В УМОВАХ ЕПІДЕМІЙ <i>Гончаров А. Р., Майстренко В. В.</i> . . . . .	230
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН ПРИ РОБОТІ ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ, ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ТА ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОГО ВИКОНАННЯ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ <i>Дроник Т. В., Кружилко О. Є.</i> . . . . .	233
НОВА ЕПОХА ПРОФЕСІЙНИХ ХВОРОБ: ВІД ВИКЛИКІВ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА ДО ІННОВАЦІЙНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ <i>Железняк Є. М., Шароватова О. П.</i> . . . . .	236

---

АНАЛІЗ СКЛАДУ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ НА ПРИКЛАДІ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ <i>Железняк Є. М., Максимова Н. М.</i> . . . . .	240
РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ ДАНИХ АУДИТУ РОБОЧОГО МІСЦЯ МАШИНІСТА КРАНА <i>Золотарьова І. О., Володченко Н. В., Чеберячко Ю. І.</i> . . . . .	243
ВПЛИВ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРАЦІВНИКІВ НА ДОТРИМАННЯ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ <i>Льїна Д. І., Майстренко В. В.</i> . . . . .	247
СПОСІБ ЖИТТЯ ЯК МОДИФІКАТОР ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ: ВІД ЗВИЧОК ДО НАСЛІДКІВ <i>Коробкіна Н. А., Шароватова О. П.</i> . . . . .	251
ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПСИХОСОЦІАЛЬНИМИ РИЗИКАМИ В СТРУКТУРУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ <i>Кравчук І. В., Кружилко О. Є.</i> . . . . .	254
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРСОНАЛУ В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ ПРЕДМЕТАМИ <i>Кравчук І. В., Кружилко О. Є.</i> . . . . .	257
ЗАХОДИ З МІНІМІЗАЦІЇ ВПЛИВУ НА ПОВІТРЯ ПРИ НАВАНТАЖУВАЛЬНО- РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБОТАХ НА ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОМУ КОМБІНАТІ <i>Кукса Р. К., Максимова Н. М., Романь А. М.</i> . . . . .	260
РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ НА ПІДПРИЄМСТВІ <i>Лубінець М. М., Майстренко В. В.</i> . . . . .	262
ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АСПІРАЦІЇ ТА ГАЗООЧИСНОЇ УСТАНОВКИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА <i>Манахова Г. О., Максимова Н. М., Накемній О. К.</i> . . . . .	266
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА КОКСОХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ <i>Мінченкова А. Г., Накемній О. К.</i> . . . . .	271
ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ РОЗЛИВУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН У КОНТЕКСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ <i>Міняло Д. О., Чеберячко Ю. І.</i> . . . . .	275
ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ МІННОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНОГО КАЛЬКУЛЯТОРА ДЛЯ ОЦІНКИ БЕЗПЕЧНОЇ ДИСТАНЦІЇ <i>Моїсєєв Є. О., Чеберячко С. І., Чеберячко Ю. І.</i> . . . . .	281

---

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ ЗАМКНЕНИМ ЦИКЛОМ ВОДОПОСТАЧАННЯ <i>Савенко К. Р., Накемпій О. К.</i> . . . . .	285
ПЕРСОНІФІКОВАНА ПРЕВЕНЦІЯ: НОВІТНІЙ ПІДХІД У ЗАПОБІГАННІ ПРОФЕСІЙНИМ ЗАХВОРЮВАННЯМ <i>Сердюк О. С., Шароватова О. П.</i> . . . . .	289
ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ <i>Халепа Ю. В., Цимбал Б. М.</i> . . . . .	292
ОГЛЯД ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ЗДІЙСНЕННЯ МАСОВИХ ВИБУХІВ ТА ЗАХОДІВ ПО ЗНИЖЕННЮ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН <i>Чиж А. А., Максимова Н. М.</i> . . . . .	295
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРГОНОМІЧНИХ АСПЕКТІВ ПРОЄКТУВАННЯ РОБОЧИХ МІСЦЬ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ <i>Чуприна Н. А., Цимбал Б. М.</i> . . . . .	299
МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ РОЗСІЮВАННЯ <i>Шапошникова К. С., Каракай М. С., Чеберячко Ю. І.</i> . . . . .	302
ПСИХОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРАЦІВНИКІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ <i>Штукіна В. В., Цимбал Б. М.</i> . . . . .	306

**СЕКЦІЯ ПРИРОДНИЧО-НАУКОВИХ  
ТА ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН**

METHOD OF EXPONENTIAL ESTIMATION OF ASINCHROMOUS MOTOR PARAMETERS <i>Horb I. O., Dmytryshyn I. S.</i> . . . . .	309
ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЛОГІЧНОГО МИСЛЕННЯ <i>Дрягліт О. О., Величко В. Є.</i> . . . . .	312
ВИКОРИСТАННЯ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON ДЛЯ РОБОТИ З ЧИСЛОВИМИ РЯДАМИ <i>Кайдан Є. В.</i> . . . . .	316
МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРИКЛАДІ ДИНАМІКИ СТУДЕНТСЬКОЇ ЧИСЕЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ <i>Колесников Д. О., Грудкіна Н. С.</i> . . . . .	318
ІНТЕРАКТИВНА АНАЛІТИКА В EXCEL: ПРАКТИЧНІ НАВИЧКИ СТУДЕНТІВ У ДИСЦИПЛІНІ «ПРОДУКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ОФІСНИХ СИСТЕМ» <i>Овдiснко М. Є., Кайдан Н. В.</i> . . . . .	321

---

РОЛЬ ОНЛАЙН-СИМУЛЯЦІЙ З ФІЗИКИ У ФОРМУВАННІ АЛГОРИТМІЧНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ»	
<i>Рачук Б. С., Кайдан В. П.</i> . . . . .	325
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ФІЗИЧНОЇ РЕЧОВИНИ РЕАЛЬНИЙ ГАЗ З ТЕОРЕТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ	
<i>Селянський О. О., Колесников С. О.</i> . . . . .	328
ВИКОРИСТАННЯ ПОХІДНИХ У РОЗВ'ЯЗАННІ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ МЕТАЛУРГІЇ	
<i>Софронов С. В., Щенсевич О. В.</i> . . . . .	332
ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ МЕТОДОМ КВАЙНА-МАК-КЛАСКІ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ	
<i>Сурова І. П., Щенсевич О. В.</i> . . . . .	335
МАРЛЕ ЯК ІНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНО-МАТЕМАТИЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ	
<i>Чередник С. М., Грудкіна Н. С.</i> . . . . .	338
СТИМУЛЮВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОФЕСІЙНО-ОРІЄНТОВАНИХ ЗАДАЧ ТА СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОЇ МАТЕМАТИКИ	
<i>Чехута О. В., Грудкіна Н. С.</i> . . . . .	341
СУЧАСНІ ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ НА УРОКАХ ІНФОРМАТИКИ В НОВІЙ УКРАЇНСЬКІЙ ШКОЛІ	
<i>Шапошник А. С., Глазова В. В.</i> . . . . .	344
ОНЛАЙН-СИМУЛЯЦІЇ ЯК ЗАСІБ ПОДОЛАННЯ АБСТРАКТНОСТІ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ У СТУДЕНТІВ	
<i>Яценко С. В., Кайдан В. П.</i> . . . . .	347

# СЕКЦІЯ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ

## ОЦІНКА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ

**Алексеева О. Є.**

*студентка гр. МЗ-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Пашинський В. В.**

*д.т.н., доцент, завідувач кафедри*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Проблема довговічності та надійності теплових агрегатів коксохімічної промисловості має стратегічне значення для економіки України. Руйнування вогнетривкої футерівки призводить до порушення технологічних режимів, зниження якості продукції та значних екологічних збитків через розгерметизацію кладки. У цьому контексті розробка ефективних технологій ремонту та відновлення є першочерговим завданням.

Перспективним напрямком є застосування методу холодного газодинамічного напилення (ХГДН) для створення захисних та відновлювальних покриттів [1]. Цей метод дозволяє формувати щільні шари матеріалу без значного термічного впливу на основу, що є критично важливим для вогнетривких матеріалів [2]. Однак ефективність та довговічність таких покриттів безпосередньо залежать від комплексу їхніх фізико-механічних властивостей, зокрема твердості, адгезійної міцності та зносостійкості [3]. Таким чином, виникає науково-технічна задача проведення комплексних експериментальних досліджень, спрямованих на встановлення кореляційних зв'язків між умовами процесу та властивостями фінального покриття.

У рамках дослідження [4] проводилася оцінка фізико-механічних властивостей функціональних покриттів, що визначають їхню експлуатаційну надійність:

- твердість – здатність матеріалу чинити опір пластичній деформації при локальному контактному впливі;
- адгезійна міцність – сила зчеплення між нанесеним покриттям та поверхнею підкладки;
- пористість – наявність пор у структурі покриття, що впливає на його захисні властивості та міцність;
- зносостійкість – здатність покриття протистояти руйнуванню під дією механічного зносу.

Методологія включала аналіз гранулометричного складу вихідних порошкових матеріалів (діоксиду титану  $TiO_2$  та оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ ) та напилення покриттів на зразки шамотного вогнетриву. Оцінка якості отриманих покриттів, зокрема їх мікроструктури, морфології та здатності заповнювати дефекти, здійснювалася за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM).

Найбільш високу ефективність показало напилення оксиду алюмінію ( $Al_2O_3$ ). Це пояснюється тим, що  $Al_2O_3$  є природним компонентом шамоту (30–45 % за масою), що створює сприятливі умови для хімічної та механічної спорідненості матеріалів та забезпечує високу адгезію. Покриття з  $Al_2O_3$  успішно заповнювало дефекти, від мікротріщин шириною 2–3 мкм до пор розміром до 40 мкм, і демонструвало високу стійкість, залишаючись неушкодженим навіть після 10-хвилинної інтенсивної ультразвукової обробки.

При напиленні діоксиду титану ( $TiO_2$ ) виникли технологічні труднощі. Висока адгезійна здатність самого порошку призводила до його налипання на стінках системи подачі (зокрема, у шнековому диспергаторі), що спричиняло нестабільність процесу та періодичні зупинки обладнання. Це негативно впливало на однорідність та якість фінального покриття.

Фізико-механічні характеристики покриттів, отриманих методом ХГДН, критично залежать від науково обґрунтованого вибору

порошкового матеріалу та оптимальних режимів напилення. Неправильний вибір може призвести до ерозії підкладки або нестабільності технологічного процесу.

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що для ремонту та відновлення шамотних вогнетривких футеровок найбільш ефективним є використання порошку оксиду алюмінію ( $Al_2O_3$ ). Цей матеріал забезпечує високу адгезійну міцність завдяки структурній та хімічній сумісності з підкладкою, а також дозволяє якісно заповнювати поверхневі дефекти, що є ключовою вимогою для відновлювальних покриттів.

### **Перелік використаних джерел**

1. Papyrin, A.; Kosarev, V.; Klinkov, S.; Alkhimov, A.; Fomin, V. Cold Spray Technology; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2007.
2. Schmidt, K.; Buhl, S.; Davoudi, N.; Godard, C.; Merz, R.; Raid, I.; Kersch, E.; Kopnarski, M.; Müller-Renno, C.; Ripperger, S.; Seewig, J.; Ziegler, C.; Antonyuk, S. Ti surface modification by cold spraying with  $TiO_2$  microparticles. Surface and Coatings Technology 2016.
3. Li, W.-Y.; Zhang, C.; Guo, X. P.; Zhang, G.; Liao, H. L.; Li, C.-J.; Coddet, C. Effect of standoff distance on coating deposition characteristics in cold spraying. Materials & Design 2008, 29 (2), 297–304.
4. Aleksieieva, O.; Bozoglu, M.; Tretiakov, P.; Toporov, A.; Antonyuk, S. (2024). Modification of the Surface of Refractory Materials by Cold Gas-Dynamic Spraying. In: Barros, J. A. O., Kaklauskas, G., Zavadskas, E. K. (eds) Modern Building Materials, Structures and Techniques. MBMST 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 392. Springer, Cham.

## ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ СТАЛІ 110Г13Л ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ КОНУСНИХ ДРОБАРОК

**Горбатюк Я. О.**

*студентка гр. МЗ-23-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Бокайчук В. В.**

*студентка гр. МЗ-23-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сталь 110Г13 широко використовується в промисловості для виготовлення деталей, від яких потрібна висока зносостійкість у важких умовах ударно-абразивного зношування [1].

Зносостійкість сталі 110Г13 виникає тільки внаслідок специфічної здатності саме марганцевистого аустеніту до дуже сильного зміцнення при пластичній деформації. Твердість марганцевистого деформованого аустеніту може досягати 600 НВ, що близько до твердості мартенситу. При цьому він в ньому виникає специфічна двійникова структура, яка виглядає як пакети паралельних ліній, що перетинаються під певними кутами.

При введенні до складу сталі 11 % марганцю (і більше) аустеніт залишається стабільним до кімнатних температур. Однак можуть відбуватися 2 процеси:

1. Вторинний цементит все-таки може виділитися в невеликій кількості. При цьому він випадає на границях зерен аустеніту.

2. Через неоднорідного розподілу марганцю (явище дендритної ліквациї) у місцях, збіднених марганцем, створюються умови більш інтенсивного виділення карбідів. Так вони можуть формувати скупчення.

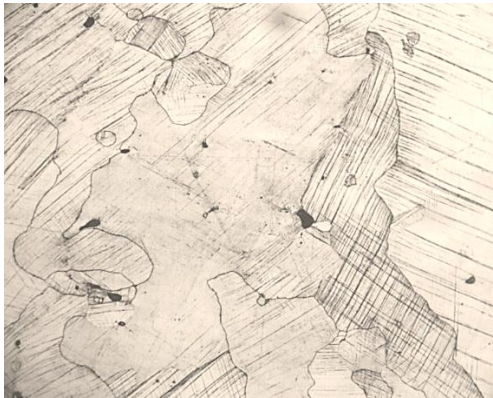
Тому в литій сталі формування деякої кількості карбідної фази – неминуче явище. Оскільки карбіди дрібні і можуть виділятися по границях зерен, це полегшує руйнування металу саме по границях. Крім того, їх виділення свідчить про протікання

процесів ліквідації, отже, про нерівномірний розподіл марганцю, а значить, збіднені марганцем ділянки можуть гірше наклепуватися у майбутньому.

Тому сталь піддають високотемпературному нагріванню в область, де всі карбіди при витримці розчиняться в аустеніті і сталь набуде однофазної пластичної структури. Температура нагріву становить 1050-1150 °С, точно значення підбирається дослідним шляхом, але загальна закономірність – чим вищий вміст вуглецю, тим вище температура нагріву. При цій температурі не тільки розчиняються карбіди, а й за рахунок дифузії зменшується неоднорідність розподілу марганцю.

Тому якщо температура і час витримки достатні для розчинення карбідів і вилівок буде охолоджуватися досить швидко, щоб вони не виділилися знову, буде отримана необхідна структура – однофазний аустеніт без карбідів. На практиці їх деяка кількість може зберегтися, тому після охолодження потрібен металографічний контроль.

Проведені дослідження показали, що структура виливків броней конусних дробарок утворена великими аустенітними зернами. Розмір зерна становить від –1 до 3 балів. У структурі також є окремі карбіди (рис. 1).



**Рис. 1. Мікроструктура сталі 110 Г13Л після загартування та експлуатації (помітні двійники деформації),  $\times 100$**

У реальних виливках є також неметалеві включення (оксиди, сульфіді, з'єднання фосфору) і розчинені гази, з яких найшкідливішим є водень. Включення концентруються на межах зерен ще при кристалізації і також полегшують тендітне руйнування металу по межах. Боротися з ними можна лише удосконалюючи технологію виплавки. Зараз нормативна документація не регламентує вміст цих включень. Тому необхідні додаткові дослідження для визначення допустимих меж їх присутності.

### **Перелік використаних джерел**

1. Masoud Sabzi, Mansour Farzam Hadfield manganese austenitic steel: a review of manufacturing processes and properties *Materials Research Express*, Volume 6, Number 10, pp. 1002–1006. DOI 10.1088/2053-1591/ab3ee3

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НАПЛАВЛЕНОЇ КОМПОЗИЦІЇ 110Г13Л+65Х23Г12НЗ**

**Гуль К. В.**

*студент гр. ПМн-24-1п*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Бойко І. О.**

*к.т.н., доцент*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасний стан гірничо-видобувної, переробної, дорожньої, будівельної та інших секторів промисловості України може суттєво вплинути на попит на вкриті електроди, які здатні до використання при веденні зварювально-відновлювальних робіт сталей типу 110Г13 та її аналогів. Основні області застосування – це деталі гірничо-видобувної, переробної та залізничної тематики:

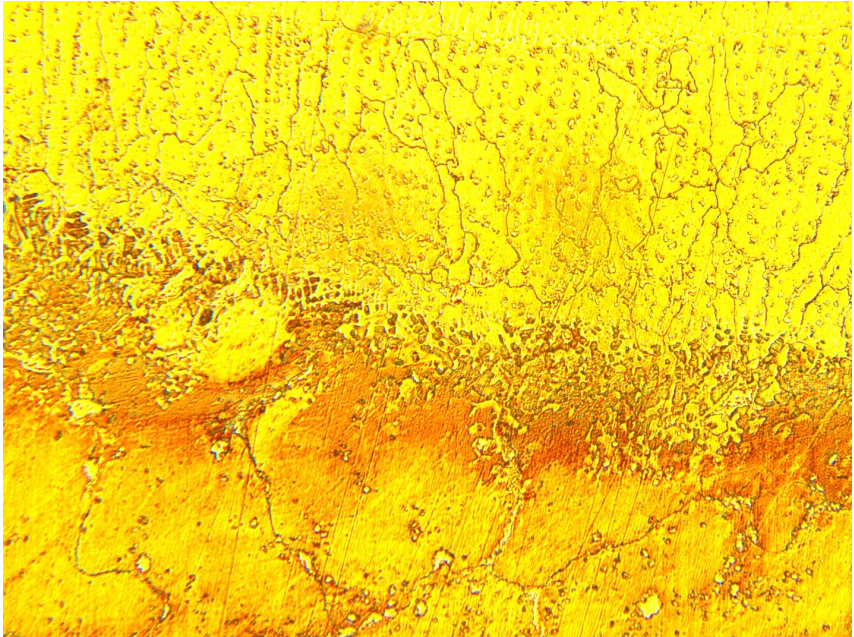
дробильні кліщі, біла, броні і ролики, конуси і корпуси роторних та шоківих дробарок, зуби екскаваторів, гусеничні траки, а також залізничні хрестовини. Необхідну твердість наплавлений метал набуває після операції холодного механічного зміцнення (наклепу) або в процесі експлуатації, коли поверхня піддається інтенсивним ударним навантаженням [1].

Зниження шкідливих домішок в основному металі часто ускладнене з огляду на низку металургійних особливостей виплавки цієї сталі, а часткове їхнє виведення з металу шва здійснюється завдяки рафінуванню ванни в результаті взаємодії кальцієвих з'єднань шлаку і розплавленого металу. Очевидно, що успішне зварювання і наплавлення сталі Гадфільда, як і низки сталей аустенітного класу, є свого роду компромісом між забрудненістю наплавленого металу шкідливими домішками та величиною зерен, а також гомогенністю наплавленого металу, пов'язаною з нерівномірним розподілом легувальних елементів у наплавленому металі. Проблема нерівномірного розподілу легувальних елементів у металі шва під час наплавлення високовуглецевих сталей здебільшого пов'язана з нерівномірністю плавлення електродного покриття, яке періодично буквально «обсипається» шматками у ванну і не встигає в ній розчинитися. Це пов'язано з використанням як вуглецеоутворюючого компонента електродних покриттів графіту, що істотно погіршує плавлення покриття електрода при введенні в кількостях більше 2 % [2].

Композиція досліджувального наплавленого металу відповідає сталі X65Cr23Mn12Ni3. В якості вуглецьутворюючого компоненту наплавочного матеріалу взятий графіт марки ГК-1 із зольністю приблизно 1%. Головними компонентами шлакової системи є CaO, CaF<sub>2</sub>, MnO. Газоутворення при наплавленні відбувається головним чином при термічній дисоціації мармуру марки KM-315 під час протікання дугового процесу. Основне легування проводиться стержнем електрода. Решта частини легуючої системи забезпечується «чистими порошками»: металевим хромом марки X98,5, металевим марганцем Mn-95 та порошком нікеля

ПНЕ-1, що дозволяє додатково зменшити кількість шкідливих домішок включень в наплавленому металі.

*Дослідження мікроструктури наплавленого металу (рис. 1) проводилося за допомогою металографічного мікроскопа Leits. Травлення зразка проводили у 20 % царської водки протягом 30 сек. Температура зразка складала 20–30 градусів Цельсія.*



**Рис. 1. Мікроструктура межі сплавлення наплавленого металу (×160)**

*Проведені дослідження підтвердили можливість використання металу типу X65Cr23Mn12Ni3 та були реалізовані при проєктуванні вкритих електродів для зварювання та наплавлення деталей зі сталі Гадфільда згідно діючого в Україні стандарту ДСТУ EN 14700:2019 «Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення» [4]*

### **Перелік використаних джерел**

1. Pashinskiy V. V., Boiko I. O. Study of the influence of the increased carbon content in electrodes on structure and properties of the welding seam during welding of 110G13 steel. *Technology Audit and Production Reserves*. 2021. № 4/3 (60). P. 14–17. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.237358>
2. Бойко І. О., Пашинський В. В., Ерьомкін Є. А. Електроди для ручного дугового зварювання сталі 110Г13 з вуглецевими стрижнями. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС –2021)* : матеріали тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26–27 травня 2021 р.). у 2 т. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. Т. 2. С. 44.
3. Shalay V. O., Petrenchik I. V., Boyko I. O. Improving the homogeneity of metastable austenite when surfacing parts made of 110G13 steel. *International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. P. 212–215. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-73>
4. ДСТУ EN 14700:2019 Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення (EN 14700:2014, IDT).

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ГОРЛОВИН МАЛОГО ДІАМЕТРА МЕТОДОМ РОТАЦІЙНОЇ ОБКАТКИ**

**Лісняк Д. О.**

студент гр. ПМі-23-1п

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

м. Запоріжжя, Україна

**Кулік Т. О.**

к.т.н.

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

м. Запоріжжя, Україна

Формування горловин малого діаметра на трубних заготовках є одним із ключових етапів виготовлення моноблочних корпусів

роликів стрічкових конвеєрів, оскільки від геометричної точності та термомеханічних умов формозміни залежать герметичність, міцність і довговічність роликів опор. Традиційні методи механічної обробки не забезпечують отримання довгих горловин відносно діаметра та формують концентратори напружень у перехідних зонах, що знижує ресурс деталі. Зварні шви та додаткові елементи також створюють ослаблені ділянки й погіршують втомну міцність.

Ротаційна обкатка (spinning) як метод локальної пластичної деформації набула поширення як високотехнологічний спосіб отримання точних і малодефектних горловин. Технологія передбачає послідовне деформування металу обкатними роликами, що обертаються навколо заготовки та створюють контрольовані пластичні зсуви й осаджування матеріалу (рис. 1).



**Рис. 1. Етапи формування горловини [1]**

Особливістю процесу є інтегрований вплив сил тертя, контактних напружень і термомеханічних ефектів, що визначають кінцеву форму та структуру металу в зоні горловини. Як показано у роботах [1, 2], термомеханічний стан металу під час ротаційної обкатки має суттєвий вплив на якість формоутворення, рівномірність товщини стінки та стійкість процесу.

Горловини малого діаметра мають жорсткі геометричні вимоги: їхній діаметр зазвичай становить 0,18–0,30 від діаметра трубчатой заготовки, а довжина може перевищувати діаметр у 1,5–2,5 рази. Крім того, перехідна зона між основним діаметром труби та горловиною повинна мати плавний радіус, що мінімізує концентрацію напружень і забезпечує підвищену втомну міцність.

У традиційних конструкціях роликів такі елементи неможливо отримати без застосування зварювання або складних механічних операцій, тоді як ротаційна обкатка дозволяє формувати їх пластичною деформацією без використання додаткових деталей та без впливу високих температур.

Однією з основних технологічних особливостей процесу є його стохастичний характер. Формоутворення залежить від параметрів обладнання, структури металу, умов контакту та локального нагрівання. Одночасна зміна товщини стінки, радіуса вигину, кута контакту та температури ускладнює точний аналітичний опис. Ефективним підходом є теорія подібності, що групує фактори у комплексні критерії та зменшує кількість незалежних змінних, дозволяючи оцінити вплив швидкості, зусилля й температури на формозміну.

Через це одним із найбільш ефективних підходів до аналізу процесу є застосування теорії подібності, що дозволяє групувати окремі фактори у комплексні критерії і скорочувати кількість незалежних змінних. Формування безрозмірних параметрів дає змогу оцінювати вплив швидкості, зусилля та температури на результат формозміни незалежно від абсолютних розмірів заготовки.

Перспективним напрямом дослідження є використання методів імітаційного моделювання у спеціалізованих програмних комплексах. У даній роботі для стохастичного аналізу процесу ротаційної обкатки застосовано програмне забезпечення QForm, яке дозволяє виконувати статистичне моделювання з урахуванням варіацій технологічних параметрів. QForm формує вибірку результатів на основі випадкових та квазівипадкових збурень початкових умов, що дає змогу отримати статистичний розподіл геометричних параметрів горловини, оцінити можливі відхилення та визначити ймовірність виникнення дефектів. Стохастичні симуляції в QForm дозволили виявити критичні комбінації параметрів, які призводять до нерівномірності товщини стінки, появи локальних складок або перевищення пластичних деформацій, здатних спричинити мікротріщини.

Таким чином, аналіз технологічних особливостей формування горловин малого діаметра методом ротаційної обкатки

підтверджує його ефективність. Поєднання пластичної деформації, контрольованої термомеханіки та моделювання забезпечує отримання деталей із високими експлуатаційними характеристиками та мінімальною кількістю дефектів. Ротаційна обкатка створює умови для широкого застосування моноблочних корпусів роликів і підвищення ресурсу конвеєрного обладнання.

### **Перелік використаних джерел**

1. Kulik Tetyana. Kinematic Analysis of Workpiece Rotation Effects on Pipe Neck Formation via Friction-Based Spinning. *ASAR : proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference, April 7–9, 2025, Dublin, Ireland*. Dublin : European Open Science Space, 2025. P. 88–90.
2. Кулік О. М., Кулік Т. О. Термомеханічний аспект технології отримання труб з горловиною відносно малого діаметру ротаційною обкаткою. *Литво. Металургія : матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції (28–30 травня 2024 р., Київ)*. Київ, 2024. С. 409–412.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ**

**Попова О. Ю.**

*студентка гр. МЗ-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Пашинський В. В.**

*д.т.н., доцент, завідувач кафедри*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Важливою проблемою, що обмежує широке впровадження методу холодного газодинамічного напилення (ХГДН) для ремонту вогнетривів, є наявність у структурі покриттів

різноманітних дефектів. Макро- та мікродефекти діють як концентратори напружень, знижують захисні властивості та можуть стати причиною передчасного відшарування або руйнування покриття, що нівелює весь ефект від ремонту.

Таким чином, дослідження, спрямоване на вивчення причин виникнення дефектів та розробку науково обґрунтованих заходів для підвищення якості покриттів, є надзвичайно актуальним [1,2]. Забезпечення бездефектної структури є ключовою умовою для гарантування надійності вогнетривкої кладки.

Типові дефекти, що виникають у покриттях ХГДН, можна класифікувати за їх масштабом:

- макродефекти:
  - тріщини: розриви суцільності покриття, що виникають через внутрішні напруження;
  - відколи: локальні руйнування на краях або поверхні покриття;
  - раковини: об'ємні порожнини, що утворюються внаслідок нестабільної подачі матеріалу.
- мікродефекти:
  - пористість: наявність дрібних пор між окремими частинками, що знижує щільність покриття;
  - неоднорідність структури: нерівномірний розподіл частинок у об'ємі покриття.

Основною причиною виникнення дефектів є нестабільність параметрів процесу напилення [3], невідповідність властивостей вихідних матеріалів та недостатня підготовка поверхні [4].

Для контролю якості та аналізу дефектності покриттів у дослідженнях використовувалися наступні методи:

- скануюча електронна мікроскопія (SEM): дозволяє аналізувати мікроструктуру покриття, морфологію його поверхні та візуально оцінювати ефективність заповнення пор і тріщин на поверхні підкладки;
- ультразвукова обробка: використовується як метод кількісної оцінки адгезійної міцності. Стійкість покриття до інтенсивного ультразвукового впливу свідчить про високу силу зчеплення з основою.

Дослідження продемонстрували високий потенціал методу ХГДН для усунення поверхневих дефектів вогнетривів за умови правильного підбору режимів. Експериментальні дані показали, що частинки  $Al_2O_3$  здатні ефективно проникати та заповнювати пори і тріщини в зразках шамоту шириною до 40 мкм, створюючи щільний та інтегрований з основою відновлювальний шар.

Було підтверджено критичний вплив підготовки поверхні на якість фінального покриття. Попереднє очищення зразків стисненим повітрям для видалення пилу та слабкозв'язаних частинок є необхідним технологічним етапом, що забезпечує надійне механічне зчеплення першого шару покриття.

Якість покриттів ХГДН є комплексним показником, що залежить від стабільності технологічних параметрів, властивостей порошку та ретельності підготовки поверхні.

Для підвищення якості захисних покриттів для вогнетривкої кладки рекомендується:

1. Оптимізувати режими наплення (тиск, температуру, дистанцію) для кожного матеріалу з метою досягнення мінімальної пористості та максимальної щільності.

2. Використовувати порошкові матеріали, хімічно та структурно сумісні з підкладкою (наприклад,  $Al_2O_3$  для шамоту), що забезпечує найвищу адгезійну міцність.

3. Впровадити обов'язковий етап ретельної підготовки поверхні перед напленням.

Дотримання цих рекомендацій дозволить мінімізувати дефектність покриттів та суттєво підвищити довговічність відремонтованих теплових агрегатів.

### **Перелік використаних джерел**

1. Yin, F., Zhou, F., & Li, C. (2020). Microstructure, mechanical properties and quality evaluation of cold spray coatings: A review. *Journal of Materials Science and Technology*, 58, 269–285.
2. Jamil, N., Al-Jahwari, F., & Al-Maamari, M. (2021). Non-destructive testing and evaluation of cold spray coatings: A comprehensive review. *Coatings*, 11 (7), 819.

3. Zhang, Y., Chen, C., Wang, J., & Liu, B. (2017). Optimization of cold spray process parameters to minimize porosity and improve mechanical properties of metallic coatings. *Materials and Design*, 133, 1–11.
4. Sun, C., Li, S., Wang, T., & Geng, J. (2023). Experimental and numerical investigation of cold sprayed coating adhesion strength: A review. *Surface and Coatings Technology*, 457, 129377.

**ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
УСТАНОВОК ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО  
НАПИЛЕННЯ ДЛЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ  
ВОГНЕТРИВКИХ ФУТЕРОВОК**

***Смоляга В. Г.***

*студент гр. МЗ-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Пашинський В. В.***

*д.т.н., доцент, завідувач кафедри*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Метод холодного газодинамічного напилення (ХГДН) успішно пройшов етап лабораторних досліджень, довівши свою принципову ефективність. Наступним кроком є перехід до промислового впровадження технології для ремонту великогабаритних об'єктів, таких як футерівки коксових печей [1].

Однак цей перехід стримується основною проблемою: існуючі лабораторні установки мають обмежені технічні показники, зокрема низьку продуктивність та високе енергоспоживання [2]. Для ефективного ремонту великих площ потрібне обладнання нового покоління, що характеризується значно вищою продуктивністю напилення та енергоефективністю [3, 4].

Метою даної роботи є системний аналіз роботи ключових вузлів установки ХГН (сопла, нагрівача газу, системи подачі) та розробка

науково обґрунтованих технічних рішень для підвищення її ключових технічних показників. Це створює інженерну базу для проектування високоефективного промислового обладнання.

Ефективність процесу ХГН визначається трьома основними технічними показниками, кожен з яких пов'язаний з роботою конкретних вузлів установки.

Технічний показник	Визначальний вузол установки
Продуктивність напилення	Сопло Лаваля (геометрія), система подачі порошку (стабільність подачі).
Ефективність напилення	Сопло Лаваля (забезпечення швидкості), нагрівач газу (забезпечення температури).
Енергоспоживання	Нагрівач газу (основний споживач енергії), компресорне обладнання.

Сопло Лаваля є основним елементом, що відповідає за прискорення газопорошкового потоку. Його продуктивність напряму обмежується площею критичного перерізу та кутом розширення надзвукової частини. Розрахунки показують, що для типової односоплової конфігурації максимальна теоретична продуктивність напилення складає близько 250 м<sup>2</sup>/год, що є недостатнім для промислових завдань.

Багатоканальний нагрівач газу визначає енергоефективність процесу. Ключовими критеріями при його розрахунку є: забезпечення розвиненого турбулентного режиму для інтенсивного теплообміну, мінімізація гідравлічного опору для зниження навантаження на компресор та досягнення максимальної температури нагріву газу при мінімальних витратах енергії.

На основі аналізу обмежень продуктивності сопла були запропоновані наступні технічні рішення для її підвищення:

Використання багатосоппових блоків: модульна конструкція, що дозволяє одночасно обробляти великі площі або поверхні складного профілю.

Розробка багатоканальних сопел: інтегроване рішення, що формує широкий та рівномірний потік частинок, дозволяючи отримати смугу покриття заданої ширини за один прохід.

Для прискорення процесу проектування та оптимізації геометрії сопел під конкретні завдання була розроблена параметрична 3D-модель сопла Лаваля. Цей інструмент дозволяє швидко змінювати основні геометричні параметри (діаметр критичного перерізу, довжину та кут розширення) та автоматично генерувати конструкторську документацію.

Для систематизації знань була розроблена база даних (БД) установки ХГН. Вона дозволяє встановити чіткі зв'язки між конструктивними параметрами обладнання (геометрія сопла, конфігурація нагрівача), технологічними параметрами процесу (тиск, температура, витрата порошку) та фінальними властивостями отриманого покриття. БД слугує інструментом для вибору оптимальних конфігурацій та режимів роботи.

Покращення технічних показників установок ХГН досягається шляхом цілеспрямованого вдосконалення їх ключових вузлів на основі математичного моделювання та системного аналізу.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Li, C., Ch'ng, K., Chong, S. & Bao, Y. (2016). Identifying Indicators of Progress in Thermal Spray Research Using Bibliometrics Analysis. *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol. 25 No. 8, pp. 1599–1608.
2. Assadi, A., Gärtner, F., Stoltenhoff, T., & Kreye, H. (2016). The Principle of Cold Spray. *Advanced Cold Spray Technology*, 63, pp. 1–28.
3. Vasin, R. A. et al. (2018). Mathematical Model of the Cold Gas Dynamic Spraying Process for Repair of Large-sized Items. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 327, Art. No. 032115.
4. Popoola, L. et al. (2020). High-Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Thermal Spraying for Repair of Refractory Materials. *Ceramics International*, Vol. 46 No. 1, pp. 58–69.

## ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ РОЛИКІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАДІЙНІСТЬ КОНВЕЄРНИХ СИСТЕМ

**Стеценко С. А.**

*студент гр. ПМі-23-1п*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кулік Т. О.**

*к.т.н.*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

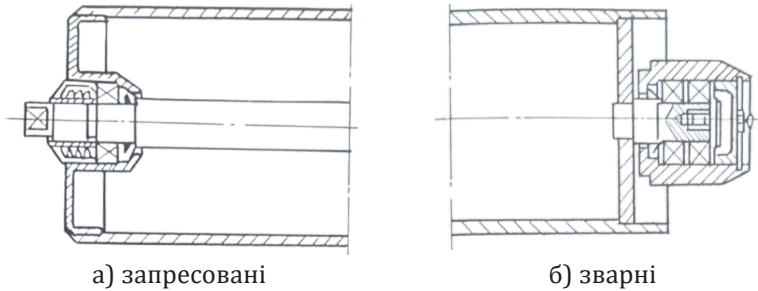
*м. Запоріжжя, Україна*

Стрічкові конвеєри є основним видом транспортного обладнання в гірничодобувній, металургійній та інших галузях промисловості, де необхідне переміщення великих мас сипучих матеріалів. Ресурс і ефективність роботи конвеєрів значною мірою визначаються надійністю роликів опор, частка яких у загальній кількості елементів конвеєра сягає 70–80 %. Ролики є найбільш чисельним та водночас найменш довговічним елементом системи. За наявними експлуатаційними даними [1], понад 60 % відмов конвеєрів безпосередньо пов'язані з несправностями роликів – заклинюванням, руйнуванням підшипників, корозією, втраченою геометрією. У цих умовах питання вдосконалення конструкцій роликів та підвищення їхньої надійності є особливо актуальним.

Традиційні конструкції роликів передбачають використання наскрізної осі, сталеві труби, а також вкладок, що приварюються або запресовуються у торці труби (рис. 1).

Саме на вкладки встановлюються підшипникові вузли. Попри поширеність цієї схеми, вона має низку недоліків. По-перше, з'єднання труби та вкладки є ослабленою ділянкою, де часто виникають тріщини чи деформації при ударних навантаженнях. По-друге, перекося вкладки спричиняють нерівномірне навантаження на підшипники, що знижує їхній ресурс. По-третє, множинні зварні й посадкові поверхні ускладнюють герметизацію ролика та створюють умови для потрапляння вологи, корозії

й передчасних відмов. Нарешті, традиційні ролики відзначаються підвищеною металомісткістю та трудомісткістю виготовлення.



**Рис. 1. Конструкції традиційних роликів**

У відповідь на ці недоліки останніми десятиліттями ведуться пошуки надійних конструкцій, серед яких особливу увагу привертають безвкладишеві ролики. Їхньою відмінністю є формування корпусу зі сталеві трубною заготовкою методом ротаційної обкатки. У процесі пластичної деформації створюються горловини малого діаметра, у які встановлюються підшипникові вузли.

Ротаційна обкатка забезпечує точне формування геометрії без термічного впливу та концентрацій напружень, характерних для зварних з'єднань. Розміри горловин залежать від діаметра труби, зазвичай становлять 0,18–0,30 діаметра заготовки, що дозволяє надійно закріплювати вузли й мінімізувати ослаблення корпусу. Технологічною перевагою є можливість отримання довгої горловини, недоступної для традиційних методів.

Безвкладишева конструкція ролика має низку експлуатаційних переваг. По-перше, зменшується металомісткість, оскільки виключаються вкладки, вісь і частина зварних операцій. За оцінками, це дозволяє знизити масу ролика у 1,4–1,6 рази. По-друге, моноблочний корпус має підвищену жорсткість і стійкість до ударних навантажень. По-третє, відсутність проблемних посадкових поверхонь забезпечує вищу точність взаємного розташування підшипникових вузлів і, відповідно, зменшує радіальні та осьові навантаження на підшипники. По-четверте, значно підвищується

герметичність корпусу, оскільки ймовірність проникнення вологи та пилу через з'єднань мінімізується.

Для обґрунтування переваг доцільно використати підхід теорії надійності. Згідно з експоненційною моделлю безвідмовної роботи, інтенсивність відмов  $\lambda$  визначає середній напрацювання до відмови ( $MTBF = 1/\lambda$ ).

Інтенсивність відмов ролика визначається як сукупний результат відмов окремих вузлів: підшипників, ущільнень, корпусу (рис. 2), а також відмов, спричинених геометричними перекосами. У традиційних роликах вона вища через слабкі зони – зварні шви, вкладки й посадки, що деформуються під навантаженнями та створюють додаткові напруження, а також ризик порушення герметичності та корозії.



**Рис. 2. Причини відмов традиційних роликів**

У безвкладишевих роликів, навпаки, інтенсивність відмов  $\lambda$  зменшується за рахунок:

- зниження кількості деталей і з'єднань;
- відсутності перекосів при встановленні підшипників;
- підвищеної геометричної точності;

- кращої герметичності корпусу;
- відсутності зварних або різьбових вузлів у зоні підшипників.

За результатами експлуатаційних спостережень та лабораторних досліджень, зменшення  $\lambda$  для безвкладишевих конструкцій становить 25–45 % у порівнянні з традиційними роликами аналогічних розмірів (табл. 1). Відповідно, середній напрацювання до відмови зростає приблизно у 1,5–2 рази, що має суттєвий вплив на надійність роботи всього конвеєра. Враховуючи велику кількість роликів, навіть незначне покращення їхнього ресурсу призводить до значного зменшення ймовірності зупинки конвеєра через несправність опор.

Таблиця 1

**Порівняння характеристик традиційних  
і безвкладишевих роликів**

Параметр	Традиційні ролики	Безвкладишеві ролики
Кількість деталей	Висока	Мінімальна
Маса	100 %	60–70 %
Герметичність	Низька	Висока
Точність геометрії	Залежить від зварних посадок	Висока
Інтенсивність відмов ( $\lambda$ )	Висока	На 25–45 % нижча
Середній ресурс (MTBF)	Базовий	У 1,5–2 рази більший
Технологічна складність	Висока	Середня

Серед додаткових переваг безвкладишевих роликів варто зазначити можливість застосування підшипникових вузлів з оптимізованими посадками, використання ущільнень підвищеного класу, а також можливість автоматизації процесу виготовлення корпусів завдяки стабільності технології ротаційної обкатки. Усі ці фактори суттєво знижують варіативність параметрів готових виробів і підвищують передбачуваність їхньої роботи.

Отже, аналіз показує, що безвкладишеві ролики є перспективним напрямом розвитку конвеєрної техніки. Їхня моноблочна конструкція, раціональна геометрія, зменшена кількість деталей і підвищена точність забезпечують покращення ключових

показників надійності. Зниження інтенсивності відмов та збільшення ресурсу окремих роликів у декілька разів зменшує частоту зупинок конвеєра та витрати на обслуговування. Таким чином, упровадження безвкладишевих конструкцій є ефективним інженерним рішенням, яке дозволяє підвищити техніко-економічні показники стрічкових конвеєрних систем і забезпечити їхню стабільну роботу в умовах інтенсивної експлуатації.

### **Перелік використаних джерел**

1. Кулік О. М., Кулік Т. О. Термомеханічний аспект технології отримання труб з горловиною відносно малого діаметру ротаційною обкаткою. *Литво. Металургія* : матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції (28–30 травня 2024 р., Київ). Київ, 2024. С. 409–412.

## **МОДЕЛЮВАННЯ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЧАСТИНОК ПРИ ВІДНОВЛЕННІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ**

**Топоров А. А.**

*студент гр. МЗ-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Пашинський В. В.**

*д.т.н., доцент, завідувач кафедри*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Основою процесу холодного газодинамічного напилення (ХГДН) є високошвидкісна ударна взаємодія окремих частинок з поверхнею підкладки. Цей процес характеризується надзвичайно малою тривалістю – зіткнення та пластична деформація відбуваються за проміжок часу, що вимірюється наносекундами.

Такі часові масштаби роблять пряме експериментальне дослідження механізмів деформації та утворення зв'язку складним та ресурсомістким завданням [1].

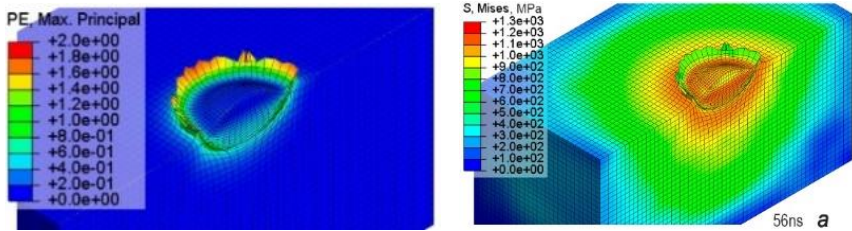
За цих умов чисельне моделювання стає важливим інструментом для аналізу фундаментальних процесів. Воно дозволяє візуалізувати та кількісно оцінити механізми пластичної деформації, локальний розігрів у зоні контакту та умови, за яких відбувається формування міцного адгезійного зв'язку «частинка-підкладка» [2, 3].

Метою даної роботи є використання методів комп'ютерного моделювання для дослідження впливу ключових технологічних параметрів (швидкості та температури частинок) на результат ударної взаємодії. Це дозволить визначити оптимальні режими процесу, що забезпечують ефективне формування щільного покриття без ризику пошкодження вогнетривкої основи.

Для дослідження ударної взаємодії було застосовано метод кінцевих елементів (МКЕ) у програмному комплексі ABAQUS/Explicit, який спеціалізований для аналізу високошвидкісних динамічних процесів [4]. Було розроблено 3D-модель, що імітує удар сферичної частинки об пласку підкладку. Особливості моделі: тип аналізу повністю пов'язаний аналіз теплових напружень (coupled temp-displacement), що дозволяє одночасно розраховувати механічну деформацію та теплові процеси, модель матеріалу – модель Джонсона-Кука (JC), яка емпірично описує поведінку металів при високих швидкостях деформації, враховуючи зміцнення та термічне розм'якшення, матеріал для симуляції – сталь AISI 316L.

Результати чисельного моделювання дозволили встановити низку важливих закономірностей.

Аналіз впливу швидкості частинок показав пряму кореляцію між швидкістю удару, глибиною проникнення та ступенем пластичної деформації. Зі збільшенням швидкості деформація як частинки, так і підкладки стає більш вираженою. Водночас моделювання підтвердило, що надмірно високі швидкості (понад 1200–1400 м/с) можуть призводити до надмірної деформації та пошкодження основи, що особливо важливо для крихких вогнетривких матеріалів (рисунок 1).



**Рис. 1. Розподіл пластичних деформацій та еквівалентних напружень при ударі сферичної частинки по пласкій поверхні**

Встановлено, що момент досягнення максимальних напружень у системі "частинка-підкладка», як правило, настає раніше, ніж момент досягнення максимальної глибини проникнення частинки. Це свідчить про складний динамічний характер процесу, де пружні та пластичні хвилі деформації відіграють ключову роль.

Результати моделювання дозволяють визначити оптимальне «вікно» технологічних параметрів – швидкість та температуру частинок – для кожного конкретного поєднання матеріалів «покриття-підкладка». Ці дані, у свою чергу, безпосередньо формують технічні вимоги до промислового обладнання, що розглядається в заключному розділі, зокрема до продуктивності нагрівача газу та сопла Лавалю.

### Перелік використаних джерел

1. Johnson, G. R.; Cook, W. H. A constitutive model and data for materials subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. In Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics, The Hague, The Netherlands, 19–21 April 1983; pp. 541–547.
2. Assadi, H.; Gärtner, F.; Stoltenhoff, T.; Kreye, H. Bonding Mechanism in Cold Gas Spraying. *Acta Materialia* 2003, 51, 4379–4394.
3. Meng, F.; Yue, S.; Song, J. Quantitative prediction of critical velocity and deposition efficiency in cold-spray: a finite-element study. *Scripta Materialia* 2015, 107, 83–87.
4. Aleksieieva O.; Dereviankina, L.; Breuninger, P.; Bozoglu, M.; Tretiakov, P.; Toporov, A.; Antonyuk, S.: Simulation of particle interaction with surface microdefects during cold gas-dynamic spraying, *Coatings* 12 (9) (2022) 1297, <https://doi.org/10.3390/coatings12091297>

## **МАТЕРІАЛИ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛІВ: СТРУКТУРА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ**

**Головаха К. Е.**

*студент гр. КТ-24-1/9*

*ВСП «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки УДУНТ»  
м. Кам'янське, Україна*

Сучасний автомобіль – це комплексна інженерна система, у якій кожен матеріал виконує окрему, але важливу функцію. Конструктори прагнуть мінімізувати масу транспортного засобу, підвищити його надійність, рівень безпеки та економічність. Для цього застосовують широкий спектр металів, полімерів, композитів та спеціальних матеріалів, вибір яких визначається властивостями, вартістю та екологічними вимогами [1].

### **1. МЕТАЛИ – ОСНОВА КОНСТРУКЦІЇ**

Метали традиційно є головною складовою автомобільної структури. Сталь залишається провідним матеріалом для виготовлення кузова та каркаса безпеки. Високоміцні сталі застосовують у зонах, що потребують підвищеної стійкості до ударних навантажень, забезпечуючи безпеку пасажирів. Оцинкована сталь захищає кузов від корозії та подовжує його ресурс [2].

Алюміній, значно легший за сталь, дозволяє суттєво зменшити масу автомобіля, що позитивно впливає на динаміку та економічність. Його використовують у виготовленні капотів, крил, блоків двигунів, підвісок. У преміальних та спортивних автомобілях застосовують також магнієві сплави, що мають ще меншу масу та достатню міцність.

### **2. ПЛАСТИКИ ТА КОМПОЗИТИ – ЛЕГКІСТЬ І УНІВЕРСАЛЬНІСТЬ**

Полімери та композитні матеріали активно замінюють металеві компоненти в конструкції автомобіля. Пластики дозволяють створювати легкі й технологічні деталі складної форми: бампери, облицювання, панелі приладів, декоративні елементи інтер'єру та екстер'єру. Вони стійкі до корозії, добре поглинають вібрації та мають тривалий термін служби.

Композити, зокрема вуглепластики, поєднують малу масу з високою міцністю, що робить їх незамінними у спортивних та високопродуктивних автомобілях [3]. З таких матеріалів виробляють елементи кузова, підсилювачі конструкції, спойлери та каркаси сидінь.

### 3. СПЕЦІАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ІНШІ КОМПОНЕНТИ

Скло, гума, текстиль та технічні рідини також відіграють важливу роль у функціонуванні автомобіля. Ламіноване вітрове скло забезпечує безпеку, оскільки при ударі не розлітається на уламки. Загартоване скло застосовують у бокових і задніх вікнах для підвищення міцності.

Гума використовується у шинах, ущільненнях, опорах підвіски та віброізоляторах. Текстиль і шкіра формують елементи інтер'єру, забезпечуючи комфорт водія та пасажирів. До спеціальних матеріалів належать і технічні рідини – моторна та трансмісійна олива, антифриз, гальмівна рідина, без яких робота транспортного засобу неможлива.

Таким чином, конструкція автомобіля є результатом оптимального поєднання металів, полімерів, композитів та спеціальних матеріалів. Завдяки інноваційному розвитку матеріалознавства сучасні транспортні засоби стають легшими, міцнішими, екологічнішими та безпечнішими.

### **Перелік використаних джерел**

1. Кузнецов В. Л. Матеріалознавство: підручник. Київ : Ліра-К, 2020.
2. Дрозд М. Матеріали та технології в сучасному машинобудуванні. Львів : Сполом, 2019.
3. Черненко О. М. Сучасні композити та їх застосування в техніці. Харків : ХНАДУ, 2021.

## НОВІ МАТЕРІАЛИ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

**Кулаков М. С.**

*студент гр. КТ-24-1/9*

*ВСП «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки УДУНТ»  
м. Кам'янське, Україна*

У сучасному автомобілебудуванні все більшої ваги набуває впровадження нових, легких та високоміцних матеріалів, що дозволяють підвищити ефективність, безпеку та екологічність транспортних засобів [1]. Протягом останніх десятиліть автомобільна промисловість відійшла від масивних сталевих конструкцій на користь алюмінієвих сплавів, композитів і високотехнологічних полімерів, що забезпечують суттєве зменшення маси автомобілів.

Як свідчать дослідження, зменшення маси транспортного засобу на кожні 100 кг дає змогу знизити витрату пального приблизно на 0,5 л/100 км [2]. Цей принцип чітко простежується при порівнянні автомобілів різних поколінь. Наприклад, Mercedes-Benz 300 SEL 1970 року мав масу близько 1800 кг, тоді як сучасна Mazda MX-5 (2024 р.) важить приблизно 1050 кг. При цьому споживання палива зменшилося майже удвічі: від 14–16 л/100 км до 6–6,5 л/100 км. Такий результат досягається саме завдяки широкому застосуванню легких матеріалів, зокрема алюмінію, композитів і полімерів.

Алюміній використовується для виготовлення кузовних панелей, елементів двигуна та підвіски. Він значно легший за сталь, має корозійну стійкість та добрі механічні властивості. За рахунок цього конструкція автомобіля стає легшою, а отже – більш економічною та динамічною [3].

Композити – це матеріали, що складаються з декількох різних за природою компонентів, які разом забезпечують високу міцність при мінімальній масі. Вуглепластики, склопластики та армовані полімери застосовуються в кузовах, капотах, спойлерах та елементах підвіски. Вони мають високу жорсткість і здатність поглинати енергію удару, що підвищує рівень безпеки.

Пластики та полімерні матеріали давно стали невід'ємною частиною автомобілебудування. З них виготовляють бампери, панелі приладів, декоративні елементи, частини інтер'єру. Сучасні полімери стійкі до механічних навантажень, ультрафіолету та хімічного впливу, що забезпечує їх довговічність та надійність.

Таким чином, аналіз матеріалів, що застосовуються у сучасних автомобілях, та порівняння моделей різних епох свідчать про суттєві переваги нових матеріалів. Вони дозволяють створювати транспортні засоби, які є легшими, економічнішими, безпечнішими та екологічнішими, що визначає подальший розвиток автомобілебудування.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Кузнецов В. Л. Матеріалознавство: підручник. Київ : Ліра-К, 2020.
2. Дрозд М. Інноваційні матеріали в транспортному машинобудуванні. *Автомобіль і електроніка*. 2021. № 12. С. 45–52.
3. Черненко О. М. Сучасні композитні матеріали та їх застосування. Харків : ХНАДУ, 2019.

# СЕКЦІЯ МЕТАЛУРГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

## АКТУАЛЬНІ НАПРЯМИ СОЦІАЛЬНОЇ РОБОТИ

**Біла Г. В.**

*студентка гр. УСП-25-1м  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна*

**Щербань О. Д.**

*к.е.н., доцент, доцент кафедри металургії та організації  
виробництва, науковий керівник  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна*

Повномасштабна війна в Україні спричинила глибокі соціально-економічні трансформації, які вплинули на добробут населення, ринок праці та стійкість громад. Мільйони людей були змушені залишити свої домівки, втратили джерела доходу, соціальні зв'язки та стабільність. Водночас промислові підприємства опинилися перед викликом збереження кадрового потенціалу та забезпечення підтримки працівників у кризових умовах [1]. У цих обставинах формується нова затребувана професія – координатор соціальних програм підтримки сімей, переселенців та працівників, що інтегрує елементи соціальної роботи, управління персоналом та менеджменту соціальних проектів [2].

Метою роботи є аналіз сучасного стану, змісту діяльності та перспектив розвитку професії координатора соціальних програм в Україні, а також визначення ролі великих промислових підприємств у формуванні системи соціальної підтримки працівників і їхніх родин у воєнний період.

Координатор соціальних програм – це фахівець, який забезпечує організацію, реалізацію та моніторинг соціальних ініціатив у межах підприємства, громади або благодійної організації. Професійна діяльність координатора охоплює такі напрями:

- адаптація внутрішньо переміщених осіб до нових соціально-економічних умов;
- організація матеріальної, психологічної та правової підтримки сімей працівників;
- координація програм професійного навчання, перекваліфікації та працевлаштування;
- розвиток корпоративної соціальної відповідальності підприємства;
- посилення соціальної згуртованості трудових колективів у кризових ситуаціях.

На промислових підприємствах координатор соціальних програм виконує ключову роль у збереженні працездатності колективів, підвищенні мотивації працівників та розбудові системи підтримки.

Показовим прикладом є соціальні програми Групи «Метінвест», які від початку війни стали одним із найбільших корпоративних проєктів підтримки працівників та громад. Програма «Сталеві люди» надала допомогу понад 7 000 працівникам, забезпечивши підтримку з житлом, працевлаштуванням, релокацією та адаптацією у безпечних регіонах України [3].

Група реалізує й освітні ініціативи, серед яких – курси перекваліфікації для фахівців гірничо-металургійної галузі, навчання новим професіям та створення корпоративного університету «Метінвест Політехніка» [4; 5]. Така інтеграція освіти, соціальної підтримки та кадрового розвитку формує нову модель корпоративної соціальної відповідальності.

Однією з найновіших і найбільш перспективних державних ініціатив у сфері соціального захисту є цифрова платформа «Ветеран PRO», створена Міністерством у справах ветеранів України. Вона функціонує як персональний навігатор державних послуг, об'єднуючи інформацію про всі доступні сервіси в одному інтерфейсі. Спектр послуг платформи охоплює такі напрямки:

- соціальний захист та фінансова підтримка: грошові виплати, компенсації, соціальні стипендії;
- житлові програми: компенсація вартості оренди, участь у програмі «ЄОселя», пільгові кредити, субвенції;

- медичне забезпечення та реабілітація: медичне обслуговування, реабілітаційні програми, психологічна допомога;
- освіта та професійний розвиток: програми навчання, курси підвищення кваліфікації для ветеранів;
- працевлаштування: супровід у пошуку роботи, програми перекваліфікації, консультації з кар'єрного розвитку;
- юридичні послуги: правові консультації, алгоритми отримання статусів та пільг.

Платформа працює за принципом персонального маршруту: користувач обирає свій статус (наприклад, УБД) та отримує покрокові інструкції щодо оформлення конкретних послуг. Крім того, передбачена можливість підтримки фахівцем – як онлайн, так і через мережу ветеранських просторів [6].

Інтеграція таких цифрових сервісів у систему соціальної підтримки сприяє розвитку моделі соціального партнерства, у якій взаємодіють держава, громади, бізнес та соціальні фахівці.

У найближчі роки очікується суттєве зростання попиту на координацію соціальних програм. Це зумовлено: інституціоналізацією професії: появою офіційних освітніх програм і стандартів підготовки; цифровізацією соціальних сервісів: впровадженням платформ моніторингу та супроводу соціальної допомоги; інтеграцією до HR-структур підприємств: формуванням соціальних підрозділів як елементу корпоративної культури; післявоєнною відбудовою: необхідністю реінтеграції ветеранів, переселенців і працівників промисловості у мирне суспільство [7,8].

Професія координатора соціальних програм поєднує управлінські, комунікативні та гуманітарні компетенції, що робить її ключовою для сучасної соціальної політики.

Таким чином, координатор соціальних програм – це нова, стратегічно важлива професія, яка забезпечує ефективну соціальну підтримку працівників, переселенців та ветеранських спільнот. Корпоративний досвід українських підприємств, зокрема Групи «Метінвест», демонструє, що системна соціальна робота суттєво підсилює стійкість трудових колективів та сприяє відновленню людського потенціалу країни. У післявоєнний період роль таких

фахівців лише зростатиме, формуючи нову архітектуру соціальної підтримки на рівні держави, громад та бізнесу.

### Перелік використаних джерел

1. Величко О. Г. Соціальна політика та корпоративна відповідальність підприємств : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2021. 216 с.
2. How mining and metallurgical companies support their personnel during wartime. *AgroNews*. 07.05.2025. URL: <https://agronews.ua/en/news/how-mining-and-metallurgical-companies-support-their-personnel-during-wartime>
3. Steel Team: How Metinvest supports its employees during the war. *Metinvest.Media*. 24.05.2023. URL: <https://metinvest.media/en/page/staleva-komanda-yak-metinvest-pdtrimu-svoh-spvrobntnikv-pd-chas-vyni>
4. GZK Metinvest у Кривому Розі продовжують навчати співробітників нових професій. *Metinvest.Media*. 01.03.2023. URL: <https://metinvest.media/en/page/gzk-metinvestu-u-krivomu-roz-prodovzhuyut-navchati-spvrobntnikv-novih-profesy>
5. Metinvest Polytechnic and Community Recovery School to Train Managers for Ukraine's Recovery. *Metinvest.Media*. 19.03.2025. URL: <https://metinvest.media/en/page/metinvest-poltehnka-ta-shkola-vdovlennya-gromad-gotuvatimut-municipalnih-menedzherv-d-lya-vdbudovi-krani>
6. Міністерство у справах ветеранів України. *Ветеран PRO* : цифрова платформа державних послуг. 2024. <https://veteranpro.gov.ua/>
7. Пліско Є. Ю. Загальні стандарти соціальної роботи. *Духовність особистості: методологія, теорія і практика*. 2023. № 1 (105). С 122–131.
8. Актуальні проблеми соціальної сфери : збірник статей студентів і викладачів / за заг. ред. С. М. Коляденко. Житомир : Видавництво Житомирського державного університету ім. І. Франка, 2023. Вип. 13. 91 с.

**ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ COLD-BOX  
ТА ХТС-ПРОЦЕСІВ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ  
ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Бушуй Н. М.**

*студентка гр. УММ-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Пашинський В. В.**

*д.т.н., доцент, завідувач кафедри, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Актуальність роботи обумовлена необхідністю модернізації вітчизняних металургійних підприємств для підвищення конкурентоспроможності продукції та досягнення енергонезалежності. Об'єктом дослідження є стержнева дільниця ливарного цеху ТОВ «Запорізький ливарно-механічний завод» (ЗЛМЗ). На сьогоднішній день у ливарному цеху виготовлення основної номенклатури стрижнів базується на використанні піщано-глинистих сумішей. Аналіз існуючого технологічного процесу виявив низку суттєвих недоліків, що стримують розвиток виробництва. Головною проблемою є необхідність тривалої теплової сушки стрижнів у газових сушилах для надання їм необхідної міцності. Цей процес є вкрай енергоємним, призводить до значних витрат природного газу та подовжує технологічний цикл. Крім того, піщано-глинисті форми та стрижні характеризуються недостатньою геометричною точністю та підвищеною шорсткістю поверхні, що збільшує припуски на механічну обробку та трудомісткість обрубних операцій.

Метою роботи є обґрунтування переходу на сучасні технології виготовлення стрижнів, а саме фуранові холоднотвердіючі суміші (ХТС) або COLD-BOX процес. ХТС-процес базується на використанні сипких піщано-смоляних сумішей, що твердіють без зовнішнього нагрівання за рахунок хімічної реакції між зв'язуючим та

каталізатором. У COLD-BOX процесі затвердіння ініціюється продуванням оснастки газом-каталізатором, що забезпечує високу швидкість виробництва [1].

Впровадження цих процесів потребує придбання та запуску в експлуатацію нового устаткування для його реалізації. Фуранові ХТС (COLD-BOX) використовуються у світовому ливарному виробництві понад 60 років. Формоутворення на основі фуранових ХТС, замінює собою старі традиційні технології, насамперед піщано-глинисті та рідкоскляні. Найважливішими перевагами ХТС є:

- Відсутність потреби у спеціальних відділеннях для приготування суміші.
- Для приготування стрижневої суміші та її швидкої подачі до стрижневих ящиків потрібен лише один агрегат – змішувач, який поєднує в собі обидві ці функції.

Технічна реалізація проєкту передбачає встановлення високоефективних змішувачів безперервної дії типу COMBIMIX.

Особливістю COLD-BOX процесу є можливість адаптації частини наявної технологічної оснастки, що дозволяє оптимізувати капітальні інвестиції. COLD-BOX процес має можливість використовуватися як на устаткуванні для ХТС сумішей, так і на обладнанні для приготування звичайних CO<sub>2</sub> сумішей. Відмінною особливістю COLD-BOX процесу є заміна рідкого скла матеріалом NOVONOL 165, при цьому затвердіння стрижнів настає тільки після продування вуглекислотою, живучість суміші до 24 годин. Витрата матеріалу – 2,5 % від маси піску. При цьому вологовміст стрижня не перевищує 0,65 %, що не вимагає проведення додаткової теплової підсушки стрижня.

Впровадження даних технологій замість піщано-глинистих сумішей забезпечує наступні переваги:

1. Енергоефективність та відмова від газу. Форми та стрижні з ХТС не потребують теплової сушки. Це дозволяє виключити з технологічного ланцюжка газові сушилки, що забезпечує радикальну економію енергоресурсів.
2. Підвищення якості лиття. Виливки, виготовлені із застосуванням ХТС, мають високу розмірну точність та чисту поверхню.

Це зменшує ймовірність браку та знижує витрати на фінішну обробку деталей (обрубування та зачистку).

3. Ресурсозбереження. У складі ХТС витрата свіжого піску становить лише 10–20 %, а 80–90 % матеріалу повертається у виробництво після регенерації, на відміну від традиційних сумішей, значна частина яких йде у відвал. Економічна доцільність проєкту базується на зміні структури собівартості. Хоча питома вартість синтетичних смол є вищою за вартість компонентів піщано-глинистих сумішей, загальна економічна ефективність досягається за рахунок повної ліквідації витрат на природний газ для сушіння, зменшення закупівель свіжого піску (завдяки регенерації) та зниження собівартості механічної обробки виливків завдяки їх кращій геометрії. Підвищення точності геометричних розмірів також дозволить освоїти нові види продукції, для яких точність відливки є критичною.

Таким чином, заміна піщано-глинистих сумішей на ХТС та COLD-BOX процеси є стратегічно важливим кроком модернізації, що дозволить підприємству суттєво зменшити енерговитрати, покращити якість продукції та підвищити загальну ефективність ливарного виробництва.

### **Перелік використаних джерел**

1. Лютий Р. В., Селівьорстов В. Ю., Іванов В. Г., Ямшинський М. М. Зв'язувальні матеріали для ливарних форм і стрижнів: проблеми і перспективи. *Метал та лиття України*. 2022. Vol. 30. № 2 (329). С. 72–82.

**РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ  
ТЕМПЕРАТУРНО-ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ ПРОКАТКИ  
ПРОФІЛЮ Ø 75 ММ НА ТЗС ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»**

**Варицький В. Р.**

*студент гр. МЕч-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Штода М. М.**

*к.т.н., доцент кафедри металургії та організації виробництва,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Внаслідок військової агресії, виробництво сталі в Україні впало майже на 75 % [1], що спричинило критичний дефіцит середнього круглого прокату, зокрема профілю Ø 75 мм, необхідного для ОПК та відновлення інфраструктури. Це підвищує імпортозалежність. Стратегічна задача полягає у максимальному використанні уцілілих потужностей. Трубозаготівельний стан (ТЗС) ПрАТ «Камет-Сталь» має потенціал для оперативного заміщення втрачених обсягів.

Існуючі калібрування ТЗС оптимізовані під більші заготовки [2]. Існує небезпека, що при прокатці профілю Ø 75 мм будуть виникати проблеми, спричинені недостатньою жорсткістю клітей та недосконалістю напрямного обладнання ТЗС порівняно зі спеціалізованими станами. Ці фактори викликають нестабільне заповнення калібру по довжині профілю, його переповнення та підвищену овальність, що критично погіршує точність і унеможливорює дотримання жорстких допусків для машинобудування.

Метою роботи є розробка та наукове обґрунтування оптимізованої технології прокатки круглого профілю Ø 75 мм на базі існуючого ТЗС ПрАТ «Камет-Сталь», що забезпечить дотримання жорстких допусків сортового прокату, необхідних для потреб машинобудування, та підвищить економічну ефективність виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести комплексний аналіз стану існуючої технології прокатки на ТЗС та визначити конструктивні й технологічні обмеження обладнання (жорсткість клітей, стан прямого обладнання);
- виконати промислове дослідження залежності величини розширення від температури підкату та швидкості обертання валків при прокатці овальних розкатів в круглих калібрах;
- розробити та впровадити практичні рекомендації щодо налаштування обладнання ТЗС при виробництві круга  $\varnothing 75$  мм.



**Рис. 1. Дефекти на передніх та задніх кінцях малих круглих профілів ТЗС**

Для комплексного аналізу технології прокатки на ТЗС застосовано розрахунково-дослідний метод для оцінки пружної деформації клітей 750-1, 2 та 3. Методика ґрунтувалася на вимірюванні глибини врізу калібру, розмірів гарячого прокату та деформації сталевого дроту при прокатці різних профілів (квадратного 170 мм, круглого  $\varnothing 80$  мм, прямокутного  $100 \times 130$  мм). Завдяки розрахунку сили прокатки визначено, що жорсткість клітей є високою, сягаючи 1500 кН/мм, що відповідає типовому діапазону 1300–2000 кН/мм для прецизійних станів [3]. Проте,

незважаючи на високу жорсткість, її недостатньо для компенсації зносу та конструктивної недосконалості напрямного обладнання, яке залишається лімітуючим фактором. Крім того, на точність прокатки суттєво впливають технологічні параметри, зокрема, швидкість прокатки та неоднорідність температури прокатуваних штанг, яка може значно відрізнятися як по довжині виробу, так і між окремими заготовками, безпосередньо впливаючи на зміну сили прокатки та, відповідно, на кінцеві розміри профілю. Отже вплив температурно-швидкісного режиму прокатки на точність готового профілю потребує додаткових досліджень.

Для виконання наступного етапу досліджень та вирішення завдання підвищення точності прокатки, було здійснено комплекс експериментів, що передбачав прокатку овальних підкатів у чистових круглих калібрах (діаметром 40 мм) за змінних швидкісних та температурних режимів. Ключовим викликом стала нестабільність температури заготовок, що надходять до чистової кліті 750-3, спричинена особливостями обладнання, ручним керуванням режимом обтиснень в кліті 900 та додатковими тепловтра-тами через невдалі захоплення валками клітей 750-1 та 750-2.

З метою забезпечення достовірності та повторюваності експериментальних даних, перед кожною прокаткою в чистовій кліті 750-3 здійснювався суворий контроль ключових параметрів: температура вимірювалася стаціонарним та ручним пірметрами, а також фіксувалися гарячі розміри овального підкату і кінцевого профілю. Результати експерименту, отримані під час прокатки профілю  $\varnothing$  40 мм, були використані для моделювання та наукового обґрунтування режиму прокатки круглого профілю  $\varnothing$  75 мм. Це дозволило розробити та успішно впровадити на виробництві тимчасовий регламент температурно-швидкісного режиму для прокатки круглих профілів  $\varnothing$  75 мм у чистовій кліті, що стало вирішальним кроком до стабілізації технологічного процесу та відчутного підвищення якості продукції.

Таким чином, в роботі розроблено та науково обґрунтовано технологію прокатки круглого профілю  $\varnothing$  75 мм на ТЗС ПрАТ «Камет-Сталь» для компенсації критичного дефіциту

продукції. Встановлено, що, попри високу жорсткість клітей ( $\approx 1500$  кН/мм), основним лімітуючим фактором точності є знос напрямного обладнання та нестабільність температурно-швидкісного режиму прокатки. На основі промислових досліджень успішно впроваджено тимчасовий регламент температурно-швидкісного режиму, що підтвердило можливість стабілізації процесу та досягнення жорстких допусків, необхідних для ОПК та машинобудування.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Даценко А. Аналіз сучасного стану металургійної галузі України. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 68. С. 15–22. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-105>.
2. Perzyk M. *Fundamentals of the theory of rolling*. Taylor & Francis Group, 2017. 400 p.
3. Precision strip rolling mill stiffness. *CRM. News*. 26.02.2023. URL: <https://precision-rolls.com/News/127.html> (дата звернення: 23.11.2025).

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗШИРЕННЯ КРУГЛИХ ПІДКАТІВ В ОВАЛЬНИХ КАЛІБРАХ**

**Гриценко К. Г.**

*здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня  
Дніпровський державний технічний університет  
м. Кам'янське, Україна*

**Самохвал В. М.**

*к.т.н., доцент  
Дніпровський державний технічний університет  
м. Кам'янське, Україна*

На сучасних пруткових та стрижневих станах значного поширення набула калібровка валків з використанням послідовності калібрів «овал – круг». Однією з переваг такої калібровки є можливість

забезпечення точності прокатування круглих розкатів за рахунок регулювання розмірів підкатів, що надходять з овальних калібрів, лише зміною зазору в цих овальних калібрах. Розміри калібрів визначають з врахуванням технологічних особливостей та обладнання конкретних станів. Для визначення форми та розмірів врізів на валках застосовують класичні інженерні методики [1, 2], математичне моделювання [3] або моделі на основі експериментальних даних [4].

Але за останні десятиліття розміри калібрів певною мірою стабілізувались і уніфікувались. Наприклад, для умов прокатування стрижнів діаметром 5,5 мм в дротових десятимодульних блоках діаметри проміжних круглих розкатів складають ряд з таких значень: 7,0; 8,7; 11,0; 13,8; 17,0 мм. Останнє значення відповідає діаметру підкату, який надходить у блок. Для окремих дротових блоків наведені розміри можуть змінюватись у межах до  $\pm 0,3$  мм. Розміри овальних калібрів також певною мірою уніфіковані, аж до використання одних і тих самих овальних калібрів для кількох профілерозмірів прокату.

За таких умов розрахунок калібровки валків зводиться до визначення розмірів розкатів по проходам, та фіксації значень зазорів по калібрам. Тобто, технологічна карта (таблиця калібровки) визначає для оператора налаштування стану для забезпечення стабільної роботи стану. За таких змін в калібровці валків, коли важливо визначити розміри розкатів для наявних калібрів, зростають вимоги до точності визначення розширення, що завжди було актуальною задачею в прокатуванні профілів.

В даній роботі поставлена мета дослідження особливостей розширення круглих підкатів в овальних калібрах для розробки методики прогнозування розмірів розкатів за незмінних розмірів калібрів.

Для досягнення мети поставлено задачі розробки математичної моделі процесу розширення круглого підкату в овальному калібрі та визначення налаштування овального калібру для забезпечення певних розмірів овального розкату.

Математичну модель розширення розроблено на основі методики Шинокура-Такаї (Shinokura T., Takai K.), детально описаній в роботі [5].

Для розробки моделі використано середовище Excel. В ході розробки моделі з геометричних співвідношень отримали залежності для розрахунку проміжних величин, які показано на рисунку 1:

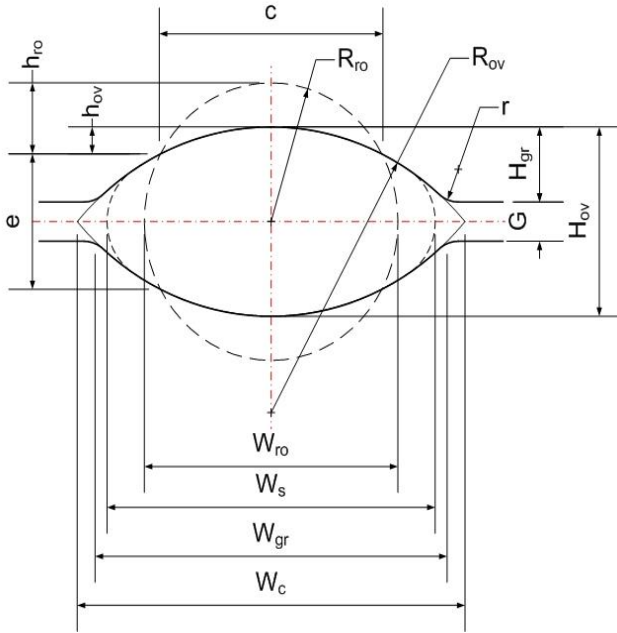


Рис. 1. Позначення геометричних параметрів овального калібру

$$h_{ov} = \frac{R_{ro}^2 - \left(\frac{H_{ov}}{2}\right)^2}{2 \cdot R_{ov} - H_{ov}}, \quad h_{ro} = R_{ro} - \left(\frac{H_{ov}}{2}\right) + h_{ov},$$

$$c = 2 \cdot \sqrt{h_{ro} \cdot (2 \cdot R_{ro} - h_{ro})}, \quad e = 2 \cdot \sqrt{R_{ro}^2 - \left(\frac{c}{2}\right)^2}.$$

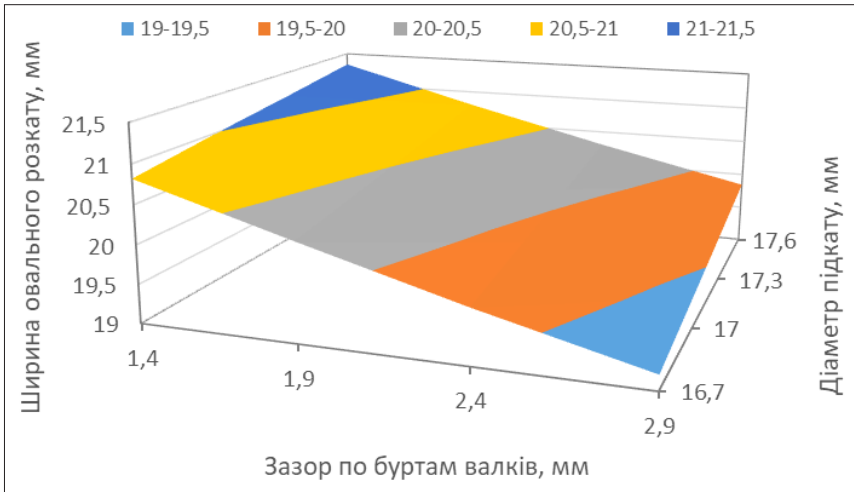
Використовуючи розроблену модель, виконали числовий експеримент в якому моделювали вплив діаметра підкату та зазору в калібрі на ширину розкату. Діаметр валків змінювали на

чотирьох рівнях: 16,7; 17,0; 17,3; 17,6 мм. Зазор овального калібру з радіусом побудови  $R_{ov} = 17,5$  мм; глибиною врізу  $H_{gr} = 4,6$  мм; шириною врізу  $W_{gr} = 17,5$  мм, змінювали на чотирьох рівнях: 1,4; 1,9; 2,4; 2,9 мм.

Результати розрахунків, показані на рисунку 2, свідчать, що ширина розкату прямо пропорційно залежить від ширини підкату (його діаметру) і зворотно пропорційно від зазору в калібрі. Використовуючи вбудовану функцію Excel LINEST, з розрахункових даних отримали регресійну залежність для визначення зазору між валками для отримання бажаної ширини розкату  $W_{ex}$  за наявного діаметру підкату  $d_{in}$ :

$$G = 10,75 - 0,98 \cdot W_{ex} + 0,66 \cdot d_{in}$$

Отримана залежність характеризується досить високим коефіцієнтом кореляції  $R^2 = 0,998$  і може бути використана для налагодження зазорів по модулям блоку.



**Рис. 2. Залежність ширини овального розкату від діаметра підкату та зазору в овальному калібрі**

**Перелік використаних джерел**

1. Rashad M., Magdi A., Ahmed M. E., Metealli S. M. Optimal design of round-oval-round of the steel bar rolling process. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2024. Vol. 71. Is. 1. 20 p. DOI: 10.1186/s44147-024-00567-8
2. Minutolo F. C., Durante M., Lambiase F., Langella A. Dimensional Analysis in Steel Rod Rolling for Different Types of Grooves. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2005. Vol. 14 (3). P. 373–377. DOI: 10.1361/01599490523913
3. Amani S., Lee J. B., Park S. S. Prediction of Spread in Steel Wire Rod Rolling: Transferable and Explainable Approach. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. Smart Technology*. 2023. Vol. 1 (1). P. 19–33. DOI: <https://doi.org/10.57062/ijpem-st.2022.0045>. URL: <https://www.ijpem-st.org/m/journal/view.php?number=2>
4. Самохвал В. М., Васильєв О. С., Концедал Р. В., Лабузов Н. С. Оцінка точності методів апроксимації експериментальних даних розширення овальних розкатів в круглих калібрах. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2025. Том 1. № 46. с. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.46.2025.3>
5. Lambiase F., Langella A. Automated Procedure for Roll Pass Design. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2009. Vol. 18 (3). P. 263–272. DOI: 10.1007/s11665-008-9289-2

## **АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА ЗА РАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЙОГО В АГЛОМЕРАЦІЙНІЙ ШИХТІ**

**Єсіна Ю. П.**

*студентка гр. МЕа-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Бойко М. М.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри металургії та організації  
виробництва, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Використання сучасних технічних рішень, впровадження раціональних методів підготовки матеріалу, розробка й оптимізація систем виробництва, розподілу і використання енергетичних ресурсів, стабілізація теплового режиму теплової обробки сипучого матеріалу, зменшення питомої витрати палива значною мірою зумовлює конкурентоспроможність продукції, рівень виробництва та його відповідність світовим вимогам.

Якісну й енергоефективну теплову обробку шару сипучого матеріалу на машинах конвеєрного типу можна реалізувати за допомогою керування процесами сегрегації часток у шарі та підготовки твердого палива. Важливе значення для забезпечення бажаного й рівномірного температурного поля у шарі матеріалу мають його газодинамічні характеристики, які обумовлюють ширину й швидкість переміщення високотемпературної зони [1]. Таким чином, необхідність забезпечення оптимального розподілу палива з урахуванням скорочення його питомої витрати й мінімізації перепаду тиску у шарі матеріалу під час його теплової обробки для стабілізації теплового режиму спікання є важливою науково-практичною проблемою. Скорочення загального споживання твердого палива технологічними агрегатами окрім зниження собівартості продукції дозволить зменшити обсяги шкідливих викидів в атмосферу.

Для досягнення поставленої мети необхідно встановити вплив гранулометричного складу шихти на розподіл твердого палива й хімічних компонентів по горизонтах шару та вивчити особливості фізико-хімічних процесів при протіканні екзо- й ендотермічних реакцій у шарі залізородних матеріалів залежно від його гранулометричної неоднорідності.

Відомо, що так як тверді частинки палива мають низькі комкуючі властивості, подача частини палива наприкінці процесу гранулювання має значний позитивний вплив на гранулометричний склад огрудкованої агломераційної шихти. Частинки палива розташовуються на поверхні гранул, що прискорює горіння палива, підвищує вертикальну швидкість спікання та покращує якість агломерату [2].

Важливим показником з точки зору придатності палива для агломераційного процесу є температура його запалювання. Надмірне зниження її розтягує зону горіння і знижує концентрацію тепла в цій зоні. Результатом цього є зниження температурного рівня процесу з відповідним погіршенням фізичних і механічних властивостей спеку [3]. За подібних умов коксовий дріб'язок має найвищі значення точки спалаху порівняно з можливими заміниками. У більшій мірі до нього наближається антрацит, який широко використовується у агломераційному виробництві.

Точне дозування палива в шихті є однією з основних умов отримання високоякісного агломерату. Як збільшення, так і зменшення швидкості потоку твердого палива у шихті порівняно з оптимальним знижує продуктивність машин і може призвести до зниження якості агломерату. Це досягається шляхом перевірки правильної роботи дозувальних блоків відповідно до інструкцій щодо налаштування автоматичних дозаторів за графіком та одночасної роботи щонайменше двох автодозаторів у шихтовому відділенні.

Вміст вуглецю в шихті залежить від складу шихтових матеріалів, і для кожного типу шихти визначається з умови отримання агломерату з встановленими характеристиками міцності при максимальній продуктивності агломераційних машин.

### **Висновки**

Забезпечення стабільного хімічного, гранулометричного та мінералогічного складу шихти є ключовими для отримання агломерату з високими металургійними характеристиками.

За результатами аналізу встановлено, що крупність палива суттєво впливає на динаміку зміни газопроникності шару під час спікання, а також на розміри зони горіння та сушки.

Встановлено, що подача усього палива наприкінці огрудкування знижує витрату палива, але дещо знижує продуктивність. Тому для досягнення заданої продуктивності зі зниженням витрати палива раціональним буде часткова подача палива у шихту та наприкінці огрудкування.

### **Перелік використаних джерел**

1. Бочка В. В., Тараканов А. К., Сова А. В., Бойко М. М., Ягольник М. В., Двоєглазова А. В. Удосконалення технології виробництва якісного агломерату. *в.* 2019. № 1. С. 5–14. DOI: <https://doi.org/10.34185/trm.1.2019.01>.
2. Zhao J., Loo C. E., Ellis B. G. Improving Energy Efficiency in Iron Ore Sintering through Segregation: a Theoretical Investigation. *ISIJ International*. 2016. Vol. 56. No. 7. pp. 1148–1156. DOI: <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2015-686>.
3. Zhou M., Zhao D., Zhang J., Yang G., Hou E., Liu M., Zhang H., Jiang X., Fan K., Shen F. Research on the Quality Improvement and Consumption Reduction of Iron Ore Agglomeration Based on Optimization. *Metals*. 2023. Vol. 13 (3). P. 480. DOI: <https://doi.org/10.3390/met13030480>.

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АГЛОМЕРАТУ**

**Залужна В. П.**

*студентка гр. МЕа-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кухар В. В.**

*д.т.н., професор, проректор з науково-дослідної роботи*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Підготовка шихтових матеріалів є ключовим етапом агломераційного процесу, який безпосередньо визначає якість і стабільність доменного виробництва. Від ефективності усереднення, зволоження та грануляції шихти залежить міцність, газопроникність і хімічна однорідність агломерату. Сучасні умови підвищених вимог до енергоефективності та екологічної стійкості металургійного виробництва потребують впровадження інноваційних підходів до підготовки сировини. У цьому дослідженні увагу зосереджено на пошуку шляхів удосконалення попередньої підготовки агломераційної шихти із застосуванням евристичних методів контрольних запитань А. Осборна та Т. Ейлоарта, при цьому використано вибіркові питання, адаптовані до технологічних аспектів формування гранул і стабілізації гранулометричного складу шихти.

**Метод контрольних запитань А. Осборна**

**Питання 1: Що можна застосувати інакше?**

Традиційне усереднення компонентів агломераційної шихти не завжди забезпечує рівномірність її гранулометричного складу. Альтернативним підходом може бути поетапна підготовка матеріалу з елементами селективної грануляції. Після первинного змішування шихту обробляють у змішувачах при природній вологості, що сприяє руйнуванню локально перезволожених ділянок

шламу й концентрату. Подальша обробка при оптимальному рівні вологості забезпечує формування більшої частки гранул необхідного класу 1,6–10,0 мм [1]. Завдяки цьому зменшується ризик сегрегації матеріалу під час транспортування, складського зберігання та подачі в агломераційний процес.

**Питання 2: Що можна адаптувати з інших галузей?**

Для вдосконалення підготовки агломераційної шихти доцільно використати підхід, запозичений із доменного виробництва – попереднє окиснення паливного компонента [2]. Такий прийом, доведений ефективним при вдуванні пиловугільного палива, сприяє зменшенню його схильності до злежування і підвищує стабільність процесу горіння. Адаптація цього принципу до умов агломераційного процесу дає змогу покращити рівномірність розподілу палива в шихті, забезпечити сталість теплового режиму та підтримати необхідну газопроникність шару.

**Питання 3: Що можна модифікувати у існуючому процесі?**

Одним із напрямів вдосконалення попередньої підготовки шихти є модифікація процесу грануляції шляхом введення допоміжного дробильного компонента. Введення у шихту частки грубозернистого матеріалу (близько 10–40 % від маси суміші) активізує подрібнення у змішувачах та сприяє формуванню стабільних гранул однорідної крупності [1]. Така попередня грануляція перед етапами усереднення та зберігання мінімізує явище злежування, запобігає неорганізованому структуроутворенню й забезпечує сталість гранулометричного складу під час підготовки шихти до агломераційного процесу.

**Питання 4: Що можна збільшити для покращення якості?**

Підвищити якість агломерату можна за рахунок інтенсифікації стадії попередньої грануляції. Одним із ключових чинників є контроль вологості шихти: збільшення рівномірності її зволоження до 90–95 % забезпечує формування міцніших сирих гранул і зменшує утворення пилових фракцій [1]. Оптимізація режиму зволоження досягається вдосконаленням систем розпилення води та автоматизованим керуванням вологістю у змішувачах, що сприяє стабільності гранулометричного складу під час подальшої агломерації.

## **Метод контрольних запитань Т. Ейлоарта**

### **Питання 1: Як сформулювати ідеальне кінцеве рішення?**

Ідеальне рішення полягає у створенні технології попередньої підготовки шихти, яка забезпечує формування стабільних за крупністю та складом гранул ще до етапу спікання. Такий підхід має повністю усунути явище сегрегації під час транспортування й складського зберігання, гарантувати рівномірний розподіл компонентів у штабелі та сталість гранулометричного складу. У результаті це дозволяє отримати агломерат з мінімальними коливаннями вмісту заліза та основності, що безпосередньо підвищує ефективність доменного процесу [1].

### **Питання 2: Які існуючі недоліки основних рішень?**

Традиційні методи підготовки агломераційної шихти мають суттєву ваду – відсутність контрольованого формування структури матеріалу під час штабелювання для усереднення. У процесі подачі дрібнодисперсних компонентів – концентрату та шламу – матеріал розшаровується за крупністю, що спричиняє сегрегацію й нерівномірний розподіл фракцій. Такі порушення структури призводять до коливань хімічного складу шихти та нестабільності газодинаміки при спіканні [1].

### **Питання 3: Які альтернативні принципи можна використати?**

Одним із перспективних напрямів є впровадження керованого процесу структуроутворення шихти ще до її усереднення. Замість пасивного складування матеріалів доцільно формувати гранули із заданими властивостями – розміром 1,6–10,0 мм та стійкою внутрішньою структурою. Такий підхід мінімізує ризики сегрегації й злежування під час транспортування, забезпечує стабільний розподіл фракцій у штабелі та в кінцевому результаті підвищує міцність агломерату [1].

### **Питання 4: Які нові технології інтегрувати?**

Для підвищення ефективності процесу можна інтегрувати систему автоматизованого контролю крупності матеріалів. Сучасні лазерні аналізатори дозволяють моніторити гранулометричний склад шихти в реальному часі та автоматично корегувати параметри дроблення та змішування, що забезпечує стабільність фракційного складу та покращує якість агломерату [1].

### **Висновки**

1. Експериментальний аналіз показав, що якість агломерату визначається ефективністю попередньої підготовки шихтових матеріалів, зокрема рівномірністю зволоження та стабільністю гранулометричного складу. Збільшення частки рівномірно зволжених гранул до 90–95 % забезпечує підвищення міцності сирих гранул у середньому на 20–25 %.

2. Оптимізація процесу грануляції з використанням селективного формування гранул дозволяє мінімізувати явище сегрегації під час транспортування та штабелювання, що сприяє підвищенню однорідності складу агломерату.

3. Встановлено, що застосування багатостадійного змішування у поєднанні з автоматизованим контролем вологості та крупності гранул стабілізує параметри шихти й зменшує коливання хімічного складу агломерату за вмістом заліза на 1,5–2 %.

4. Упровадження вдосконалених методів попередньої підготовки шихти забезпечує не лише підвищення міцності й стабільності агломерату, але й зниження питомих витрат енергії на 5–7 % завдяки скороченню часу сушіння та поліпшенню газопроникності шару.

### **Перелік використаних джерел**

1. Сігарьов Є. М., Руденко Р. М., Кащеев М. А., Руденко М. Р., Чубіна О. А. Підвищення ефективності підготовки агломераційної шихти. *Метал та лиття України*. 2024. Т. 32, № 2 (337). С. 8–16. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.001>.
2. Sexton D. C., Steer J. M., Marsh R., Greenslade M. Investigating char agglomeration in blast furnace coal injection. *Fuel Processing Technology*. 2018. Vol. 178. P. 24–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.05.013>.

## ОЦІНКА ВПЛИВУ МЕТОДІВ ПІДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ НА ЯКІСТЬ АГЛОМЕРАТУ

**Залужний С. О.**

*студент гр. МЕа-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кухар В. В.**

*д.т.н., професор, проректор з науково-дослідної роботи*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Агломерація залізорудної сировини є основним етапом підготовки матеріалу до доменного виробництва, а ефективність цього процесу значною мірою визначається методами підготовки агломераційної шихти, від яких залежить рівномірність її гранулометричного складу та якість отриманого агломерату. Якість агломерату – його міцність, газопроникність та хімічний склад – значною мірою залежить від ефективності попередньої підготовки шихтових матеріалів. Підготовка шихти включає вибір оптимальної крупності матеріалів, їх змішування, зволоження та грануляцію, що в сукупності визначає газодинаміку процесу спікання та структуру кінцевого продукту. Дане дослідження спрямоване на аналіз впливу різних методів підготовки агломераційної шихти на якість агломерату із застосуванням евристичних методів контрольних запитань А. Осборна та Т. Ейлоарта як інструментів для генерування технологічних рішень, при цьому використано лише деякі вибіркові запитання з розроблених авторами переліків, адаптовані до технологічної тематики.

### **Метод контрольних запитань А. Осборна**

#### **Питання 1: Що можна застосувати інакше?**

Замість традиційного одноетапного змішування всіх компонентів шихти можна впровадити **багатостадійне змішування та селективну грануляцію**. Запропонований у науковій статті спосіб передбачає усереднення суміші після попереднього

вирівнювання її гранулометричного складу. Вирівнювання проводиться шляхом обробки в змішувачах при природній вологості, що руйнує локально перезволожені мікрооб'єми шламу і концентрату, а подальша обробка при оптимальній вологості сприяє утворенню гранул бажаного класу 1,6–10,0 мм [1].

**Питання 2: Що можна адаптувати з інших галузей?**

Для підвищення ефективності процесу можна адаптувати принцип фракціонування та окремого дозування компонентів, описаний у патентній документації. Цей метод передбачає, що перед подачею до складу шихти аглоруду додатково розподіляють за крупністю, а зерна розміром 5,00–6,00 мм змішують з окалиною у визначеному співвідношенні перед введенням до шихти [2]. Це забезпечує оптимальний тепловий режим спікання.

**Питання 3: Що можна модифікувати у існуючому процесі?**

Можна модифікувати процес грануляції, інтенсифікувавши його шляхом додавання до суміші грубозернистого компонента (звороту агломерату або аглоруди), який виконує функцію дробильного середовища. Як зазначено в дослідженні, додавання такого компонента у кількості 10–40 % від ваги суміші інтенсифікує процес дроблення в змішувачі та сприяє кращому формуванню гранул. Крім того, грануляція шихти перед усередненням та витримуванням на складі усуває явище злежування та неорганізованого утворення макроструктур [1].

**Питання 4: Що можна збільшити для покращення якості?**

Для стабілізації якості можна збільшити ступінь усереднення та контролю гранулометричного складу. Автори наукової роботи зазначають, що вирішення проблеми неорганізованого структуроутворення при формуванні штабелів дозволяє значно покращити якість агломерату та збільшити продуктивність агломераційних машин. Це досягається за рахунок зниження коливань хімічного складу агломерату за вмістом заліза та основності [1].

**Метод контрольних запитань Т. Ейлоарта**

**Питання 1: Як сформулювати ідеальне кінцеве рішення?**

Ідеальне рішення полягає у створенні технології, яка забезпечує формування однорідних за складом і крупністю гранул шихти,

що надійно усуває явище сегрегації матеріалу. Така технологія має забезпечити стабільну високу газопроникність шару шихти під час спікання, що є ключовим фактором для отримання міцного агломерату [1, 2].

### **Питання 2: Які існуючі недоліки основних рішень?**

Основним недоліком традиційних методів без попереднього фракціонування є знижена ефективність агломераційної переробки та підвищені викиди шкідливих речовин. Це зумовлено різницею в питомій густині, крупності та формі зерна шихтових матеріалів. Наслідком є те, що крупні зерна аглоруди не приймають участі у утворенні розплаву і переходять у агломерат у вигляді вільних включень, що є джерелом його руйнування [2].

### **Питання 3: Які альтернативні ресурси чи матеріали можна застосувати?**

Ефективною альтернативою є **використання металургійних відходів, таких як окалина**, у чітко визначеній пропорції. Як зазначено в патенті [2], оптимальне співвідношення окалини та крупнозернистої аглоруди визначається експериментально або за тепловим балансом шихти з урахуванням питомої теплоємності аглоруди та вмісту монооксиду заліза в окалині. Це дозволяє підтримувати оптимальний температурний режим спікання.

### **Питання 4: Які нові принципи можна використати?**

Новим принципом є активне втручання в процес структуроутворення шихти на етапі її підготовки. Запропонований у дослідженні спосіб передбачає не просто пасивне змішування, а активне формування гранул з заданими властивостями (класу 1,6...10,0 мм) для усунення сегрегації та злежування, що в кінцевому підсумку сприяє зміцненню спеку [1].

### **Висновки**

1. Якість агломерату критично залежить від способу підготовки шихти, зокрема від рівномірності її гранулометричного складу та відсутності явища сегрегації матеріалів.

2. Найбільш перспективними є методи, що передбачають активне формування структури шихти, такі як селективна грануляція та фракціонування з додаванням металургійних відходів (окалини).

3. Впровадження передових методів підготовки дозволяє досягти не лише покращення якості агломерату (міцності), але й економічних та екологічних переваг за рахунок зниження витрат палива та зменшення шкідливих викидів.

4. Для подальшого удосконалення технології необхідно розробляти комплексні системи, що поєднують точне дозування, фракціонування та грануляцію з автоматизованим контролем якості на кожному етапі.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Сігарьов Є. М., Руденко Р. М., Кашцев М. А., Руденко М. Р., Чубіна О. А. Підвищення ефективності підготовки агломераційної шихти. *Метал та лиття України*. 2024. Том 32. № 2 (337). С. 8–16. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.001>.
2. Карий М. О., Федченко-Дубровін В. Б., Єременко Г. І. Спосіб підготовки шихти до агломерації. Патент України № UA43754A. Заявл. 16.08.2001. Опубл. 17.12.2001.

## **БЕЗПЕКА ОФІСНИХ СИСТЕМ ЯК ФАКТОР ПРОДУКТИВНОСТІ**

**Крохальов О. О.**

*студент гр. МЕ-25-1ф*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Полупан В. Г.**

*викладач циклової комісії автоматизації металургійного  
виробництва та механічного обладнання*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасні офісні системи працюють у середовищі стрімкого зростання кіберзагроз, що робить безпеку не просто інструментом захисту, а й критичним фактором, що впливає на ефективність організації. В умовах сучасних технологічних реалій, коли

від успішного функціонування систем залежить стабільність бізнес-процесів, питання інформаційної безпеки набуває ще більшої значущості. Вказане підтверджується результатами досліджень українських науковців, таких як В. Величко, О. Кузьміна та інших, які наголошують, що рівень захищеності інформаційних систем безпосередньо впливає на здатність організації ефективно реагувати на зовнішні та внутрішні виклики, зберігаючи стабільність операційної діяльності [1].

Однак, разом із забезпеченням надійного захисту, аналіз наукової літератури показує, що навіть найефективніші політики безпеки можуть створювати додаткове навантаження на організацію. Зокрема, складні механізми автентифікації, багаторівневі перевірки та обмеження доступу можуть значно уповільнити виконання щоденних операцій. Як зазначає О. Кузьмін, надмірно складні процедури безпеки можуть суттєво знижувати продуктивність співробітників, а їхня неадаптованість до реальних робочих потреб призводить до фрустрації персоналу та зниження загальної ефективності організації.

Крім того, значна частина організацій намагається зменшити кількість перевірок та контролю для того, щоб прискорити робочі процеси. Однак такі зміни часто призводять до зворотного ефекту – зростає кількість інцидентів безпеки, що, у свою чергу, потребує додаткових ресурсів для відновлення систем. Як показує практика, витрати часу та коштів на ліквідацію наслідків інцидентів значно перевищують час, що був би витрачений на профілактичні заходи, якщо б рівень контролю був збалансованим. Даний факт відображається у висновках українських дослідників, які підкреслюють необхідність регулярного перегляду політик безпеки та адаптації їх до реальних умов бізнесу, аби уникнути непотрібних затримок і ризиків для організації [1].

У зв'язку з цим стає очевидним важливе завдання: знайти оптимальний баланс між рівнем захищеності і ефективністю робочих процесів. Важливо враховувати специфіку організаційної структури, тип даних, з якими працюють співробітники, а також рівень їх цифрової компетентності. Як зазначає О. Кузьмін [2],

організації, що встановлюють надто високі вимоги до безпеки без урахування цих факторів, часто стикаються з зниженням продуктивності та підвищенням рівня стресу серед співробітників, що може призвести до зниження загальної ефективності бізнесу.

Разом з тим, сучасні технології пропонують ефективні рішення для збалансування цих двох аспектів. Адаптивні механізми безпеки, такі як поведінкова автентифікація, умовний доступ та інтелектуальне фільтрування загроз, дозволяють значно зменшити навантаження на персонал, одночасно покращуючи захист інформаційних систем. Такі технології дозволяють оперативно реагувати на потенційні загрози, не створюючи зайвих затримок у роботі співробітників. Вони також дозволяють знижувати кількість ручних перевірок і оптимізувати час прийняття рішень, що є надзвичайно важливим для великих офісних систем, де ефективність і безпека повинні працювати в синергії.

Взаємозв'язок між безпекою та продуктивністю офісних систем формується під впливом низки технологічних, організаційних і поведінкових факторів. Успішна модель управління безпекою повинна включати в себе поєднання сучасних технічних рішень з підвищенням цифрової грамотності персоналу, а також адаптивними політиками безпеки, які регулярно переглядаються у відповідь на зміни в ризиковому середовищі. Лише за умови правильно збалансованої політики безпеки організація може забезпечити гармонійне поєднання продуктивності та надійного захисту своїх інформаційних систем, не жертвуючи ні тим, ні іншим.

### **Перелік використаних джерел**

1. Величко В. Б. Інформаційна безпека організацій: методи, засоби та технології захисту. Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2019. 286 с.
2. Кузьмін О. Є., Мельник О. Г. Управління інформаційними ризиками в організаціях. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2020. 214 с.

## **ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ СІРКИ В СТАЛІ**

***Литвиненко О. В.***

*студент гр. МЕ-25-1ф*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Малій О. Г.***

*викладач циклової комісії з автоматизації металургійного виробництва та механічного обладнання, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Підвищення вимог до якості сталі зумовлює необхідність зменшення вмісту шкідливих домішок, особливо сірки, яка негативно впливає на технологічні, фізико-механічні та експлуатаційні властивості металу. Надлишок сірки призводить до крихкості, розтріскування та зниження міцності сталі. У сучасних умовах досягнення наднизьких концентрацій ( $[S] < 0,005 \%$ ) неможливе лише традиційними методами плавки через високий рівень окисненості шлаку та металу, тому застосовується позапічна десульфурація [1].

Сірка належить до основних шкідливих домішок, що знижують однорідність структури сталі. Її видалення є критично важливим для отримання ІF-сталей (Interstitial-Free), які характеризуються високою пластичністю та чистотою, необхідними для автомобілебудування, енергетики та приладобудування. Підвищення якості сталі безпосередньо впливає на темпи розвитку машинобудування, адже забезпечує надійність деталей, що працюють у складних умовах навантаження, температур і середовищ.

Повнота видалення сірки залежить від складу шлаку та ступеня його основності; температури обробки; площі контакту металу з шлаком; умов дифузії та рівноваги між фазами.

У виробничих умовах рівновага досягається рідко, тому необхідне дослідження кінетики та механізмів десульфурації для забезпечення стабільно низьких концентрацій S.

Сучасні технології видалення сірки ґрунтуються на використанні твердих шлакових сумішей та рафінуючих шлаків різного складу; застосуванні рідкісноземельних металів; інжекції порошкових матеріалів через дріт або фурми; вакуумуванні, продуванні нейтральними газами, електричних впливах [3].

Попри ефективність вакуумної та електричної обробки, їх широке застосування обмежується високою вартістю обладнання. Більш доступним є інжектування шлакоутворювальних сумішей безпосередньо в ковші, що забезпечує активну взаємодію металу з реагентом [4].

Основні труднощі позапічної десульфурації пов'язані з насиченням шлаку продуктами реакції; гальмуванням дифузійних процесів; потребою постійного оновлення реакційної поверхні; відсутністю стандартизованих вимог до параметрів інжекційного обладнання та систем автоматичного контролю [5].

Шлак залишається незамінним елементом процесу, виконуючи теплоізолюючу та покривну функції, а також адсорбуючи сульфід, що утворюються.

Актуальним напрямом досліджень [6] є створення високоефективних порошкових шлакоутворюючих сумішей на основі дешевих і доступних матеріалів, що дозволить досягати рівнів  $[S] \leq 0,007-0,009\%$  у масових марках сталі. Поєднання контрольованих дифузійних та осаджувальних процесів десульфурації є ключем до отримання високоякісного, однорідного металу, придатного для виробів із підвищеними вимогами до міцності, пластичності та довговічності.

### **Перелік використаних джерел**

1. Журавльова С. В., Стоянов О. М., Нізяєв К. Г., Малій Х. В., Синегін Є. В., Мамешин В. С. Технології позапічної десульфурації сталі : монографія. Дніпро : Середняк Т. К., 2024. 150 с.
2. Шкідливі та корисні домішки у сталі. URL: <https://runews.com.ua/shkidlivi-ta-korisni-domishki-u-stali/> (дата звернення: 5.11.2025 р.).
3. Шаповалов В. О., Біктагіров Ф. К., Могилатенко В. Г. Позапічне оброблення сталі: способи, процеси, технології / за ред. акад.

- І. В. Кривцуна ; НАН України, Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона. Київ : Хімджест, 2023. 359 с.
4. О. С. Воденнікова, П. В. Головков. Сучасний досвід десульфурації сталі. *Металознавство та оброб. металів*. 2021. 27. № 4. С. 33–44.
  5. Стоянов О. М. Розробка та освоєння технології інжекційної обробки сталі твердими шлакоутворюючими сумішами : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.16.02 ; Нац. металург. акад. України. Дніпро, 2007. 19 с.
  6. Воденнікова О. С., Головков П. В., Воденнікова Л. В. Аналіз сучасних аспектів десульфурації сталі: дослідження України та зарубіжжя. *Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України* : тези доповідей III Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 13 жовтня 2021 року / редкол.: О. С. Волошкіна та ін. Київ : ІТТА, 2021. С. 1393–1398.

## **SWOT-АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ НАК «НАФТОГАЗ УКРАЇНИ»**

**Мельник К. С.**

*студентка гр. МНБ-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Щербань О. Д.**

*к.е.н., доцент, доцент кафедри металургії та організації виробництва, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

В умовах глибокої трансформації енергетичного ринку, геополітичної нестабільності та воєнного стану ефективно стратегічне планування стає запорукою виживання та розвитку ключових національних компаній. Для НАК «Нафтогаз України» як основного гравця у сфері енергобезпеки країни застосування сучасних інструментів стратегічного аналізу є не просто бажаним, а життєво

необхідним. SWOT-аналіз, який дозволяє системно структурувати внутрішній стан підприємства (сильні та слабкі сторони) та оцінити зовнішнє середовище (можливості та загрози), виступає фундаментом для формування реальної та адаптивної стратегії розвитку в умовах високої невизначеності [1, 2].

*SWOT-аналіз дозволяє комплексно оцінити стратегічний потенціал «Нафтогазу». Внутрішні чинники (Сильні та Слабкі сторони)*

**Сильні сторони (Strengths):** Основними активами компанії є її стратегічне положення на ринку, розвинена інфраструктура (одна з найпотужніших ГТС в Європі та ПСГ), пряма підтримка держави, а також накопичений досвід і експертиза. Ці фактори формують конкурентну перевагу та є основою для стабільного функціонування [2].

**Слабкі сторони (Weaknesses):** До ключових внутрішніх проблем належать застаріла матеріально-технічна база, що потребує модернізації, фінансова нестабільність, обумовлена борговим навантаженням, низька інвестиційна привабливість через непрозорість управління та репутаційні ризики, а також глибока залежність від політичної кон'юнктури, що обмежує операційну автономію.

*Зовнішні чинники (Можливості та Загрози)*

**Можливості (Opportunities):** Зовнішнє середовище відкриває для «Нафтогазу» низку стратегічних можливостей. Серед них – процес євроінтеграції та доступ до європейських ринків, потенціал для залучення іноземних інвестицій після проведення реформ, розвиток альтернативної енергетики для диверсифікації бізнесу, а також стратегічна роль України як транзитної держави для постачання газу до Європи [3].

**Загрози (Threats):** Компанія функціонує в умовах високих зовнішніх ризиків. Найбільш критичними є пряма загроза руйнування інфраструктури внаслідок військових дій, волатильність світових цін на енергоносії, політична нестабільність, що впливає на регуляторне середовище, обмежений доступ до міжнародного фінансування та посилення конкуренції з боку приватних постачальників [2].

На основі результатів SWOT-аналізу можна сформулювати низку стратегічних рекомендацій:

1. Пріоритетом проведення змін має стати реформа корпоративного управління згідно з міжнародними стандартами (OECD), спрямована на підвищення прозорості та підзвітності, що дозволить подолати корупційні ризики та зробіть компанію привабливою для інвесторів [1].

2. Слід активізувати роботу з європейськими партнерами, використовуючи потужну ГТС та статус транзитної держави для інтеграції в єдиний європейський енергетичний ринок, а також залучення фінансування ЄС на модернізацію інфраструктури [3].

3. Для зменшення залежності від традиційного газу та використання тренду на «зелену» енергетику необхідно розробити та впровадити програму розвитку напрямків біогазу та водню.

4. Розробити комплексний план дій на випадок ескалації зовнішніх загроз (поглиблення військових ризиків, різкі коливання ринків) для забезпечення безперебійності роботи критичної інфраструктури.

Таким чином, SWOT-аналіз наочно демонструє, що «Нафтогаз України» є підприємством з потужним стратегічним потенціалом, який, однак, значною мірою нейтралізується системними внутрішніми слабкостями та знаходиться під серйозним тиском зовнішніх загроз. Як інструмент стратегічного планування, SWOT-аналіз дозволяє не лише констатувати ці фактори, але й вибудувати логічні зв'язки між ними. Ключем до успіху є не ізольована робота над усуненням недоліків, а комплексна стратегія, спрямована на використання сильних сторін (інфраструктура, підтримка держави) для максимізації можливостей (євроінтеграція, диверсифікація) та одночасної мінімізації впливу загроз (війна, політична нестабільність) через подолання слабкостей (непрозорість, застарілість активів). SWOT-аналіз виступає основою для формування збалансованої та життєздатної стратегії відновлення та розвитку компанії в довгостроковій перспективі [1-3].

**Перелік використаних джерел**

1. International Monetary Fund (2023). Ukraine: Energy Sector Reforms and Fiscal Sustainability [Електронний ресурс]. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2023/02/10/Ukraine-Energy-Sector-Reforms-and-Fiscal-Sustainability-530127>
2. Держенергоефективності України (2023). Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електронний ресурс]. URL: <https://www.saee.gov.ua/uk/activity/strategic-planning>
3. European Commission (2022). EU-Ukraine Strategic Energy Partnership [Електронний ресурс]. URL: [https://energy.ec.europa.eu/topics/international-cooperation/ukraine\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/international-cooperation/ukraine_en)
4. Світовий банк (2023). Ukraine: Supporting Energy Security and Recovery [Електронний ресурс]. URL: <https://www.worldbank.org/en/country/ukraine>
5. Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР) (2023). Ukraine: Energy Sector [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ebrd.com/ukraine-energy-sector.html>

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРІВ ПІДКАТУ  
ДЛЯ ДРОТЯНОГО БЛОКУ НА ТОЧНІСТЬ ПРОФІЛЮ  
ПО ДОВЖИНІ МОТКУ КАТАНКИ**

**Нагорна Т. В.**

*студентка гр. МЕч-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Штода М. М.**

*к.т.н., доцент кафедри металургії та організації виробництва,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Світовий ринок катанки (Wire Rods) демонструє стійкий, хоча й помірний, ріст, тісно корелюючи з інвестиціями в інфраструктуру [1]. В Україні попит на катанку зріс на 11% у 2024 році,

досягнувши 460 тис. т, що обумовлено потребами будівельного та військово-промислового комплексів [2]. Водночас, вимоги замовників до якості суттєво перевищують чинні стандарти (наприклад, вимагають допуск  $\pm 0,2$  мм для  $\varnothing 5,5$  мм та відсутність дефектів на кінцях бунтів). Ці тенденції актуалізують необхідність вдосконалення технології високошвидкісних дротопрокатних станів, оскільки забезпечення максимальної продуктивності традиційно конфліктує з досягненням найвищих показників геометричної точності.

Сортопрокатний стан 400/200 (ПрАТ «Камет-Сталь»), введений в експлуатацію у 2014 році, є сучасним високотехнологічним агрегатом. Його обладнання включає нагрівальну піч із крокуючими балками, касетні кліті та високошвидкісні дротяні блоки, глибокий рівень автоматизації, що відповідає світовим стандартам [3].

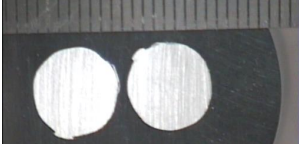
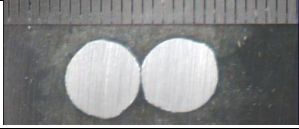
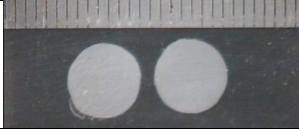

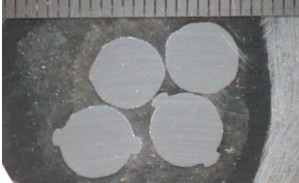
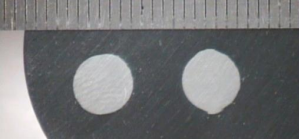
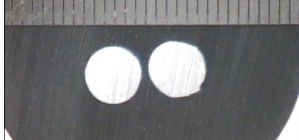
Для аналізу геометричних параметрів було відібрано репрезентативні проби катанки від  $\varnothing 5,5$  до 8,0 мм зі складу готової продукції СПЦ. Зразки довжиною 300 мм бралися з переднього та заднього кінців бунтів. У ЦЗЛ були виготовлені металографічні шліфи для подальшого дослідження поперечного перерізу (табл. 1).

Аналіз геометрії профілю кінців бунтів катанки  $\varnothing 5,5$ –8,0 мм виявив суттєві відхилення від ідеально круглої форми, що візуально наближаються до багатогранника. Було встановлено, що на передніх і задніх кінцях мотків фіксується вихід розмірів поперечного перерізу за межі допусків  $\pm 0,4$  мм. Це відхилення є прямим наслідком переповнення калібру (появи «усів») через відсутність натягіння між клітями чистового блоку на початку та в кінці прокатки профілю. Як наслідок, кінці мотків катанки не відповідають вимогам стандартів та класифікуються як дефектні.

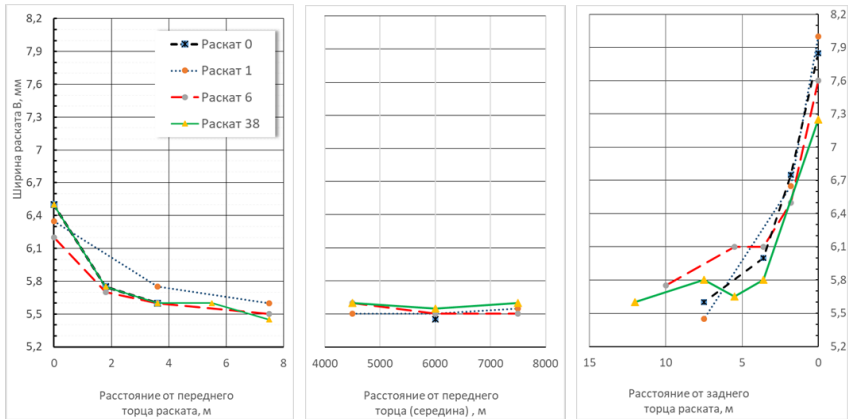
На основі цього висновку висунуто гіпотезу, що для усунення дефекту необхідно забезпечити стабільне та мінімальне натягіння між клітями по всій довжині розкату. Згідно з теоретичними розрахунками, це можливо досягти шляхом зміни розмірів підкату (розкату після 20-ї кліті, що задається у дротяний блок).

Отже, основна мета експерименту – дослідження впливу розмірів підкату на довжину дефектних кінців мотків катанки та на стабільність розмірів профілю.

Таблиця 1  
**Геометрія профілю катанки  $\varnothing$  8 мм,  $\varnothing$  7 мм,  $\varnothing$  6,5 мм,  $\varnothing$  5,5 мм на передньому та задньому кінцях мотків бунтів катанки**

Катанка $\varnothing$ 8 мм	
Передній кінець	Задній кінець
	Дані відсутні
Катанка $\varnothing$ 7 мм	
Передній кінець	Задній кінець
	
Катанка $\varnothing$ 6,5 мм	
Передній кінець	Задній кінець
	
Катанка $\varnothing$ 5,5 мм	
Передній кінець	Задній кінець
	

Спочатку провели налаштування високошвидкісного блоку на підкат  $17,7 \times 17,7$  мм, в подальшому поступово зменшували його розміри для кожного випадку. Вимірювання показали, що в середній частині мотка профіль катанки для всіх використаних розмірів підкату має високу якість та стабільність з допуском на діаметр  $\pm 0,1$  мм (рис. 1).



**Раскат 0** – підкат з 20-ї кліті  $17,5 \times 17,9$  мм;

**Раскат 1** – підкат з 20-ї кліті  $17,7 \times 17,7$  мм; **Раскат 6** – підкат з 20-ї кліті  $17,5 \times 17,3$  мм; **Раскат 38** – підкат з 20-ї кліті  $17,25 \times 17,35$  мм

**Рис. 1.** Зміни ширини катанки діаметром 5,5 за довжиною мотка

Також дослідно-промислова прокатка підтвердила вплив зменшення розмірів підкату на скорочення довжини дефектних кінців. Для найкращого випадку довжина переднього дефектного кінця зменшилася до 0,9 м. Проте, ключовим результатом є те, що зі зменшенням розмірів підкату для чистового блоку зменшується не так протяжність дефекту, як його амплітуда (тобто, висота «вуса»). Отриманих результатів недостатньо для повного усунення переповнення калібру на початку та в кінці прокатки. Остаточне вирішення проблеми (досягнення нульової дефектності) вимагає подальшого комплексного дослідження та оптимізації налагодження блоку, швидкісних і/або температурних режимів.

### **Перелік використаних джерел**

1. Worldsteel Short Range Outlook – October 2025. *World Steel Association AISBL*. 13.10.2025. URL: <https://worldsteel.org/media/press-releases/2025/worldsteel-short-range-outlook-october-2025/> (дата звернення: 05.11.2025).
2. Григоренко Ю. Зростання споживання металопрокату в Україні у 2024 році сповільнилося до 10 %. *GMK Center. Головна / Статті*. 12.02.2025. URL: <https://gmk.center/ua/posts/zrostannia-spozhyvannia-metaloprokatu-v-ukraini-u-2024-rotsi-spovilnylosia-do-10/> (дата звернення: 05.11.2025).
3. Інноваційні рішення щодо впровадження сучасного сортопрокатного виробництва у діючих прокатних цехах (на прикладі реконструкції сортопрокатного цеху ПАТ «ДМКД») / О. О. Павленко та ін. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2014. Т. 4. С. 31–34.

## **АНАЛІЗ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У СТАЛІ**

### ***Перехода С. С.***

*студент гр. МЕ-25-1ф*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

### ***Малій О. Г.***

*викладач циклової комісії з автоматизації металургійного виробництва та механічного обладнання, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сталь – основний конструкційний матеріал, що характеризується високою міцністю, пластичністю, гнучкістю та зносостійкістю. Втім, на ці властивості істотно впливають неметалеві включення – сторонні речовини, які порушують однорідність структури сталі. Надлишок або великі за розміром включення знижують пластичність, ударну в'язкість, опір втомі,

спричинюють розтріскування, а також дефекти лиття й прокату. Таку сталь називають «брудною», тоді як «чиста сталь» має рівномірно розподілені дрібні вclusions [1, 2]. Їхній контроль та мінімізація є ключовим напрямом сучасної металургії, спрямованим на отримання «чистої сталі» з прогнозованими властивостями для відповідальних конструкцій [1, 3].

За походженням неметалеві вclusions ділять:

- природні – утворюються внаслідок реакцій у процесі плавлення (оксиди, сульфіди, нітриди, фосфіди);
- сторонні (випадкові) – потрапляють із шлаку, вогнетривів або матеріалу ливарної форми.

За хімічним складом розрізняють неметалеві вclusions:

- оксиди: прості ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ) та складні ( $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ );
- сульфіди:  $\text{FeS}$ ,  $\text{MnS}$ ,  $\text{CaS}$  тощо;
- нітриди:  $\text{TiN}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{Nb}$  – характерні для легованих сталей;
- фосфіди:  $\text{Fe}_3\text{P}$ ,  $\text{Fe}_2\text{P}$ .

Більшість вclusions у сталі – це оксиди та сульфіди. Їхня загальна кількість зазвичай не перевищує 0,1 %, однак їхній мікророзмір (до мікронів) робить вплив значним [4, 5].

За мінералогічним складом виділяють наступні неметалеві вclusions:

- вільні оксиди ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ );
- шпінелі (ферити, хроміти, алюмінати);
- силікати – найпоширеніша група, часто у вигляді скла або кристалічних фаз.

За стійкістю неметалеві вclusions бувають:

- стабільні – не розчиняються в кислотах;
- нестабільні – розчинні у слабких кислотах ( $\text{FeS}$ ,  $\text{MnS}$ ).

Наявність неметалевих вclusions погіршує пластичність, гнучкість і ударну в'язкість; здатність до деформації та формування; опір втомі, зниження міцності при низьких температурах.

Особливо небезпечні великі макровclusions (>100 мкм), які можуть спричинити руйнування навіть при їхній одиничній наявності. Наприклад, 1 кг маловуглецевої розкисленої алюмінієм сталі

міститься до  $10^7$ – $10^9$  включень, серед яких близько 400 мають розмір 80–130 мкм, а одиниці – понад 200 мкм [6].

Досягти зменшення кількості та розміру включень можна за рахунок оптимального розкислення (вибір реагенту, часу і місця введення); вторинної металургійної обробки (рафінація, вакуування); контролю переходу металу через проміжний ковш і взаємодії зі шлаком; удосконалення геометрії проміжного ковша й умов розливання.

### Перелік використаних джерел

1. Zhang L., Ren Y. Handbook of non-metallic inclusions in steel. 2025. Springer Singapore. Hardcover XIII. 816 p.
2. Yogeshwar S., Toshihiko E. Tundish Technology for clean steel production / The Ohio State University, USA; Institute of research of Iron and Steel, Jangsu/ Sha – Steel, China. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2008. 329 p.
3. Переваги сталі як матеріалу. URL: <https://uscc.ua/perevagi-stali-yak-materialu> (дата звернення: 28.10.2025 р.).
4. Бялік О. М. Металознавство : підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Політехніка, 2006. 384 с.
5. Губенко С. І., Парусов В. В., Дерев'янченко І. В. Неметалічні включення в сталі: монографія. Дніпро : АРТ-прес, 2005. 532 с.
6. Yang Z., Zhang J., Li S. On the critical inclusion size of high strength steels under ultra-high cycle fatigue. 2006. *Mater Sci Eng A*. Vol. 427 (1–2). P. 167–174.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ НА РОЛИКОПРАВИЛЬНИХ МАШИНАХ

**Пожидаєв А. В.**

*аспірант*

*Донбаська державна машинобудівна академія*

*м. Тернопіль, Україна*

Підвищення якості продукції металургійного комплексу є актуальним завданням як на сьогодні, так і в майбутньому. Смогова сталь займає провідне місце у портфелі замовлень українських металургів. Тож підвищення якості штаб, шляхом удосконалення технологічних режимів правки на роликотправильних машинах є актуальною темою наукових досліджень.

Існуюча технологічна карта для правки штаб [1] регламентує, який ступінь перекриття роликів необхідно встановити для кожної товщини з усього сортаменту металу, що прокатується, та представлена у табл. 1.

Таблиця 1

### Режими настроювання перекриттів роликів правильної машини

W/h	0,58	0,50	0,38	0,33	0,30	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10
W	3,5	3,5	3	3	3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2	2	2	2	2
h	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

W – перекриття роликів, мм;

h – товщина штаби, мм.

З табл. 1 видно деяке узагальнення величини перекриття стосовно деяких товщин, що може негативно позначитись на якості правки. Тож метою роботи було визначення раціональних режимів налаштування роликів з метою забезпечення максимальної планшетності смуги.

У табл. 2 (1 рядок) розраховано параметр W/h. Розрахунок параметру було виконано на основі методики, представленої в роботі [2]. Як бачимо, параметр W/h може коливатись в досить широких межах.

Таблиця 2

**Розрахунок раціональних режимів налаштування роликів**

1	W/h	0,58	0,50	0,38	0,33	0,30	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10
2	W	3,5	3,5	3	3	3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2	2	2	2	2
3	h	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	W/hпол.	0,576	0,476	0,392	0,32	0,26	0,208	0,165	0,13	0,093	0,062	0,031	-0	-0,04	-0,08	-0,13
5	W/hпол. розр.	0,58	0,484	0,403	0,337	0,28	0,241	0,208	0,18	0,164	0,149	0,138	0,128	0,117	0,104	0,088
6	Wрозр.	3,48	3,39	3,23	3,04	2,84	2,65	2,50	2,38	2,30	2,24	2,21	2,17	2,10	1,98	1,76

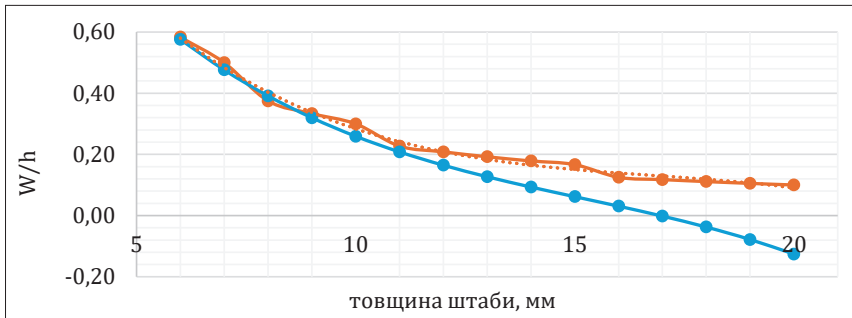
W/hпол. – розрахунок за допомогою поліноміального рівняння

W/hпол. роз – розрахунок розширеного до 6 знаків після коми

На рис. 1 було побудовано графік залежності W/h від товщини та лінія тренду, використовуючи поліном третього ступеню. Розрахунки проводились за допомогою програмного забезпечення Excel. Рівняння регресії має вигляд (жовта крива рис. 1). Якщо ми визначимо точки W/h (4 рядок табл. 2), підставивши товщину у рівняння, то крива не буде співпадати з базовою лінією тренду (синя крива рис. 1). Це пояснюється тим, що у налаштуваннях рівняння Excel, треба виставити не менше шести знаків після коми.

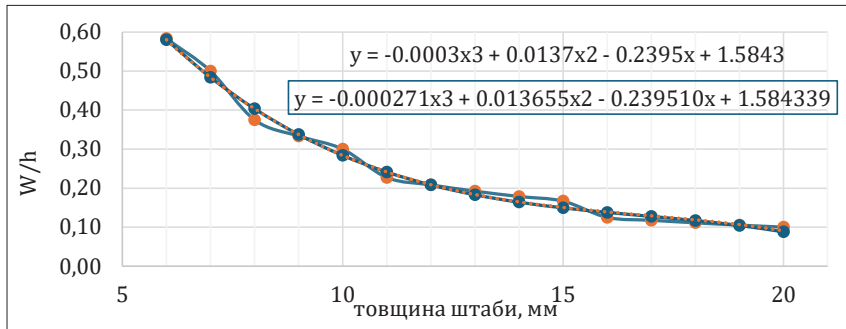
Тоді рівняння та розрахунок кривої (5 рядок табл. 2) буде мати вигляд як на рис. 2 (синя крива).

Як бачимо лінія повністю співпадає з лінією тренду.



**Рис. 1. Побудова лінії тренду за рівнянням**

У табл. 2 (шостий рядок) було визначено ступінь перекриття роликів використовуючи розраховану за останнім рівнянням W/hпол. роз. та товщину.



**Рис. 2. Побудова лінії тренду за уточненим рівнянням**

Висновок: було розраховано уточнений ступінь перекриття роликів листопральної машини; визначено ефективну точність рівнянь для побудови графіків.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Технологічна інструкція ТЛС 3000 ММК ім Ілліча. Маріуполь, 2019.
2. Грибков Е. П. Удосконалення процесу правки гарячекатаних листів і листопральних машин для його реалізації: монографія / Е. П. Грибков, Є. Ю. Гаврильченко, Ю. К. Доброносів. Одеса : Олді+, 2023. 184 с.

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ  
ДОБАВОК ДО ДУТТЯ В УМОВАХ ДОМЕННОГО ЦЕХУ  
ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»**

**Пронін І. М.**

*студент гр. МЕа-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Бойко М. М.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри металургії та організації  
виробництва, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

В умовах сучасного металургійного виробництва зниження питомих витрат коксу є ключовим фактором підвищення рентабельності виплавки чавуну. Для ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» це завдання вирішується шляхом впровадження технології комбінованого дуття, що включає збагачення дуття киснем, використання природного газу (ПГ) та пиловугільного палива (ПВП). Використання зазначеної технології на інших підприємствах загалом показало, що при спільному вдуванні ПВП і ПГ створюються умови для рівномірного окружного розподілу теоретичної температури горіння, викликані більш рівномірним відновленням заліза в печі, що дозволяє працювати при менших температурах колошникового газу та, як наслідок, з меншою нестабільністю ходу печі [1]. Втім для ефективного використання комбінованого дуття потрібно врахувати особливості умов ведення плавки для конкретних доменних печей.

Метою даної роботи є аналіз ефективності використання цих добавок на основі виробничих даних ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Аналіз роботи доменних печей (ДП № 1М, ДП № 9) за період 01.11.2025 – 21.11.2025 свідчить про складну залежність між витратами паливних добавок та якістю шихтових матеріалів.

За звітний період базові витрати скіпового коксу коливаються в межах  $\pm 30$  кг/т чавуну. Для заміщення дефіцитного та дорогого коксу активно застосовується вдування ПВП та природного газу. Згідно з даними цеху, спостерігаються відхилення фактичних витрат ПУТ від планових значень, що пов'язано з нестабільністю теплового стану печей та газодинамічного режиму.

Аналіз вплив якості сировини на ефективність добавок показує, що значна частина перевитрат коксу обумовлена якісними характеристиками шихти, зокрема:

- коливанням вмісту дріб'язку (фракція 0–5 мм) в агломераті;
- зміною міцності коксу (показники  $M_{25} / M_{10}$ );
- хімічним складом золи та вологістю коксу.

В умовах погіршення газопроникності стовпа шихти (через підвищений вміст дріб'язку) ефективність використання добавок до дуття знижується/ Примусове форсування вдування ПУТ без відповідної підготовки шихти призводить до периферійного ходу печі та збільшення сумарних витрат палива.

Оскільки головною метою застосування пиловугільного палива в доменній плавці є максимально можлива заміна дефіцитного коксу, то практика використання ПВП в умовах недостатньої компенсації його впливу зазвичай зводиться до наступного. Як правило, технологи встановлюють раніше випробуваний дуттьовий режим з максимальною витратою ПВП, за яким піч працює певний відрізок часу до перших ознак порушення рівного ходу. Затим витрата вугільного пилу скорочується, застосовуються традиційні засоби досягнення рівності ходу [2].

Аналіз економічного аспекту та собівартість при використанні комбінованого дуття демонструють, що відхилення у використанні енергоресурсів (кокс, ПУТ, ПГ) мають прямий вплив на виробничу собівартість. Оптимізація полягає у знаходженні балансу: максимальне заміщення коксу дешевшим ПУТ при збереженні стабільного теплового режиму горна (контроль вмісту Si та температури чавуну) [3].

Таким чином, ефективність використання добавок до дуття (ПГ та ПУТ) в умовах доменного цеху ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» лімітується якістю залізорудної сировини та коксу.

Для подальшого зниження собівартості чавуну рекомендовано:

1. Стабілізувати витрати ПУТ з урахуванням поточного газо-динамічного опору шихти.

2. Забезпечити оперативний контроль вологості дуття та його температури для повної газифікації ПУТ у фурменій зоні.

3. Мінімізувати коливання основності агломерату та вмісту дріб'язку для покращення газопроникності, що дозволить збільшити інтенсивність вдування добавок.

### **Перелік використаних джерел**

1. Семенов Ю. С., Горупаха В. В., Ващенко С. В., Шумельчик Є. І., Худяков О. Ю. Досвід спільного вдування пиловугільного палива і природного газу в горн доменної печі в умовах ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». *Метал та лиття України*, 2024. Vol. 32. № 2 (337). С. 17–27. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.002>
2. Крячко Г. Ю., Кузнецов М. С., Чубіна О. А., Степанченко С. М. Визначення витрати пиловугільного палива при збереженні рівного ходу доменної печі. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2020. Том 1. № 36. С. 9–13. DOI 10.31319/2519-2884.36.2020.2
3. Тесленко О. І., Куц Г. О. Техніко-економічна оцінка технологій заміщення коксу в доменному виробництві. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Том 34 (73). № 5. С. 316–321. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.5/48>

**КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ  
ЗА ПРИНЦИПОМ «ВІД ПЕЧІ ДО СЕРТИФІКАТА»  
В УПРАВЛІННІ ВЗАЄМОДІЄЮ З КЛІЄНТОМ**

**Стебунов О. О.**

*студент гр. МНп-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Шкрабак І. В.**

*д.е.н., професор, професор кафедри металургії та організації  
виробництва, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Комплексна автоматизація виробничих процесів металургійних підприємств, на відміну від часткової автоматизації, передбачає перехід до інтегрованих цифрових рішень на основі ERP-систем систем класу SCADA, MES, LIMS та індустріального Інтернету речей, що у сукупності дозволяє створити єдиний інформаційний простір підприємства та забезпечити повний контроль виробничого циклу [1]. Такий шлях, по-перше, відповідає тенденціям останніх років у царині цифрової трансформації промисловості, а по-друге, дозволяє забезпечити задоволення зростаючих вимог до якості продукції, енергоефективності, прозорості виробничих процесів та конкурентоспроможності підприємства.

Разом з тим, комплексна автоматизація виробничого процесу дозволяє використовувати її результати в інших функціональних сферах діяльності металургійного підприємства, наприклад, у сфері управління взаємодією з клієнтом.

У ливарному виробництві (від плавки металу до формування деталей) повна автоматизація контролю якості передбачає реєстрацію кожної плавки, ідентифікацію кожної деталі з використанням штрихкоду або цифрового маркування, фіксацію всіх технологічних параметрів (температура плавки, час витримки, параметри заливки, охолодження тощо), проведення хімічного

аналізу (наприклад, методами оптико-емісійної спектрометрії (OES), рентгенофлуоресцентного аналізу (XRF) та ін.), результати якого також інтегруються в цифрову систему, функцію центрального ядра якої виконує ERP-система. Після цього результати аналізів та історія виробництва зв'язуються з конкретною деталлю або партією. Для литих деталей можуть збиратися дані процесу, а на їх основі за допомогою алгоритмів машинного навчання будуватися прогнози, чи буде виріб дефектним, що відкриває шлях для попереджувального контролю та підвищення якості [1, 2].

Повна автоматизація ливарного виробництва за принципом «від печі до сертифіката», яка реалізується із застосуванням OES, XRF та лабораторної інформаційної системи LIMS (рис. 1) дає виключення помилок виробництва та практично юридичний захист продукції виробника.



**Рис. 1. Схема процесу повної автоматизації за принципом «від печі до сертифіката»**

За замовником залишається право оскарження відповідності сертифікованої металевої деталі заявленим показникам якості.

Однак за умов функціонування цифрової системи повної простежуваності виробництва «від печі до сертифіката» виробник отримує наскрізний електронний доказовий ланцюг, що включає дані про режим плавки, результати хімічного аналізу, параметри механічної обробки та результати контролю якості відповідно до ISO 9001 [3]. Сукупність даних з ERP-системи, систем керування виробництвом і лабораторних інформаційних систем дозволяє об'єктивно підтвердити відповідність деталі встановленим технічним вимогам. У разі порушення умов транспортування або експлуатації деталі така система забезпечує юридично обґрунтоване зняття відповідальності з виробника.

Отже, ERP-системи у поєднанні з SCADA, MES, LIMS та індустріальним Інтернетом речей формують основу цифрової трансформації металургійних підприємств. Реалізація таких рішень не тільки забезпечує повну автоматизацію виробничих процесів, але й виводить на новий рівень можливості підприємства у сфері управління взаємодією з клієнтами, постачальниками, транспортувальниками та іншими діловими партнерами у ланцюжку створення вартості продукції.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Токова О., Дорошенко В., Янченко О. Комп'ютерні системи термічного аналізу для моніторингу ливарних та металургійних процесів. *ITKI*. Чер 2022. Вип (2). С. 86–93. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-54-2-86-93>.
2. Schlemminger, Alexander. OES or XRF for Slag Analysis? Pros and Cons. URL: <https://quantolux.de/en/blog/oes-or-xrf-for-slag-analysis-pros-and-cons> (дата звернення 29.11.2025).
3. ISO 9001. Quality Management Systems – Requirements. URL: <https://fisip.unpatti.ac.id/wp-content/uploads/2019/08/ISO-9001-2015.pdf> (дата звернення 29.11.2025).

## **АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВІДХОДІВ У ПРОЦЕСІ АГЛОМЕРАЦІЇ**

**Цибульський П. Г.**

*студент гр МЕа-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кухар В. В.**

*д.т.н., професор, проректор з науково-дослідної роботи*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Агломерація залізорудної сировини є ключовим етапом підготовки матеріалів для доменного виробництва. Перспективним напрямом розвитку цього процесу є повторне залучення металургійних відходів – шламів, пилів, окалини та шлаків – до складу агломераційної шихти. Це сприяє зменшенню обсягів накопичених відходів, зниженню собівартості продукції та поліпшенню екологічних показників виробництва. З огляду на необхідність раціонального використання ресурсів, у роботі проведено аналіз способів застосування металургійних відходів у процесі агломерації із використанням евристичних методів контрольних запитань А. Осборна та Т. Ейлоарта, при цьому використано лише вибіркові, адаптовані до тематики дослідження запитання.

### **Метод контрольних запитань А. Осборна**

#### **Питання 1: Що можна застосувати інакше?**

Замість традиційного захоронення металургійних відходів, доцільно інтегрувати їх у агломераційну шихту як додаткове джерело заліза та флюсуючих матеріалів. Хімічний аналіз таких відходів свідчить, що вони містять оксиди, корисні для процесу агломерації, – FeO, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та MgO [1]. Їх використання дозволяє не лише зменшити собівартість сировини, а й сприяє раціональному використанню ресурсів, що відповідає принципам сталого розвитку.

**Питання 2: Що можна модифікувати?**

Перспективним напрямом модифікації агломераційного процесу є введення специфічних типів відходів, зокрема хромового шлаку. Дослідження показують, що його використання як частини сировинної суміші не лише забезпечує утилізацію відходів, але й дає змогу відновлювати цінні метали – залізо та хром. Під час спікання у відновному середовищі відбувається детоксикація шлаку з перетворенням токсичного Cr(VI) на стабільну форму Cr(III), що значно знижує екологічні ризики [2]. Мікроструктурні дослідження підтверджують, що хром входить до складу основної зв'язуючої фази (SFCA), утворюючи твердий розчин  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_2\text{O}_3$ , що забезпечує стабілізацію елемента у готовому агломераті [2].

**Питання 3: Що можна збільшити?**

Підвищити частку металургійних відходів у шихті можна за рахунок оптимізації параметрів процесу спікання. Зокрема, експериментально встановлено, що додавання оксиду хрому ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) до 3% мас. сприяє формуванню дрібноволокнистої та щільно переплетеної структури SFCA, що підвищує міцність агломерату на стиск [2]. Однак подальше збільшення вмісту  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 5% мас. спричиняє утворення масивних блокових структур SFCA та зниження міцності. Отже, визначення оптимальних меж концентрації та співвідношення компонентів є вирішальним для забезпечення якісних показників агломерату.

**Питання 4: Що можна зменшити?**

Застосування металургійних відходів у виробництві дозволяє суттєво знизити негативний вплив на навколишнє середовище [1]. Це досягається завдяки скороченню площ, призначених для захоронення шлаків і шламів, та формуванню замкнених циклів використання сировини на підприємствах. Інтеграція відходів у технологічний ланцюг сприяє створенню маловідходних та ресурсощадних виробництв, що узгоджується з екологічними цілями ЄС у сфері «зеленої» металургії [3].

**Метод контрольних запитань Т. Ейлоарта**

**Питання 1: Які недоліки наявних рішень, їх основні принципи, нові припущення?**

Головним недоліком традиційних рішень є накопичення металургійних відходів на звалищах, що спричиняє забруднення ґрунтів, води та атмосфери, а також втрату цінних ресурсів [1]. Новий підхід полягає в розгляді відходів як повноцінної сировини для агломераційного процесу. Завдяки подібності їх хімічного складу до залізорудної сировини, відходи можуть бути залучені безпосередньо в технологічний цикл з мінімальною попередньою обробкою [2].

### **Питання 2: Технологія замкнутого циклу?**

Поряд із традиційними металургійними відходами доцільно розглядати використання альтернативних джерел енергії для процесу агломерації. Перспективним є залучення вуглецевмісних відходів – пилу від аспіраційних систем доменного чи коксового виробництва, графітових шламів і залишків пиловугільного палива – як часткової заміни коксового пилу. Це дозволяє знизити витрати традиційного палива та зменшити накопичення вуглецевих залишків [1]. Такі рішення не суперечать вимогам ЄС щодо декарбонізації [3], оскільки йдеться про вторинне енергетичне використання промислових відходів. У результаті досягається ефект внутрішньої енергетичної синергії в межах замкнутого циклу підприємства, коли вторинні ресурси повертаються у технологічний процес.

### **Питання 3: Які альтернативні проблеми і системи?**

Альтернативою агломерації є використання металургійних відходів в інших галузях промисловості, наприклад, у виробництві цементу як додаткового компонента сировини або як мінерального наповнювача в дорожньому будівництві [1]. Однак використання відходів безпосередньо в межах того самого технологічного циклу, з якого вони походять (металургії), є найбільш ефективним з точки зору ресурсоощадності, оскільки дозволяє повернути у виробничий цикл корисні метали та зменшити втрати первинної сировини [2].

### **Питання 4: Яке ідеальне рішення?**

Ідеальним рішенням є створення повністю замкнутого виробничого циклу з нульовим утворенням відходів. Прагнучи до цього, досяжним кроком є розроблення комплексної системи

сортування, підготовки та дозованого введення різних типів металургійних відходів в аглошихту. Такий підхід дозволяє мінімізувати споживання первинної сировини та майже повністю утилізувати власні відходи підприємства, забезпечуючи ресурсну замкнутість і ефективність виробництва [1].

**Висновки:**

1. Застосування металургійних відходів у агломераційному виробництві є ефективним засобом зниження собівартості та покращення екологічних показників.

2. Найбільш перспективними є технології, що передбачають інтеграцію відходів із високим вмістом заліза (шлами, пили) та специфічних компонентів (хромовий шлак) для одночасної детоксикації та відновлення металів [2].

3. Для успішного впровадження потрібно попередньо аналізувати хімічний і мінералогічний склад відходів та прогнозувати їх вплив на якість агломерату.

4. Подальший розвиток полягає в розробленні технологічних регламентів і систем керування дозуванням відходів у шихту, що забезпечить стабільність параметрів спікання та якість кінцевого продукту.

**Перелік використаних джерел**

1. Ilutiu-Varvara D.-A., Aciu C. Metallurgical Wastes as Resources for Sustainability of the Steel Industry. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. P. 5488. DOI: 10.3390/su14095488.
2. Xu J., Nan G., Liu M., Zhang X., Zheng D., Du T., Luo Y., Xu L., Liu M. Understanding Chromium Slag Recycling with Sintering: Mineral Phase Evolution and Mechanical Properties. *Molecules*. 2024. Vol. 29. P. 2382. DOI: 10.3390/molecules29102382.
3. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Circular Economy Policies for Steel Decarbonisation. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*. No. 169. December 2024. Paris: OECD Publishing, 2024. 58 p. URL: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/12/circular-economy-policies-for-steel-decarbonisation\\_80056a49/4cfb485d-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/12/circular-economy-policies-for-steel-decarbonisation_80056a49/4cfb485d-en.pdf).

**ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ ПОТРЕБИ  
У СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІЙ ПІДТРИМЦІ  
ВИМУШЕНИХ МІГРАНТІВ ПРИ ПРАЦЕВЛАШТУВАННІ  
В КРАЇНІ ТИМЧАСОВОГО ПЕРЕБУВАННЯ**

**Чанглі К. М.**

*студентка гр. УСП-25-1м  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна*

**Шкрабак І. В.**

*д.е.н., професор, професор кафедри металургії та організації  
виробництва, науковий керівник  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна*

Адаптація працівника на новому робочому місці є складним процесом, який передбачає не тільки його ознайомлення з умовами і правилами роботи в організації, але й допомогу в інтеграції такого працівника в колектив. До чинників, які визначають успішну адаптацію працівників, відносять [1]: об'єктивність оцінки під час прийому і в процесі діяльності; відпрацьований механізм адаптації; імідж та репутація організації; привабливість професії; умови для оптимальної мотивації; система навчання і підвищення кваліфікації; соціально-психологічний клімат і організаційна культура; особисті якості працівника.

Останні два пункти є особливо важливими для адаптації працівників з числа вимушених мігрантів до країн Європи при працевлаштуванні їх на зарубіжних активах Групи МЕТІНВЕСТ, зокрема "Promet Steel" в Болгарії. Окрім іншого, тимчасовий захист у Болгарії надає українцям і право на доступ до ринку праці.

Разом з тим, вимушені мігранти з України в період адаптації на робочому місці зіштовхуються не тільки з організаційним стресом, пов'язаним з новим місцем роботи, але й зі стресом, викликаним проживанням в незвичному культурному середовищі,

що потребує додаткової соціально-психологічної підтримки. Ситуацію може поглиблювати існування у суспільстві певного негативного стереотипу сприйняття вимушених мігрантів, що може викликати стигматизацію та відчуття відторгнення.

Ю. Пащенко та А. Путінцев виділяють два основні підходи до адаптації вимушених мігрантів до умов нового місця проживання: соціокультурний та ресурсний. Соціокультурний підхід розглядає адаптацію як пристосування до іншої культури (зближення ідентичностей), ресурсний підхід – як пристосування до втрати вимушеними мігрантами значної частини ресурсів, а також отримання доступу до ресурсів у новому місці перебування [2]. Поєднання принципів обох підходів і перенесення центру тяжіння на рівень підприємства, на яке працевлаштовуються вимушені мігранти за кордоном України, дозволяє визначити фактори формування потреби у додатковій їх соціально-психологічній підтримці при працевлаштуванні в країні тимчасового перебування, а також визначити напрями її надання безпосередньо на підприємстві.

Грунтуючись на рекомендаціях І. Григоренко та Н. Савельєвої [3], можна визначити такі фактори і напрями соціально-психологічної підтримки.

1. Соціальний: соціальні проекти, спрямовані на розширення кола спілкування, залучення нових працівників з числа вимушених мігрантів до груп за інтересами.

2. Інформаційний: збір даних і поширення інформації про діяльність соціальних служб, ресурси громади та інших організацій, програми соціально-психологічної підтримки на підприємстві.

3. Соціально-психологічний: психологічне консультування на підприємстві, допомога в соціальній адаптації через соціальні проекти мультикультурної взаємодії на рівні підприємства і місцевої громади.

4. Соціально-правовий: надання необхідної правової підтримки (правове консультування, сприяння адвокації їхніх інтересів та захист прав).

5. Медико-психологічний: організація доступу до медичної допомоги при психічних розладах і психологічної підтримки профільними медичними службами і закладами.

6. Соціально-трудоий: консультування щодо професійних можливостей та побудови кар'єри на підприємстві.

7. Соціально-економічний: надання натуральної допомоги у вигляді наборів харчових продуктів, ліків, одягу тощо.

Реалізація зазначених напрямів дозволить підвищити ефективність програм адаптації персоналу з числа вимушених мігрантів на зарубіжних активах Групи МЕТІНВЕСТ.

### **Перелік використаних джерел**

1. Миронова О. М. (2017) Основні проблеми адаптації персоналу та методи їх вирішення на підприємствах. *Економіка і суспільство*. Випуск 3. С. 602–608. URL: [https://economyandsociety.in.ua/journals/13\\_ukr/101.pdf](https://economyandsociety.in.ua/journals/13_ukr/101.pdf) (дата звернення 24.11.2025).
2. Пащенко Ю., Путінцев А. (2018). Адаптація внутрішньо переміщених осіб в регіонах України : сутність, поняття, підходи. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: Актуальні питання науки і практики*. Випуск 9. С. 110–121. URL: <http://efm.vsau.org/storage/articles/February2020/xtQNxOpxpLu5m2UOqLcS.pdf> (дата звернення 24.11.2025).
3. Соціальна робота з внутрішньо переміщеними особами в сучасних умовах : навч. посіб. для студ. і магістр. спец-тей «Соц. робота» і «Соц. педагогіка» / І. О. Григоренко, Н. М. Савельєва. Полтава : ПНПУ, 2017. 100 с.

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АГЛОМЕРАЦІЇ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ КІЛЬКОСТІ ЗАЛІЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТУ В ШИХТІ**

**Ягольник М. В.**

*к.т.н., доцент*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

*Український державний університет науки і технологій*

*м. Дніпро, Україна*

**Павловська Г. Ю.**

*студентка гр. МЕа-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Основним компонентом залізорудної частини доменної шихти є агломерат. Цей антропогенний багатокомпонентний матеріал схожий за складом на залізні руди, оскільки містить значну кількість однойменних мінералів. Його структуру та мінералогічний склад, на відміну від руд, можна змінювати залежно від складу та умов підготовки шихти та режиму спікання.

Враховуючи це, висувається низка вимог до агломерату як основного залізовмісного матеріалу. Найбільшою проблемою сьогодні є однорідність гранулометричного складу з мінімальним вмістом дріб'язку та його міцність, що пов'язана з параметрами внутрішнього напруженого стану. Внутрішнє напруження в шматках агломерату виникає як під час процесу спікання, так і, значною мірою, під час охолодження спеку, і реалізується (проявляється) за допомогою механічної обробки.

Міцність офлюсованих агломератів залежить від мінерального складу зв'язуючих рудних зерен і наявності великих пор. Водночас існує залежність: мінералогічний склад в'язучих компонентів визначається основністю шихти, а міцність готового продукту, у свою чергу, безпосередньо залежить від їхнього складу.

Збільшення основності шихти з 1,6 до 3,0 призводить до появи феритів, які утворюють міцнішу структурну композицію рудного в'язучого, ніж силікати.

Міцність агломерату визначається мінеральним складом зв'язок рудних зерен, який залежить від основності шихти та змінюється відповідно до його складу, умов підготовки та подальшого режиму спікання. Найміцнішими компонентами зв'язки є ферити кальцію та залізо-кальцієві олівіни низької основності.

Формування якості агломерату відбувається на всіх етапах його виробництва. Існуюча технологічна схема агломерації передбачає три етапи: підготовку шихти шляхом змішування, зволоження та огрудкування (грануляції) всіх її компонентів; процес спікання; механічну обробку спеченого продукту та його охолодження.

Зростання частки залізорудного концентрату в агломераційній шихті є сучасною тенденцією розвитку сировинної бази металургійних комбінатів. Концентрат характеризується високим вмістом заліза та низьким рівнем шкідливих домішок, але має низку технологічних особливостей, які ускладнюють процес агломерації. Основними проблемами є знижена газопроникність шару через дрібну гранулометрію концентрату, підвищена вологість гранул, а також зменшення міцності агломерату внаслідок зміни фазового складу при спіканні.

Підвищення ефективності агломераційного процесу за таких умов потребує оптимізації режимів грануляції, приготування шихти та теплового режиму спікання. Одним із ключових напрямів удосконалення є введення до шихти додаткових компонентів, що покращують структуру гранул: вапняку, доломіту, а також грубодисперсних повернень, які підвищують пористість шару й полегшують проходження повітря.

Важливим є також коригування розподілу вологи: надмірне зволоження призводить до злипання дрібних частинок концентрату та формування надто щільного шару, тоді як недостатня кількість води погіршує грануляцію та однорідність шихти. Оптимальний діапазон вологості дає можливість забезпечити

стабільне транспортування, формування гранул необхідної міцності та рівномірність запалювання.

Ще одним напрямом підвищення якості агломерату є регулювання температурного профілю спікання. За високого вмісту концентрату доцільно збільшувати тривалість прогрівання та підтримувати більш інтенсивний повітряний потік, що сприяє утворенню міцних феритових та силікатних зв'язок. Використання сучасних систем автоматизації дозволяє контролювати швидкість фронту горіння та досягати більш рівномірного пропікання по всій товщині шару.

У результаті впровадження комплексних технологічних заходів можливо не лише компенсувати негативний вплив підвищеної частки концентрату, але й покращити показники виходу придатного агломерату, його міцності та відновлюваності. Це забезпечує стабільну роботу аглодоменного виробництва [2].

#### **Перелік використаних джерел**

1. Бочка В. В. Покращення якості агломерату шляхом удосконалення підготовки агломераційної шихти. *Метали і литво* (Metals and Casting). 2019. № 1–2. С. 12–21.
2. Рудь Ю. С. Підвищення техніко-економічних характеристик агломераційних фабрик : монографія / Ю. С. Рудь. Київ, 2019. 184 с.

**ЗАСТОСУВАННЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В ГЕОЛОГІЧНОМУ  
МОДЕЛЮВАННІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

**Бугайов А. П.**

*студент гр. ГСгем-25-6с*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кошовий М. А.**

*викладач циклової комісії з гірництва та електроінженерії*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасний розвиток гірничодобувної промисловості вимагає застосування інноваційних технологій для підвищення ефективності дослідження та експлуатації родовищ корисних копалин. Однією з таких технологій є 3D-моделювання, яке дозволяє створювати детальні візуалізації геологічних структур, оцінювати запаси корисних копалин і оптимізувати планування розробки родовищ. Важливим є те, що інтеграція комп'ютерних технологій у геологічне моделювання значно підвищує точність і ефективність розвідки корисних копалин, що є критично важливим для успіху в цій галузі.

Різноманітні дослідження підтверджують, що 3D-моделювання дозволяє здійснювати точний аналіз геологічних структур та активно використовується для створення моделей родовищ. Слід зауважити, що 3D-моделювання включає візуалізацію геологічних формацій, прогнозування їх розвитку та оцінку запасів. Як зазначає О. Г. Шевченко [4], 3D-моделювання дає змогу геологам більш точно визначати межі родовищ, що знижує ризики при плануванні видобутку. Однак важливо враховувати проблеми точності даних та інтеграції різноманітних джерел інформації в єдину модель.

Сучасні програмні рішення, такі як GeoModeller та Surfer, дозволяють створювати точні 3D-моделі родовищ, що враховують численні параметри, отримані в результаті буріння, сейсморозвідки та геофізичних досліджень. Використання таких програмних засобів суттєво зменшує час, необхідний для розробки плану розробки родовища, підвищує точність оцінки запасів і, як наслідок, оптимізує економічну вигоду від видобутку [1].

Однією з основних переваг 3D-моделювання є здатність інтегрувати різні типи даних для створення точних моделей. Однак для ефективної інтеграції даних необхідно забезпечити доступ до широкого спектра джерел інформації, таких як геофізичні, геохімічні та геологічні дослідження. Проблеми виникають, коли ці дані мають різну точність або представлені в різних форматах. Для вирішення цієї проблеми розроблено спеціалізовані програмні платформи, що дозволяють об'єднувати різноманітні дані для створення комплексних моделей родовищ [3].

Важливою перевагою 3D-моделювання є можливість просторової візуалізації родовищ, що дозволяє геологам і гірничим інженерам краще орієнтуватися в складних геологічних умовах. Крім того, 3D-моделі сприяють високоточній оцінці запасів корисних копалин та дозволяють проводити сценарні аналізи, що оцінюють ефективність розробки родовища за різних умов. Це, в свою чергу, допомагає в оптимізації технологічних процесів видобутку, зменшує витрати на етапах розвідки та розробки родовища та покращує економічні показники [2].

Застосування 3D-моделювання також дозволяє не лише візуалізувати родовище, а й прогнозувати його подальший розвиток. Саме вказане дає змогу оперативно коригувати стратегію розробки та обирати оптимальні методи видобутку, що особливо важливо в умовах зміни геологічних характеристик родовища протягом експлуатації. Прогнозування дозволяє мінімізувати ризики, зокрема, при виборі технології видобутку та плануванні шахтних робіт, а також оптимізувати транспортні маршрути і створити екологічно безпечні умови для роботи [4].

Незважаючи на всі переваги, застосування 3D-моделювання в геологічному моделюванні стикається з певними проблемами, такими як недостатня точність даних на етапах досліджень та складність інтеграції різних джерел інформації. Крім того, висока вартість програмного забезпечення може бути обмеженням для малих компаній. Проте з розвитком технологій штучного інтелекту та аналізу великих даних ці проблеми можна буде вирішити, що дозволить значно підвищити точність і ефективність геологічних досліджень [1].

Таким чином, застосування 3D-моделювання в геологічному моделюванні родовищ корисних копалин є важливим кроком у розвитку гірничодобувної промисловості. Саме такий підхід дозволяє підвищити точність оцінки запасів, знизити техногенні ризики та оптимізувати процеси розвідки і видобутку. Перспективи розвитку цієї технології пов'язані з подальшим вдосконаленням програмного забезпечення, інтеграцією нових типів даних та розвитком штучного інтелекту, що дозволить досягти ще більших результатів у галузі.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Іванов О. С. Методи геологічного моделювання родовищ корисних копалин. Київ : Наук. думка, 2020. 180 с.
2. Петренко В. І. Технології 3D-моделювання в геології та гірництві. Харків : ХНУ, 2020. 225 с.
3. Семенов А. М. Інтеграція даних у геологічному моделюванні. Львів : ЛНУ, 2021. 210 с.
4. Шевченко О. Г. Прогнозування розвитку родовищ корисних копалин за допомогою 3D-моделювання. Одеса : ОНУ, 2021. 205 с.

## УДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМИ РУДОПІДГОТОВКИ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ КРИВБАСУ

**Журавльов В. М.**

*студент гр. ГСЗ-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Левченко К. А.**

*к.т.н., доцент кафедри гірничої справи, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Відомо, що на гірничозбагачувальних залізорудних комбінатах на операції дроблення та подрібнення витрачається 80–85 % енерговитрат від загальної їх суми, що припадає на збагачення [1].

На сьогоднішній день на ГЗК Кривбасу використовують 4 стадіальні схеми дроблення, які включають: дві стадії крупного дроблення із застосуванням конусних дробарок типу ККД та КРД, стадії середнього дроблення – КСД, та дрібного дроблення – КМД. Кінцева крупність продуктів дроблення складає 90–92 % менше 20 мм. Питомі витрати електроенергії на дроблення складають від 1,9 кВт год/т до 2,2 кВт год/т [1].

На ГЗК Кривбасу застосовують трьох- чотирьох стадіальні схеми подрібнення. Крупність матеріалу в останніх стадіях для повного розкриття тонковкрапленої руди становить 95–98 % класу менше 0,056 мм. Питомі витрати електроенергії при використанні трьох стадіальних схем подрібнення складають від 15–21 кВт год/т, а при застосуванні чотирьох стадіальних вони зростають [1]. Як бачимо енерговитрати на подрібнення у 7–9 разів вище, ніж на дроблення, тому зменшення крупності кінцевого продукту дроблення до 3–5 мм може дати суттєвий економічний ефект [1].

Існує декілька шляхів зменшення енерговитрат:

– застосування нового вискоєфективного устаткування для дроблення;

– зменшення крупності матеріалу, що направляється на процес подрібнення.

Застосування нових високоефективних конусних дробарок фірм Metso (Фінляндія), Sandvik (Швеція), Terex, Telsmith (США), Symons, Торри (Китай) та ін. дозволить на 4–7% скоротити витрати на дроблення, але кардинально не вирішить питання [2]. Крім того, заміна існуючого парку дробарок вимагає великих інвестицій.

Для зменшення крупності матеріалу, що направляється на подрібнення можливе застосування дробарок ударної дії Metso Varmac (VSI), CONSTMACH VSI, Тайфун та ін. [3]. Але після технічного аналізу обладнання було виявлено ряд можливих недоліків експлуатації, а саме:

1. Обмежений максимальний розмір завантаження початкової руди ( $\leq 50\text{--}65$  мм), а тому їх використання в III стадії дроблення при крупності матеріалу  $\sim 100$  мм практично неможливе.

2. Розглянуті промислові результати експлуатації на Полтавському ГЗК при дробленні продукту КМД дробарками вказаного типу, показали недостатній економічний ефект, а саме незначне зниження крупності (в початковому продукті вміст класу  $+20$  мм складав 12–14%, в дробленому – 4–5%) [4].

Другий підхід, це застосування валкових пресів високого тиску (HPGR, *High Pressure Grinding Rolls*), які можуть продемонструвати високу ефективність із підготовки магнетитових кварцитів. Технічні характеристики ВПВТ можуть забезпечити стабільну роботу при подачі матеріалу після КМД  $\sim 30$  мм та забезпечити задану продуктивність. На відміну від конусних дробарок в яких механізм руйнування породи відбувається за рахунок роздавлювання та сколювання, у валкових пресах високого тиску відбувається руйнування у шарі матеріалу лише за рахунок роздавлювання руди, що ущільнюється під тиском і дає ефект рівномірного розподілу напружень у всьому об'єму матеріалу та інтенсивного мікророзстріскування зі зниження міцності перед подрібненням [5].

Таким чином для удосконалення схеми рудопідготовки необхідно:

– виконати технологічний вибір та розрахунок валкового пресу високого тиску;

- розрахувати схему дроблення;
- спростувати або обґрунтувати можливість використання замкнутого циклу подрібнення в останній стадії;
- оцінити збільшення енерговитрат на дроблення та зменшення на подрібнення.

### **Перелік використаних джерел**

1. Шинкоренко С. Ф. Посібник по збагаченню руд чорних металів : друге видання, Москва «Недра», 1980 р.
2. Конусні дробарки з Європи. URL: <https://machineryline.ua/-/konusni-drobarki/evropa--c105cgrp1?srsltid=AfmBOorzneVO3Lhgy4HzhNNeleTTMhp2M0s7gIgrwhTVUUAIOdRtrwT> (дата звернення: 21.11.2025).
3. Лисиця А. Відцентрово-ударна дробарка. Історія та сучасність. URL: <https://studfile.net/preview/430874/> (дата звернення: 22.11.2025).
4. Сокур М. І., Арат Р. Г., Білецький В. С., Равінська В. Вибір раціональної принципової схеми збагачення залістистих кварцитів. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Кременчук : КрНУ, 2022. Вип. 1 (132). С. 149–155. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/a9038d2a-6779-4b27-99a9-9c92a746498c/content> (дата звернення: 20.11.2025).
5. Валкові преса високого тиску. URL: <https://www.metso.com/> (дата звернення: 16.11.2025).

**ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ  
КОЛІСНОГО КАР'ЄРНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ  
ПЕРШОТРАВНЕВОГО КАР'ЄРУ ПРАТ «ПІВНІЧНИЙ ГЗК»**

***Золотарьов В. І.***

*студент гр. ГСв-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Каменець В. І.***

*к.т.н., доцент, доцент кафедри гірничої справи, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

До складу ПРАТ «ПІВНГЗК» входять: Першотравневий кар'єр з відвалами, Ганнівський кар'єр з відвалами, центральний промисловий майданчик, хвостосховище, будівельна база, зовнішні залізничні колії, автомобільні дороги та ін.

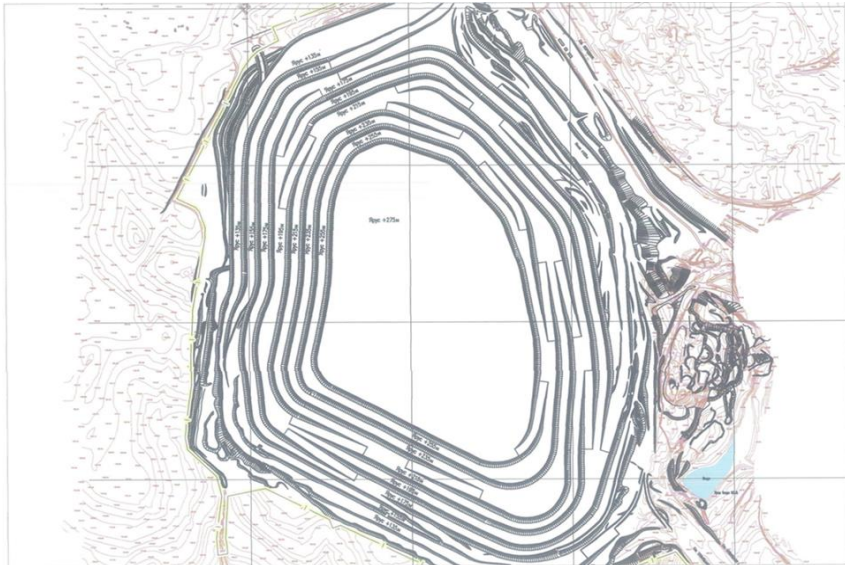
Наразі реалізується Проект «Реконструкція Першотравневого кар'єру ПРАТ «ПІВНГЗК» Дніпропетровська область, м. Кривий Ріг, Тернівський район, для підтримки діючих потужностей комбінату на період з 2022 року по 2037 рік» виконаний ТОВ «Южгіпроруда». Об'єктом реконструкції є Першотравневий кар'єр ПРАТ «ПІВНГЗК» з відвальним господарством, рис. 1. Розробка дійсного проекту викликана необхідністю визначення раціонального варіанту освоєння сировинної бази Первомайського родовища ПРАТ «ПІВНГЗК» у період 2022–2037 р. [1].

Автомобільний транспорт в кар'єрі є основною ланкою в технологічному процесі транспортування гірничої маси і представлений парком великовантажних автосамоскидів БілАЗ-75131 – вантажопідйомністю 130 т і САТ-789 –180 т. Існуючий обліковий парк автосамоскидів налічує 46 одиниць: 44 одиниці – БілАЗ-75131, та 2 одиниці – САТ-789С (у простой). В поточній транспортній схемі кар'єру автомобільний транспорт забезпечує перевезення гірничої маси від екскаваторних забоїв до корпусів крупного дроблення комплексу ЦПТ горизонт мінус 193 м, до внутрішньокар'єрних перевантажувальних

пунктів (ПП), на автомобільні відвали (відвали Західні). Для заїзду технологічного автотранспорту в кар'єр використовується постійна автодорога, що пролягає східним бортом [1–3].

Під час обстеження та вивчення роботи кар'єрного транспорту з використанням хронометражу, встановлено, що мають місце наступні недоліки:

- перепробіг вантажених автосамоскидів внаслідок неоптимальних плечових маршрутів руху та наднормативний холостий пробіг транспортних засобів;
- застаріла система диспетчеризації для альтернативного прокладання маршрутів руху самоскидів та зниження простоїв;



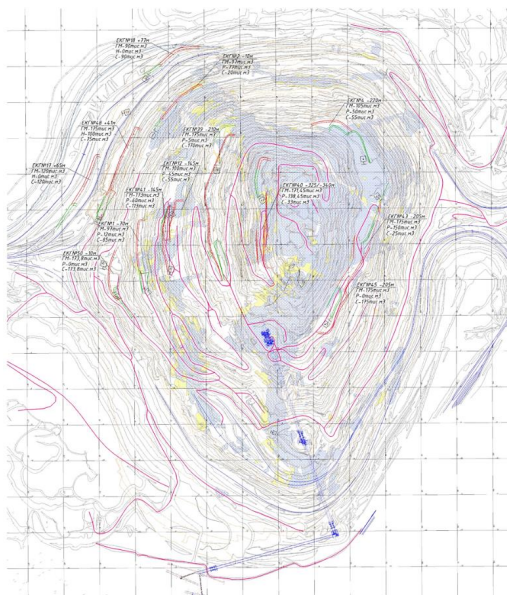
**Рис. 1. Першотравневий кар'єр та відвали № 1 та № 2 при повному заповненні в межах існуючого земельного відводу**

- частково неякісне дорожнє покриття та недостатня ширина кар'єрних доріг;
- недостатня складська номенклатура запасних частин для основного типу кар'єрних самоскидів БелАЗ-75131;

– доведення параметрів кар'єрних автомобільних доріг до розрахункових і їх моніторинг здійснюється недостатньо систематично.

На підставі виконаних досліджень і розрахунків [1, 2, 4] сформульовано пропозиції щодо оптимізації роботи колісного кар'єрного транспорту (рис. 2):

- закріплення транспортних потоків задля зниження холостого пробігу самоскидів;
- запровадження сучасної системи диспетчеризації для альтернативного прокладання маршрутів руху самоскидів та зниження простоїв;
- покращення дорожнього покриття та розширення кар'єрних доріг (закладено в програму розвитку з урахуванням пропозицій ГТЦ-1 та ГТЦ-2);
- розширення складської номенклатури запчастин для основного типу кар'єрних самоскидів БелАЗ-75131;



**Рис. 2. Оптимізована схема транспорту Першотравневого кар'єру**

– доведення параметрів кар'єрних автомобільних доріг до розрахункових і їх постійний моніторинг (закладено в програму розвитку з урахуванням пропозицій ГТЦ-1 та ГТЦ-2).

### **Перелік використаних джерел**

1. Проект «Реконструкція Першотравневого кар'єру ПРАТ «ПІВНГЗК», Дніпропетровська область, м. Кривий Ріг, Тернівський район, для підтримки діючих потужностей комбінату на період з 2022 року по 2037 рік». Харків : ТОВ «Южгіпроруда», 2021.
2. Собко Б. Ю. Організація і планування відкритих гірничих робіт/ Б. Ю. Собко, В. В. Панченко, В. В. Лотоус, Д. В. Вінівітін. Дніпро : НТУ «ДП» ; ТОВ «Компанія «Бульвар», 2020. 188 с.
3. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007 «Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин». Київ, 2007.
4. Ренгевич О. О., Денищенко О. В. Експлуатаційні розрахунки транспортних комплексів кар'єрів : навч. посібник. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2009. 126 с.

## **БАГАТОРІВНЕВИЙ КОНТРОЛЬ СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ТА ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ НА БАЗІ ГІС K-MINE**

***Кириченко І. Г.***

*магістр гр. ГСм-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Бруй Г. В.***

*к.т.н., доцент, доцент кафедри гірничої справи, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Модернізація транспортної та інженерної інфраструктури України є ключовим завданням, визначеним «Національною

транспортною стратегією», що спрямована на інтеграцію до європейського простору. Ефективне управління інфраструктурою потребує впровадження сучасних технологій контролю та планування.

Актуальність дослідження зумовлена відсутністю єдиної інформаційної бази даних про стан транспортних та інженерних мереж, браком просторового зв'язку між топографічними планами та семантичними даними, а також відсутністю деталізованих тривимірних моделей об'єктів. Це ускладнює отримання достовірної інформації, планування ремонтів та раціональне використання бюджетних коштів. Впровадження інтерактивного 3D-плану дозволить забезпечити прозорий багаторівневий контроль у реальному часі.

Враховуючи гостру потребу громад міст та селищ в раціональному «прозорому» використанні бюджетних коштів та якісній модернізації існуючої транспортної та інженерної мережі країни ми пропонуємо багаторівневу систему контролю в реальному часі, основою якої є Інтерактивний 3D план на базі ГІС «K-MINE».

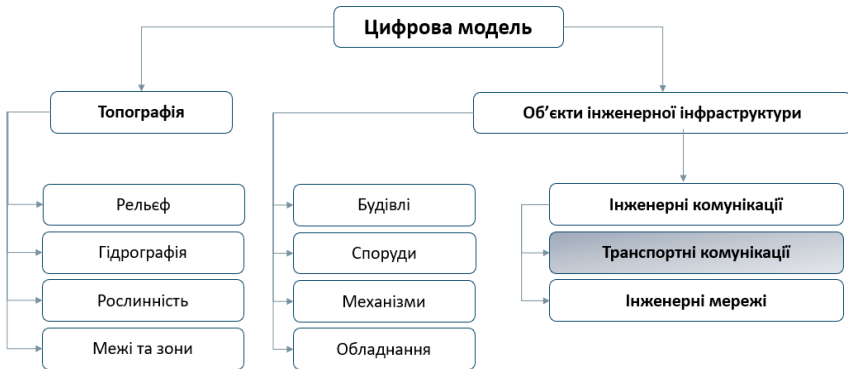
Інтерактивний 3D план служить сполучною ланкою в документообігу між різними технічними відділами і службами громад міста, селища, підприємства, а також у відносинах з промисловими і цивільними об'єктами на прилеглих територіях. З ним пов'язаний весь життєвий цикл громади: проєктні та вишуквальні роботи, будівництво, управління допоміжними службами; ремонти, реконструкції, модернізація, технічне переоснащення.

Впровадження інноваційних технологій на базі ГІС K-MINE включає наступні кроки:

1. Створення цифрової 3D моделі (цифрового двійника) наземної та підземної інфраструктури міста, селища.

2. Прив'язка до об'єктів цифрової моделі семантичної інформації необхідного виду, яка може містити різні дані:

- Характеристики та параметри об'єктів.
- Інформація про ремонти із супутніми документами.
- Дані про технічне обслуговування об'єктів.
- Історія виконання будівельних, ремонтних робіт на об'єктах.



**Рис. 1. Елементи наповнення інтерактивного 3D-плану**

- Різноманітні документи (проекти, паспорти, договори, акти, постанови, розпорядження, заявки та інше).
- Профілі, перетини.
- Тривимірні каркаси / поверхні з візуалізацією аварійних ділянок автошляхів.
- Фото/відео матеріали.

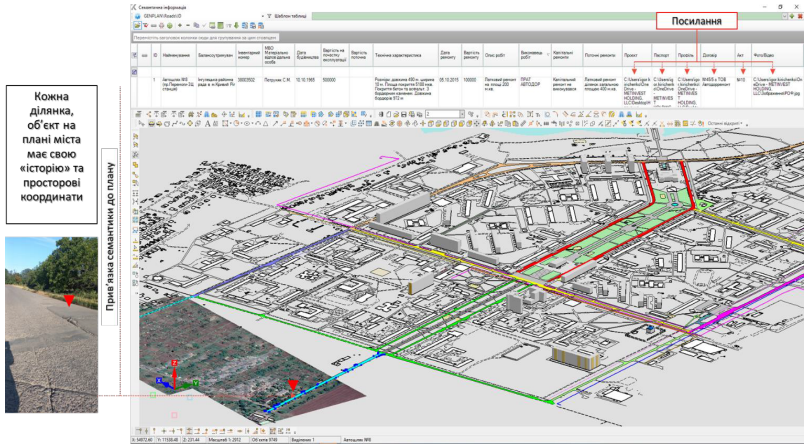
Тривимірні моделі об'єктів створюються поступово та є прикладами елементів плану з додатковими можливостями у використанні цифрових даних. Для повноцінного функціонування системи в частині інтерактивності та інформативності достатньо наповнити її семантичними даними та підв'язати до об'єктів на топографічному плані (рис. 2).

Поповнення інформації (редагування існуючої, додавання нової) в Інтерактивному 3D плані виконується з урахуванням розмежувань прав доступу.

Поповнення графічних даних за результатами маркшейдерсько-геодезичного знімання виконується маркшейдерською (геодезичною) службою громади, підприємства.

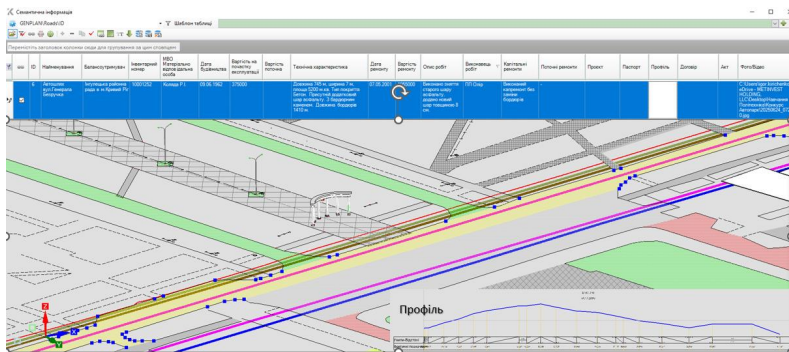
Введення семантичних даних виконують всі основні підрозділи, які мають відповідний рівень доступу до бази даних.

Всі інші користувачі системи можуть тільки продивлятися план та отримувати інформацію щодо об'єктів плану без права редагування.



**Рис. 2. Розроблений Інтерактивний план міста з елементами 3D**

Запропонована система передбачає гнучку структуру бази даних з розмежуванням прав доступу та можливістю навігації по об'єктах як з боку бази даних, так і з цифрової моделі. Це забезпечує планування ремонтів з урахуванням фактичного стану та історії робіт, контроль використання бюджетних коштів, підвищення безпеки на автошляхах, а також оперативне оновлення даних та інтеграцію BIM-технологій (рис. 3).



**Рис. 3. Інтерактивний 3D-план з транспортними, інженерними мережами та пішохідними зонами**

У висновках зазначимо, що впровадження інтерактивного 3D-плану на базі ГІС “K-MINE” забезпечить контроль якості ремонтних робіт на автошляхах з прозорим відображенням гарантійних зобов’язань підрядних організацій і чітких меж виконаних робіт, а також оперативний доступ до актуальної інформації, знизить ризики аварійних ситуацій та прискорить проектно-конструкторські процеси. Крім того, система гарантує безпечне зберігання даних з контролем доступу та стане основою прозорого управління інфраструктурою, що відповідає стратегічним цілям розвитку транспортної галузі України.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЯВІВ ДЕФОРМАЦІЇ ПІДОШВИ В ПІДГОТОВЧИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ**

***Курсанов О. Л.***

*аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»  
м. Дрогобич, Україна*

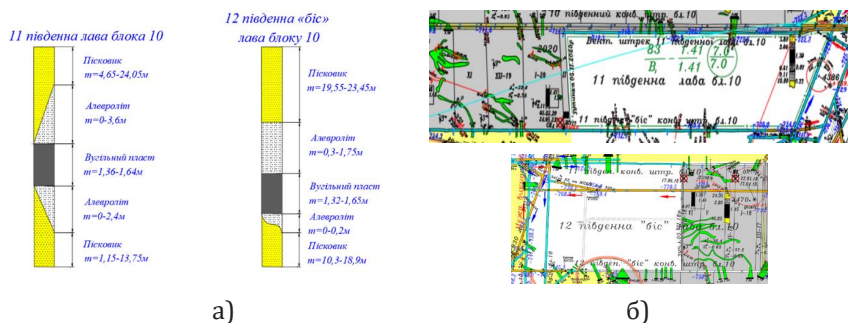
Актуальною проблемою сучасної гірничої промисловості є забезпечення стійкості підготовчих виробок, що підтримуються за очисним вибоєм для повторного використання. Динамічні форми проявів гірничого тиску особливо посилюються на великих глибинах в складних геологічних умовах. Визначення механізмів деформування порід є важливою складовою при оптимізації рішень з підтримання виробок та для забезпечення стабільності виробничих процесів.

Одним з найпоширеніших проявів гірського тиску є підняття підшви в умовах підтримання виробки за лавою. Передумовою для підвищення підняття підшви є пластична течія або руйнування порід, зумовлені напруженнями в масиві [1]. Причому різке підняття є наслідком високих горизонтальних напружень в безпосередній підшві. Дослідження [2] показують, що висоту

підйому підшови визначають співвідношення горизонтальних і вертикальних напружень.

Основними механізмами підняття підшови гірничих виробок є: втрата несучої здатності ґрунтової основи, набухання порід під дією зволоження та деформації вигину. Підняття підшови, як наслідок стискання та пластичної течії є одним із ключових факторів, що обумовлюють стійкість штреків, що підтримуються за очисним вибоєм [3]. Причому при руйнуванні підшови виробок домінуючими чинниками є зсувні руйнування [4]. Проте питання розробки та детального опису комплексної моделі трансформацій напружено-деформованого стану навколо виробки, що підтримується за очисним вибоєм для повторного використання, все ще залишається відкритим.

З метою визначення закономірностей проявів гірського тиску та деформацій підшови в підготовчих гірничих виробках, що підтримуються за лавою були, були проведені дослідження в умовах ПРАТ Ш/У «Покровське», зокрема, у виробках 11 південної лави блоку 10 та 12 південної лави «біс» блоку 10 (рис. 1).



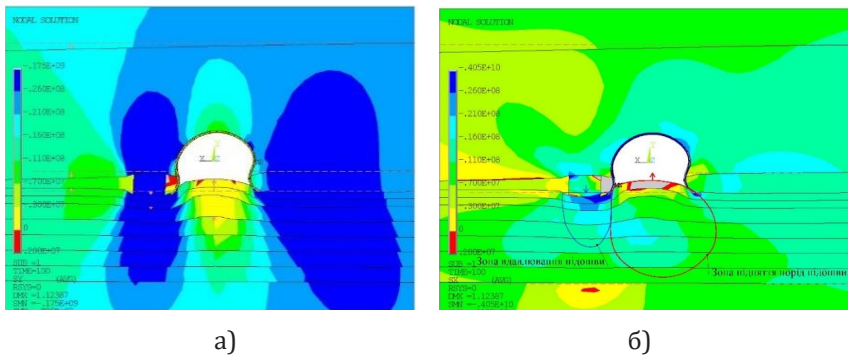
**Рис. 1. Структурні колонки пласта d4 (а) та викопіювання з плану гірничих виробок (б) панелей 11 південної лави блоку 10 та 12 південної лави «біс» блоку 10**

При відпрацюванні лав була застосована комбінована система розробки стовпової з суцільною та прямоточним провітрюванням з підсвіжінням вентиляційного струменя.

11 південний «біс» конвеєрний штрек блоку 10 після доробки виїмкового стовпа повторно використовувався для відведення відпрацьованого повітря з діючого очисного вибою, а 12 південний «біс» конвеєрний штрек блоку 10 – в якості вентиляційного штреку для майбутньої лави.

В якості основного кріплення у 11 південному «біс» конвеєрному штреці блока 10 було застосоване арочне кріплення КШПУ-М-20,3, а у 12 південному «біс» конвеєрному штреці блока 10 – КШПУ-М-17,7, відстань між рамами в обох випадках дорівнювала 0,67 м, також виробки охоронялись литими смугами шириною 1,36 м.

Дослідження механізму розвитку деформацій підосви штреку за лавою проводилося шляхом чисельного моделювання в програмному середовищі ANSYS. В основу тривимірної моделі було покладено відповідні геотехнічні умови масиву з урахуванням симетрії панелі. Модель мала розміри  $250 \times 60 \times 25$  м, висота та ширина виробки складала 3,8 м та 4,95 м відповідно, а висота та ширина охоронної смуги – 1,45 м та 2,0 м. Граничні умови передбачали фіксацію нижньої грані по вертикалі та обмеження в нормальному напрямку зміщень бічних меж. На рис. 2 наведено розподіл напружень у навколишніх породах масиву.



**Рис. 2. Розподіл вертикальних (а) та горизонтальних (б) напружень навколо виробки, що підтримується за лавою**

Згідно з результатами чисельного моделювання (рис. 2 б) зона вертикального розширення та підняття порід у безпосередній підшві під литою смугою має глибину 5 м, зона просідання порід – до 3,5 м, пучіння під боком виробки склало 948 мм, що на 5,3 % більше результатів натурних спостережень. Це свідчить про відповідність моделі реальним умовам.

За результатами аналізу моделі, механізм розвитку деформацій підшви штреку за лавою в своїй основі має формування зони підвищених вертикальних напружень під литою смугою в результаті навантаження її вагою порід покрівлі. Ці напруження мають вищі показники в порівнянні з напруженнями з боку вугільного пласта, що призводить до асиметрії деформування виробки. В подальшому розвиток процесів підняття підшви відбувається під впливом підвищених горизонтальних напружень та формування області позамежного горизонтального стиснення під прольотом виробки, що виникли в результаті перерозподілу напружень.

Тож у виробці, **що підтримується за очисним вибоєм**, критичне підняття підшви є наслідком переданих з боків виробки до порід підшви високих горизонтальних напружень та вертикального розшарування порід підшви в зоні позамежних деформацій під прольотом виробки та литою смугою. Наведені положення описують підняття підшви виробки для умов блоку № 10 ПРАТ Ш/У «Покровське» та можуть бути застосовані для схожих геологічних та інженерних умов.

Проведене комплексне дослідження, спрямоване на виявлення ключових механізмів та першопричин деформування підшви в визначених умовах експлуатації є основою для розробки альтернативних ефективних методів забезпечення стійкості гірничої виробки, що підтримується за лавою.

### Перелік використаних джерел

1. Małkowski P., Ostrowski Ł., Stasica J. Modeling of Floor Heave in Underground Roadways in Dry and Waterlogged Conditions. *Energies*. 2022. Т. 15. № 12. С. 4340. URL: <https://doi.org/10.3390/en15124340>.

2. Application of a combined support system to the weak floor reinforcement in deep underground coal mine / Y. Kang et al. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. V. 71. P. 143–150. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.03.017>.
3. Control mechanism and technique of floor heave with reinforcing solid coal side and floor corner in gob-side coal entry retaining / Y. Chen et al. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2012. V. 22. № 6. P. 841–845. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2012.12.002>.
4. Discrete element modelling of deformation and damage of a roadway driven along an unstable goaf – A case study / F. Gao et al. *International Journal of Coal Geology*. 2014. V. 127. P. 100–110. URL: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.02.010>.

## **ІННОВАЦІЙНІ СТРАТЕГІЇ ПІДПРИЄМНИЦТВА В НАФТОГАЗОВІЙ ТА ГІРНИЧОДОБУВНІЙ ГАЛУЗЯХ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**Колядич В. М.**

*студент гр. ГСпркк-25-1ф*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Контурова С. М.**

*доцент циклової комісії з гірництва та електроінженерії*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Інноваційні стратегії підприємництва в нафтогазовій та гірничодобувній галузях є важливим інструментом адаптації цих секторів до сучасних викликів. Сьогодні галузі стикаються з низкою значних проблем, зокрема необхідністю підвищення ефективності, зниження екологічного навантаження, адаптації до нових ринкових умов і регуляторних вимог. Водночас зазначені труднощі відкривають можливості для впровадження інновацій, які можуть суттєво покращити результати діяльності компаній.

Ключовим фактором успішної адаптації є інтеграція новітніх технологій, що підвищують конкурентоспроможність підприємств та забезпечують їх сталий розвиток.

Одним із основних напрямів інновацій є цифровізація виробничих процесів. Використання технологій Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту, великих даних та машинного навчання відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації виробництва. Сучасні системи моніторингу дозволяють у реальному часі відстежувати параметри роботи обладнання, передбачати технічні несправності та знижувати ймовірність аварій. За дослідженнями українських науковців, впровадження цифрових рішень у нафтогазових компаніях значно знижує витрати на експлуатацію та обслуговування техніки, зменшує ризики витоків та аварій, підвищуючи безпеку та скорочуючи операційні витрати. Крім того, цифрові технології дозволяють більш точно прогнозувати попит на енергоресурси, що сприяє ефективній логістиці та управлінню запасами.

Не менш важливим є впровадження екологічно чистих технологій, які знижують викиди вуглекислого газу та мінімізують негативний вплив на довкілля. В умовах глобальних кліматичних змін і посилення екологічних регуляцій нафтогазові та гірничі компанії інвестують у стійкі та безпечні технології. Одним із таких напрямів є використання технологій зберігання вуглецю (CCS), що дозволяють утримувати CO<sub>2</sub> у підземних сховищах. Науковці у своїх дослідження підкреслюють, що CCS є важливим інструментом для виконання міжнародних стандартів і може значно знизити екологічний вплив при збереженні обсягів виробництва. Також гірничодобувні компанії активно використовують відновлювані джерела енергії, такі як сонячні панелі та вітрові станції, що дозволяє зменшувати витрати на енергоресурси та підвищувати енергетичну незалежність.

Адаптація до змін ринку вимагає від підприємств гнучкості бізнес-моделей. У нестабільних умовах – коливання цін на енергоресурси, геополітичні кризи та зміни попиту на нафту і газ – компанії повинні швидко коригувати стратегію, шукати нові ринки та джерела прибутку. Одним із інструментів є диверсифікація

активів, що зменшує залежність від одного виду діяльності та фінансові ризики. Д. Ружевиц [2] зазначає, що для стійкості нафтогазових компаній необхідно застосовувати гнучкі бізнес-моделі, інтегруючи альтернативні джерела енергії та нові технології видобутку рідкоземельних металів. Саме такий підхід дозволяє не лише скоротити залежність від коливань світових цін, але й забезпечити сталий розвиток у довгостроковій перспективі.

Важливим фактором є також інвестування в наукові дослідження та розробки. Сучасні технології видобутку, переробки та зберігання енергоресурсів потребують постійних інноваційних рішень, які забезпечують більш ефективний і безпечний видобуток та мінімізують негативний вплив на довкілля. С. Боярчук [3] підкреслює, що інвестиції в науково-дослідні проекти підвищують продуктивність і допомагають компаніям відповідати міжнародним екологічним стандартам.

Не менш важливим аспектом є ефективне управління ризиками. Використання передових технологій для моніторингу та прогнозування ризиків дозволяє оперативно реагувати на економічні та екологічні зміни, зменшуючи ймовірність значних фінансових і екологічних втрат. Слід зауважити, що застосування штучного інтелекту та великих даних дозволяє прогнозувати не лише технічні, але й фінансові ризики, роблячи управління більш прозорим і точним.

Таким чином, інноваційні стратегії підприємництва в нафтогазовій та гірничодобувній галузях включають цифровізацію, впровадження екологічно чистих технологій, гнучкі бізнес-моделі, інвестиції в науково-дослідні розробки та ефективне управління ризиками. Їх реалізація дозволяє компаніям адаптуватися до ринкових змін, знижувати витрати, підвищувати ефективність виробництва та забезпечувати стійкий розвиток і конкурентоспроможність у глобальному масштабі.

### **Перелік використаних джерел**

1. Харів П. С. Інноваційна діяльність підприємства та економічна оцінка інноваційних процесів : монографія. Тернопіль : Економічна

- думка, 2003. 326 с. URL: <https://api.dspace.wunu.edu.ua/api/core/bitstreams/e65965af-21ab-4e23-afa1-dd6c6fabd766/content>
2. Ружеви́ч Д. І. Інновації нафтогазової сфери України в умовах трансформації економіки. *Наукові інновації та передові технології*. 2024. № 8 (36). URL: <https://perspectives.pp.ua/index.php/наука/article/view/13821/13887>
  3. Халі́на О. В., Боярчу́к С. С. Інноваційні стратегії управління підприємствами як ключовий фактор сталого розвитку в умовах циркулярної економіки. *Економічні інновації*. 2025. Вип. 35. С. 103–106. URL: <http://ei-journal.in.ua/index.php/journal/article/view/789/765>

## ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ ПІДНЯТТЯ ПІДОШВИ ВИРОБОК У ДРІБНОШАРУВАТОМУ ГІРСЬКОМУ МАСИВІ

**Кухаренко А. О.**

*аспірант*

*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»*

*м. Дрогобич, Україна*

Дрібно шаруваті гірські породи, зустрічаються достатньо часто в підшві вугільних пластів і є достатньо поширеним видом геологічної структури осадових порід. Основні відмінності поведінки шаруватих порід викликані не суцільністю та неоднорідністю в напрямку нормального до нашарування через існування не менше ніж однієї структурної площини. Оскільки переважна кількість гірничих виробок не містить систем кріплення в підшві, структура порід відіграє значну роль в загальній стійкості виробок і величині вертикальної конвергенції. Тому дуже актуальною технічною проблемою є дослідження механізму руйнування та заходів протидії підняттю підшви шаруватого гірського масиву.

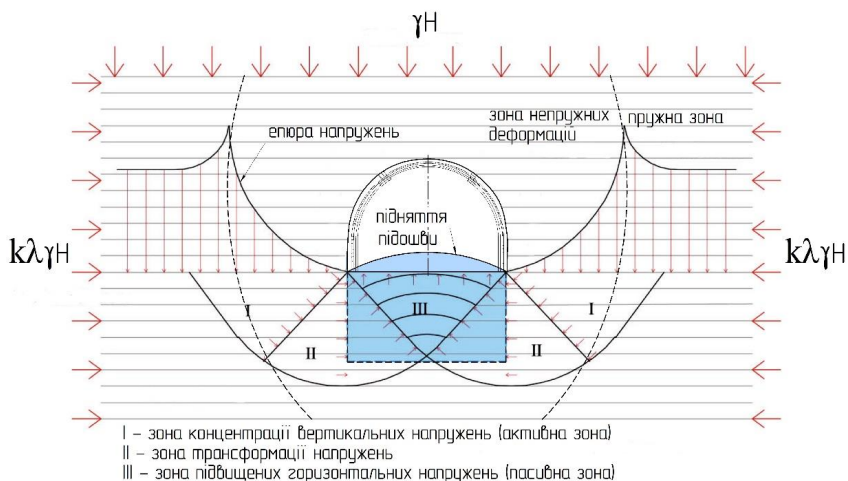
Внаслідок проведення виробок відбувається перерозподіл напружень у вміщуючих породах. Це порушує механічний баланс, існуючий в природному початковому полі напружень, призводить

до перерозподілу напружень і формування концентрацій напружень. В результаті гірський масив навколо виробки (включаючи підшову) деформується як в межах пружності так і поза цими межами. Вертикальна конвергенція та швидкість підняття підшови тунелю при цьому в основному залежать від механічних властивостей гірської маси, характеристик розподілу напружень, геометрії виробки та інших факторів. Сьогодні переважна більшість вчених розглядають підняття підшови як пружно-пластичний процес. Не суцільність і неоднорідність, характерні для шаруватих порід, призводять до ускладнення механізму деформації та руйнування. Схема, що пояснює механізм підняття підшови в шаруватому масиві при пружно-пластичній постановці задачі, наведена на рисунку 1.

Більшість сучасних вчених погоджуються з думкою, що у горизонтально-шаруватому гірському масиві підшовка зазвичай вигинається в порожнину виробки внаслідок горизонтального стиснення навколишньої породи. Під час горизонтального стиснення, через наявність слабкої структурної площини, у товщі підшови спочатку відбувається руйнування міжшарового відокремлення, а породи поблизу виробки вигинаються вгору під дією горизонтального стискання з обох боків. Зі збільшенням відстані від поверхні виробки діапазон деформацій товщі порід зменшується.

Основні результати досліджень, проведених в останні роки, наступні. Sun та ін. [1] провів експериментальне дослідження підняття підшови шаруватих полого нахилених гірських порід, і виявив, що горизонтальні напруження підшови мають великий вплив на руйнування підшови виробки, а процес руйнування супроводжується змінами температури.

Song та ін. [2] проаналізували закон динамічного відгуку гірської породи, що оточує гірничу виробку під час її проведення, і дійшли висновку, що бічні породи шаруватої структури є більш чутливими до вібраційного впливу. Лі та ін. [3] проаналізували підняття підшови великої амплітуди, що відбулись в шаруватих породах, і встановили, що високі напруження підшови та шарувата структура породи є основними факторами, які викликають



**Рис. 1. Схема механізму підняття підшви в шаруватому масиві**

велику деформацію підшви. Wang та ін. [4] досліджували механізм руйнування круглої виробки в поперечно-ізотропній гірській породі, і їхні результати показали, що режими руйнування залежать від формації породи, напружень в масиві та міцності порід. Мо та ін. [5] представили дослідження підняття підшви в умовах, де міцний шар перекиває слабкі шари підшви. Результати моделювання показали, що руйнування міцного шару, що вигинається в порожнину виробки, було спричинене, в першу чергу, горизонтальними напруженнями.

Таким чином, сучасні дослідження виявили, що основними причинами підняття підшви та руйнування порід в підшві гірничих виробок, проведених в шаруватому масиві, є механічні властивості бічних порід, коефіцієнт бічного тиску та потужність породних шарів. В шаруватих породах класичні механізми підняття підшви – розбухання при намоканні, видавлювання з-під штампку і складкоутворення, набувають нових ознак, а величина підняття підшви значно збільшується. Причиною тому є перераховані вище особливості формування напружено-деформованого стану.

Щоб ефективно запобігати та протидіяти підняттю підшови гірничих виробок, необхідно узгоджувати засоби боротьби з підняттям підшови з механізмами розвитку деформацій і руйнувань. Сьогодні проведено багато досліджень способів боротьби з підняттям підшови. Основні заходи боротьби з підняттям підшови можна звести до: створення перевернутої арки, підтримання порід анкерними системами і методи розвантаження.

Аналіз інвертної стійкості дрібношаруватих порід підшови вказує, що основною причиною руйнування підшови при реалізації першої групи методів є недостатня жорсткість у з'єднанні між зворотньою аркою і рамою кріплення. Методи розвантаження можуть ефективно запобігати підняттю підшови шляхом буріння рядів розвантажувальних шпурів або свердловин, або створенням розвантажувальної щілини. Однак методи розвантаження не набули широкого поширення через обмежені можливості у формуванні зазначених порожнин. Найбільшу популярність отримали технології кріплення порід підшови анкерними кріпленнями [6]. Враховуючі особливості деформування шаруватих порід в підшві гірничих виробок, можна дійти висновку, що анкерування є найбільш перспективним методом боротьби з підняттям підшови, однак для підвищення ефективності цього способу параметри анкерного кріплення необхідно удосконалювати. В цьому напрямку будуть проведені подальші дослідження автора.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Sun X., Chen F., He M. Physical modeling of floor heave for the deep-buried roadway excavated in ten degree inclined strata using infrared thermal imaging technology. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017. Vol. 63. P. 228–243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.12.018>.
2. Song S., Li S., Li L. Model test study on vibration blasting of large cross-section tunnel with small clearance in horizontal stratified surrounding rock. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019. Vol. 92. 103013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103013>.
3. Li J., Wang Z., Wang Y. Analysis and countermeasures of large deformation of deep-buried tunnel excavated in layered rock strata:

- A case study. *Engineering Failure Analysis*. 2023. Vol. 146. P. 107057. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107057>.
4. Wang S. Y., Sloan S. W., Tang C. A. Numerical simulation of the failure mechanism of circular tunnels in transversely isotropic rock masses. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2012. Vol. 32. P. 231–244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.07.003>.
  5. Mo S., Sheffield P., Corbett P. A numerical investigation into floor buckling mechanisms in underground coal mine roadways. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2020. Vol. 103. 103497. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103497>.
  6. Ma K., Zhang J., Zhang J. Floor heave failure mechanism of large-section tunnels in sandstone with shale stratum after construction: A case study. *Engineering Failure Analysis*, 2022. Vol. 140. 106497. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106497>.

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗОН ЗСУВУ**

**Мітченко Д. В.**

*аспірант гр. ГР-23а*

*Криворізький національний університет*

*головний маркшейдер ПРАТ «ПівнігЗК»*

*м. Кривий Ріг, Україна*

Зсувні процеси є одним із найнебезпечніших геодинамічних явищ, що спричиняють значні збитки інфраструктурі, комунікаціям і природному середовищу. Для їх ефективного моніторингу необхідно застосовувати високоточні методи, здатні забезпечити детальне просторове відтворення геометрії зони зсуву та її деформацій у часі. Традиційні геодезичні технології – тахеометричні спостереження чи окремі GNSS-вимірювання – забезпечують обмежену кількість дискретних точок і не дозволяють адекватно відобразити складну морфологію зсувних тіл. Наземне

лазерне сканування (TLS) є однією з найефективніших технологій для побудови тривимірних моделей складних поверхонь. Його інтеграція з GNSS-вимірюваннями відкриває нові можливості для геодинамічного аналізу та кількісної оцінки переміщень. У цьому дослідженні розглянуто можливості застосування TLS для високоточного тривимірного моделювання деформацій зсувних схилів, визначено особливості оброблення хмар точок та інтеграції геодезичних даних.

Метою роботи є підвищення ефективності дослідження зсувних процесів шляхом застосування технології наземного лазерного сканування для детального тривимірного моделювання геометрії та просторових деформацій зсувних схилів.

Для досягнення мети поставлено такі основні завдання:

1. Проаналізувати точнісні характеристики TLS у контексті геодезичного моніторингу зсувних процесів.
2. Розробити алгоритм просторового поєднання TLS-хмар точок із результатами GNSS-вимірювань.
3. Визначити оптимальні параметри сканування для забезпечення рівномірного покриття зсувного схилу.
4. Побудувати тривимірну модель активного зсуву та оцінити її деформації за результатами повторних спостережень.
5. Провести оцінку похибок моделювання та проаналізувати ефективність запропонованого підходу.

Для реалізації дослідження використовувалися дані, отримані в результаті комплексних польових вимірювань на ділянці активного зсуву. Просторову основу сформовано за допомогою GNSS-спостережень у режимі RTK, що забезпечило геодезичну прив'язку TLS-хмар точок. Зйомку виконано лазерним сканером з дальністю дії до 130 м і точністю вимірювання відстані до  $\pm 2$  мм.

Попередню обробку хмар точок здійснено у програмному середовищі Leica Cyclone. Основні етапи включали: фільтрацію шумів, реєстрацію сканів у єдиній системі координат, редукування щільності точок, сегментацію зсувної ділянки та побудову цифрової моделі рельєфу (ЦМР).

Для виявлення деформацій застосовано метод Cloud-to-Cloud (C2C) порівняння повторних TLS-зйомок, що дозволяє визначити зміщення кожної точки хмари у тривимірному просторі. Результати були верифіковані за контрольними GNSS-точками, розташованими у межах ділянки зсуву.

У результаті проведеного дослідження отримано детальну тривимірну модель зсуву з просторовою роздільною здатністю 5–10 мм. Виявлено неоднорідний характер переміщень – максимальні вертикальні деформації досягали 4–5 см, тоді як горизонтальні переміщення становили близько 7 см.

Порівняння результатів TLS та GNSS-позиціонування показало, що різниця між визначеними зміщеннями не перевищує  $\pm 1,5$  см, що підтверджує високу точність і надійність технології. Запропонований підхід дозволив значно підвищити деталізацію аналізу: замість традиційних дискретних точок було отримано понад 20 млн вимірювань, що дало змогу простежити локальні мікродеформації, невидимі при звичайному GNSS-моніторингу.

Отримані результати підтвердили доцільність інтеграції TLS у систему геодезичного моніторингу зсувних процесів. Методика забезпечує не лише високу точність визначення зміщень, а й створює основу для подальшої геоморфологічної інтерпретації, моделювання обсягів переміщених мас і прогнозування розвитку зсуву.

Удосконалено методику тривимірного моделювання зсувних деформацій шляхом поєднання результатів наземного лазерного сканування та GNSS-вимірювань у єдиній системі координат. Для досліджуваної ділянки було проведено високоточне просторове порівняння хмар точок, що дозволило кількісно оцінити зміни морфології ділянки зсуву. Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні алгоритму, який може бути використаний для моніторингу небезпечних ділянок транспортної та гірничої інфраструктури.

Наземне лазерне сканування забезпечує надвисоку деталізацію рельєфу зон зсуву та може використовуватися як основний інструмент для 3D-моделювання їх деформацій. Інтеграція TLS із GNSS-вимірюваннями дозволяє підвищити точність просторової прив'язки та забезпечує можливість багаточасового аналізу

зміщень. Розроблена методика може бути рекомендована для створення систем оперативного моніторингу активних зсувів і для підготовки прогнозних моделей розвитку небезпечних процесів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на автоматизацію обробки хмар точок і впровадження штучного інтелекту для виявлення зон потенційної нестабільності схилів.

## **РОБОТА ВИРОБНИЧИХ ПІДРОЗДІЛІВ ПРАТ «ІНГЗК» В УМОВАХ НЕПОВНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА**

**Москот А. А.**

*студентка гр. ГСв-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Каменець В. І.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри гірничої справи, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

За результатами вересня 2025 року в Групі Метінвест з урахуванням спільних і асоційованих підприємств є суттєве невиконання оперативних планів з виробництва руди та залізородного концентрату і незначне відставання по вугільному концентрату, чавуну та прокату [1].

Вкотре загальний результат ГЗК суттєво відстає від планового через проблеми на Південному комбінаті. У вересні знову мали місце аварійні ремонти цілої низки одиниць технологічного обладнання. Північний та Центральний комбінати зі своїми плановими завданнями впоралися.

Обсяги виробництва у вересні, порівнюючи з оперативним планом: руда – 4,71 млн тон (-428,0 тис. тон); концентрат рядовий – 2,06 млн тон (-210,8 тис. тон); концентрат товарний – 1,4 млн тон (-210,9 тис. тон); окатки – 631,9 тис. тон (+0,1 тис. тон).

У жовтні роботу гірничо-збагачувальних активів Метінвесту ускладнили масовані ворожі атаки на українську енергетичну інфраструктуру. Через це доводилося призупиняти виробничі процеси. Додатковим викликом стали ліміти на енергопостачання для промислових споживачів. Частково ситуацію вдається стабілізувати завдяки запуску власних джерел генерації електроенергії на підприємствах.

На фінансові показники Метінвесту суттєво вплинула вимушена зупинка підприємств у Покровську на початку року через війну, що позбавило компанію власного джерела коксівного вугілля в Україні. Для підтримки металургійного виробництва Метінвест поновив постачання сировини зі свого американського активу United Coal Company та організував закупівлю вугілля на зовнішніх ринках. Однак втрата українського видобутку негативно позначилася на собівартості сталевий продукції.

Додатковим тиском стало призупинення роботи Інгулецького ГЗК (він втратив рентабельність через зростання вартості електроенергії та несприятливу ринкову кон'юнктуру), падіння світових цін на сталь і руду та зменшення продажів. Зупинка ІнГЗК призвела до зниження виробництва загального залізородного концентрату групою «Метінвест» у першому кварталі 2025 року. Серед ключових чинників – висока вартість електроенергії та її доставки, зростання залізничних тарифів (у доларовому еквіваленті – на 50 % порівняно з 2019–2021 роками), завищені портові збори (вдвічі вищі, ніж у європейських портах) та акциз у ціні дизеля, який майже на чверть формує його вартість. Водночас цей акциз сплачують навіть кар'єрні самоскиди, які не використовують автошляхи. У «Метінвесті» зазначили, що поки комбінат працював, він генерував значні надходження до бюджету: лише за перше півріччя 2024 року сплатив понад 1,1 млрд грн податків і забезпечував валютний виторг у сотнях мільйонів доларів, створював робочі місця. Для відновлення роботи ІнГЗК необхідна зважена тарифна та фіскальна політика з боку держави, кажуть у компанії. «Кожне підприємство має кілька меж: після першої воно зупиняє модернізацію, після другої – припиняє діяльність.

І тоді втрачають усі: місцеві громади, державні монополії та сама держава», – заявили у «Метінвести».

Три з чотирьох ГЗК «Метінвесту» у жовтні працювали майже на 100 % завантаження і вже вийшли на довоєнні показники. Водночас Іnguлецький ГЗК залишається у простої, оскільки виробництво там стало неконкурентним на зовнішніх ринках через вартість електроенергії. «Метінвест» має чіткий план відновлення ГЗК, але необхідно разом із державою знайти рішення, як створити умови для запуску. Це додало б щонайменше 12 млн тон залізорудної сировини на експорт і близько 2000 робочих місць у Кривому Розі [1–3].

Отже, найскладніша ситуація на Іnguлецькому ГЗК, який перебуває у простої. Там ведеться невеличкий видобуток руди й виробництво руди задля технологічних завдань – об'єми становлять до 40 тис. т на місяць. Це такий «підтримуючий режим». Подальші перспективи напряму залежать від ринку. Через високі тарифи на електроенергію концентрат ІnГЗК наразі неконкурентоздатний навіть на китайському ринку. Тут потрібен збіг двох факторів: доступна ціна на електроенергію й збільшення рівня цін на залізорудну продукцію, щоб ми мати можливість запустити це підприємство. У компанії вже є план відновлення ІnГЗК, проте для його реалізації потрібна стабільна ситуація як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Хоча основне виробництво зупинене, деяке обладнання проходить ремонт, як, наприклад, буровий верстат Atlas Copco, що був відремонтований у січні 2024 року. Комбінат не припинив свого існування як організації. Він зберігає колектив, проводить технічні, ремонтні та підтримувальні роботи, а також деякі технологічні операції у «підтримувальному режимі», рис. 1.

Попри складні умови воєнного часу, керівництво комбінату докладає зусиль, щоб підтримувати готовність виробничих потужностей до подальшого відновлення. Особливу увагу приділяють збереженню технологічного обладнання, кар'єрної техніки, енергетичного та транспортного господарства. Такі дії дозволяють уникнути деградації виробничої інфраструктури і швидше повернутися до повноцінної роботи після стабілізації ситуації

в країні. Наразі у листопаді на кар'єрі ГЗК працює п'ять екскаваторів: три на руді і три самоскиди з ними; один на розкритті і з ним один самоскид; один на формуванні відвалу.



**Рис. 1. Поточна робота кар'єру ІнГЗК**

Такий розподіл техніки обумовлений вимогами з якості продукції, які розраховані Технічним бюро кар'єру. Також силами Технічного бюро здійснюються поточні техніко-економічні розрахунки. Місячний обсяг видобутку руди складає 18,9 тис. тон. Вміст заліза в руді дорівнює 23 %. Збагачувальні фабрики знаходяться у простой. Дробильна фабрика працює за переривчастим графіком. Навіть у цей важкий період працівники виконують ремонтні, охоронні та відновлювальні роботи. Проводиться обстеження техніки, модернізація окремих ділянок, відновлення інженерних мереж і кар'єрної інфраструктури.

Таким чином, група зосереджується на утриманні та поступовому збільшенні завантаження діючих потужностей, очікуючи сприятливих ринкових умов для повноцінного запуску Інгулецького комбінату [3-5].

**Перелік використаних джерел**

1. Дайджест новин ГЗК від 26.09.2025. Важке півріччя: Метінвест завершив першу половину 2025 року зі збитком. URL: <https://sway.cloud.microsoft/JgySE4l3WyrfCDBx?ref=Link>
2. Дайджест новин ГЗК від 10.10.2025. Виробничі підсумки вересня в Групі Метінвест. URL: <https://sway.cloud.microsoft/KllqMod04xeCB5KW?ref=Link>
3. Дайджест новин ГЗК від 14.11.2025. Виробничі підсумки жовтня в Групі Метінвест. URL: <https://sway.cloud.microsoft/qcCoYKweXAgLLMJ6?ref=Link>
4. Тарчинець М. Інгулецький ГЗК залишається у простой через високі ціни на електроенергію – «Метінвест». *Forbes Ukraine*. URL: <https://surl.li/gmwfzb>
5. Метінвест» нарощує завантаження ГЗК, але ІнГЗК поки у простой. *Agronews.ua*. URL: <https://surl.li/ymqijl>

**РЕКОНСТРУКЦІЯ ПІДЗЕМНОЇ ОПОРНОЇ МАРКШЕЙДЕРСЬКОЇ  
МЕРЕЖІ ГОРИЗОНТУ 265 М ШАХТИ «ДНІПРОВСЬКА»  
ВСП «ШУ «ДНІПРОВСЬКЕ» ПРАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»**

**Новицький Г. А.**

*студент гр. ГСМ-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Волокітін В. С.**

*студент гр. ГСМ-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Назаренко В. О.**

*д.т.н., професор кафедри гірничої справи, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Шахта «Дніпровська» введена до експлуатації у 1975 році з проектною потужністю 1 500 тис. тон вугілля на рік. Шахтне

поле розкрите двома вертикальними стовбурами: головним (глибиною 338 м) і допоміжним (глибиною 349 м). Розміри шахтного поля за простяганням – до 10,5 км, за падінням – до 6 км. Шахтне поле поділене на два блоки – № 1 і № 2.

Вугілля, що видобувається на шахті «Дніпровська», згідно з ДСТУ 3472-2015 відноситься до марки ДГ. Використовується для енергетики.

Шахта забезпечена промисловими запасами на 25 років. Промислові запаси станом на 01.01.2022 складають 49087 тис. тон. Підготовлені запаси станом на 01.01.2022 складають 489 тис. тон. Загальна кількість шахтопластів – 14, з них в 2026 році розробляється пласт  $c_{10}^B$ . Корисна потужність пласта  $c_{10}^B$  коливається від 1,02 до 1,17 метрів, кути падіння – від 2 до 5 градусів.

Необхідність реконструкції та розвитку підземної маркшейдерської опорної мережі виникла під впливом таких основних факторів:

- збільшення протяжності опорної мережі;
- відставання гіроскопічних вставок (гіросторін);
- накопичення впливу похибок та відповідно зниження точності мережі у найбільш віддалених виробках;
- необхідність збійки виробок.

Роботи планується виконувати відповідно до вимог інструкції [1] з обов'язковим попереднім складанням проекту виконання маркшейдерських робіт з реконструкції опорної маркшейдерської мережі, шляхом прокладання полігонометричних ходів та орієнтуванням.

Метою виконання робіт є визначення планових координат пунктів підземної планової маркшейдерської опорної мережі. Визначення висот пунктів не передбачено.

Реконструкцію та подальший розвиток підземної маркшейдерської опорної мережі передбачається виконати шляхом прокладання замкнутого полігонометричного ходу, розділеного гіросторонами на секції.

Полігонометричний хід прокладається:

- від вихідної сторони мт61 – мт100, розташованої на СХПУпл. $C_{10}^B$ , по СХПУпл. $C_{10}^B$ , по ЗМВШ пл. $C_{10}^B$ , по 2 ЗМОШ гор.265м

до вихідної гіросторони мт898 – мт980 розташованої на 2 ЗМОШ гор.265м;

– від вихідної гіросторони мт898 – мт980 розташованої на 2 ЗМОШ гор.265м, по 2 ЗМОШ гор.265м, по ЗМВШ пл.С<sub>10</sub><sup>В</sup>, до вихідної сторони мт100 – мт61.

За вихідні координати для обчислення полігонометричного ходу прийняті координати точок мт61 та мт100, надані маркшейдерським відділом. За вихідний дирекційний кут прийнято дирекційний кут сторони мт898 – мт980, визначений за допомогою гірокомпасу.

#### *Методика виконання вимірювань*

Точність та методика вимірювань у полігонометричному ході відповідають Інструкції [1]. Горизонтальні кути вимірюють оптичним теодолітом Theo-020 двома повними прийомами, з яких обчислюється середнє значення. Кутомірна частина даного теодоліту відповідає вітчизняним теодолітам типу Т-5. Горизонтальні прокладання полігонометричного ходу вимірюються вибухобезпечним світлодалекоміром МСД-1М. Фактична похибка далекоміра не перевищує  $m_s = (2 + 2 \cdot 10^{-6} S)$  мм. Прилади, використані для виконання робіт, повіряються відповідно до інструкцій [1–4].

Центрування теодоліту, світлодалекоміру та сигналів (відбивачів) здійснюється за допомогою шнурових висків. При довжинах сторін менше 30 м виконується автоматичне центрування приладу та відбивачів.

#### *Обробка результатів вимірювань*

У процесі камеральної обробки вимірювань виконується перевірка та обробка журналів кутових та лінійних вимірювань та журналів гіроскопічного орієнтування. Обчислюються ліві по ходу горизонтальні кути полігонометричних ходів. Горизонтальні прокладання обчислюються як середні з вимірів у прямому та зворотному напрямках. Розрахунки координат пунктів та зрівнювання підземної опорної мережі виконується у спеціальній програмі з урахуванням дирекційного кута гіросторони, прийнятої за вихідний.

**Перелік використаних джерел**

1. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція/ Ред. коміс.: М. Є. Капланець та ін. Вип. офіц. Донецьк : ТОВ «Алан», 2001. 264 с.
2. Інструкція з експлуатації светловіддалеміра МСД-1М.
3. Сборник инструкций по производству поверок геодезических приборов. – М. Недра, 1988. 77 с.
4. Технічний опис та інструкція з експлуатації гірокомпасу МВТ-2.

**ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ ГЕОТЕХНІЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ  
У ГІБРИДНУ СТОХАСТИЧНУ МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ  
ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

*Пилипчук Д. І.*

*аспірант кафедри відкритих гірничих робіт  
Криворізький національний університет  
м. Кривий Ріг, Україна*

Стратегічне планування гірничих робіт на глибоких залізорудних кар'єрах в умовах невизначеності вимагає переходу від детермінованих розрахунків до адаптивних стохастичних моделей, де впровадження мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів (МДПК) розглядається як ключовий інструмент зниження експлуатаційних витрат на транспортування. Сучасні дослідження в галузі стохастичної оптимізації досягли значного прогресу у врахуванні невизначеності цін, попиту та вмісту корисного компонента в руді. Однак, параметри надійності транспортної системи у більшості стратегічних моделей задаються як фіксовані величини, що не повною мірою відображає ризики експлуатації крутопохилого обладнання в складних гірничо-технічних умовах.

Таке спрощення може призводити до викривлення результатів оптимізації, оскільки традиційні моделі часто розглядають трасу

конвеєра як лінійний об'єкт з усередненим кутом нахилу, тоді як у реальних умовах глибоких кар'єрів спостерігається виражена зональність структури робочої зони. Зокрема, дослідження підтверджують необхідність диференційованого підходу до кутів нахилу, де на верхніх горизонтах через зсувні процеси доцільно використовувати пологі конвеєри ( $10-18^\circ$ ), а на нижніх скельних горизонтах – крутопохилі конвеєри ( $30-36^\circ$ ).

Метою роботи є обґрунтування доцільності включення блоку жорстких технічних обмежень у гібридну стохастичну модель шляхом введення динамічних змінних, що базуються на стохастичності граничного кута підйому. Цей кут залежить від випадкової величини коефіцієнта тертя вантажу об стрічку та кута незаповнення. Такий підхід дозволяє відсіювати сценарії трасування, де існує ймовірність зворотного скочування вантажу, а також враховувати обмеження за міцністю стрічки. Оскільки при значній висоті підйому виникають критичні навантаження (понад  $10^5$  Н/мм), це вимагає переходу до каскадних схем із проміжними перевантажувальними пунктами для зниження зусилля.

Запропоноване розширення гібридної стохастичної моделі за рахунок інтеграції фізико-технічних обмежень дозволяє підвищити робастність проєктних рішень. Це забезпечує пошук оптимального моменту впровадження МДПК, який збалансований не лише за критерієм ризик-зваженого NPV, але й гарантує технологічну надійність системи та дозволяє мінімізувати консервацію руди під транспортними комунікаціями в умовах складної геометрії глибокого кар'єру.

## ОСОБЛИВОСТІ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

**Рачинський Р. К.**

*студент групи ГСв-25м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Диспетчеризація автомобільного транспорту глибоких кар'єрів в умовах невизначеності тривалості рейсів, змінної довжини транспортних плечей і складної геометрії уступів потребує переходу від статичних емпіричних правил до адаптивних моделей оперативного керування спільним парком самоскидів. Ці моделі спираються на поєднання телеметрії, супутникових навігаційних систем, систем визначення місцеположення у реальному часі та даних бортової діагностики, що дає змогу одержувати об'єктивні поточні оцінки швидкостей, затримок і стану інфраструктури. У центрі уваги має знаходитися не лише максимізація годинної продуктивності гірничої маси, а й стабілізація ритму постачання, зниження сумарних простоїв на навантаженні й розвантаженні, дотримання технологічних та безпекових обмежень для крутопохилого транспорту. Для глибоких кар'єрів Криворізького басейну, де поєднуються довгі маршрути, значні висоти підйому та нерівномірність фронтів робіт, така диспетчеризація стає ключовим інструментом підвищення ефективності.

Методологічна особливість сучасної диспетчеризації полягає в поданні транспортної системи як керованої мережі обслуговування з часовою змінністю навантаження та можливістю оперативного перепризначення машин між кількома пунктами навантаження і розвантаження. Прийняття рішень відбувається у ковзному горизонті планування з урахуванням прогнозованого часу прибуття, пропускної здатності доріг, допустимих ухилів, вікон доступності обладнання та безпекових інтервалів. Таке керування зменшує черги та розбалансованість, швидше

виводить екскаватори на їхні технічні межі і забезпечує стійкішу подачу на переробку за нижчих експлуатаційних витрат.

Подальший розвиток систем диспетчеризації пов'язаний із широким використанням систем зі штучним інтелектом. Перспективними є модулі прогнозної аналітики для оцінювання часу прибуття з урахуванням погоди, стану дорожнього полотна та динаміки черг; підкріплювальне навчання для вироблення політик перепризначення, здатних самонавчатись на операційних даних; цифрові двійники для безпечного програвання сценаріїв і вибору налаштувань без ризику для виробництва; інтелектуальні системи виявлення аномалій для раннього попередження про відмови техніки та деградацію інфраструктури. За дотримання цих умов штучний інтелект здатен перетворити диспетчеризацію на робастний, відтворюваний та економічно ефективний процес, який підсилює професійні дії диспетчера і забезпечує стійкі виграші в продуктивності та якості керування транспортом глибоких кар'єрів.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУХОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ІНГУЛЕЦЬКОГО ГЗК**

***Стрельцова О. М.***

*студентка гр. ГСз-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Застосування сухої магнітної сепарації (СМС) у гірничо-металургійному комплексі є ключовим елементом підвищення ефективності переробки магнетитових кварцитів не лише в Україні, а й у світових гірничодобувних державах, таких як Канада, США та Австралія. Впровадження СМС на стадії попереднього збагачення дозволяє вирішити критично важливі завдання: стабілізувати

вміст заліза у живленні мокрої секції (з вихідних 20–35 % до 35–40 %), істотно знизити енергоспоживання (за рахунок виведення до 40 % пустої породи перед млинами) та мінімізувати використання водних ресурсів. Ця технологія забезпечує не тільки значний економічний ефект і зростання конкурентоспроможності кінцевого концентрату до 65–70 % Fe, але й відповідає сучасним вимогам ресурсо- та енергозбереження, що є життєво необхідним в умовах обмеженості ресурсів та боротьби за стабільність виробництва.

У зв'язку з цим, виникає нагальна потреба у детальному дослідженні та оптимізації ключових параметрів роботи обладнання для максимізації технологічного та економічного ефекту.

Метою даного дослідження є визначення впливу напруженості магнітного поля та гранулометричного складу подачі на ефективність процесу СМС магнетитових кварцитів у промислових умовах Інгулецького ГЗК. Об'єктом дослідження є магнетитові кварцити з вмістом магнітного заліза у межах 20–23,5 %, що надходять на сепарацію після чотирьох стадій дроблення. У процесі роботи використано технологічні дані функціонування барабаних сепараторів ПБКС-90/120, розташованих перед першою стадією подрібнення.

Сировина, що надходить на сепарацію, характеризується вмістом класу +20 мм до 12 % та значною часткою тонкодисперсних фракцій, які формують відходи процесу. Вони складаються переважно з кварцу та польового шпату, мають щільність 2,6–3,0 т/м<sup>3</sup> і можуть містити незначні домішки мінералів, що впливають на кислотність стічних вод. У промислових умовах виділяють три режими роботи сепараторів, залежно від вмісту магнетитового заліза у вихідній руді: до 21,5 %, від 21,5 до 23,5 % та понад 23,5 %. Для кожного режиму встановлено рекомендовані положення дільника та магнітної системи, що забезпечують оптимальне співвідношення між якістю та вилученням.

Отримані дані свідчать, що напруженість магнітного поля є визначальним чинником, який формує селективність розділення. За низьких значень напруженості, наприклад,  $H < 80$  кА/м,

вилучаються лише частинки з найвищою магнітною сприйнятливістю, що забезпечує високу якість концентрату, але знижує вилучення. Оптимальна напруженість, що відповідає діапазону 120–160 кА/м, дозволяє досягти ефективного балансу між цими показниками. Надмірно висока напруженість, наприклад,  $H > 240$  кА/м, навпаки, призводить до захоплення слабомагнітних та немагнітних частинок, що знижує вміст заліза у концентраті та збільшує його засміченість. Подібні закономірності спостерігаються і під час аналізу впливу гранулометричного складу: надто крупні частинки не забезпечують достатнього розкриття зростків, тоді як надто дрібні схильні до утворення агломератів і пилу, що знижує ефективність процесу. Найкращі результати досягаються у випадку оптимальної крупності, що забезпечує рівномірне розділення та стабільну роботу обладнання.

Аналіз промислових даних за різними режимами показує, що збільшення вмісту магнетитового заліза у вихідній руді супроводжується зміною втрат з хвостами. При вмісті  $Fe_{\text{магн}}$  до 21,5 % вихід хвостів перевищує 10 %, а вміст магнітного заліза у них становить 3,4–5,0 %. За вмісту 21,5–23,5 % вихід зменшується до 7–10 %, а вміст магнітного заліза збільшується до 5,0–7,0 %. Для руд із вмістом понад 23,5 % вихід хвостів становить 5–7 %, але вони містять 7,0–9,0 % магнітного заліза, що свідчить про збільшення втрат через наявність дрібних слабомагнітних частинок.

Проведений аналіз підтверджує, що оптимізація параметрів СМС дозволяє значно підвищити ефективність роботи фабрики. Застосування СМС на стадії пре-концентрації сприяє зменшенню обсягів матеріалу, що надходить на подрібнення, на 10–15 %, скорочує енергоспоживання мокрого циклу, знижує потребу у воді та обсяг шламів, а також підвищує стабільність роботи подальших технологічних операцій.

Отже, що ефективність процесу визначається оптимальним поєднанням напруженості магнітного поля та крупності живлення. Надмірне збільшення напруженості або надто дрібна крупність призводять до зниження якості концентрату та збільшення втрат заліза з відходами. Водночас правильний вибір параметрів

роботи сепараторів ПБКС-90/120 забезпечує зменшення маси хвостів, мінімізацію втрат магнітного заліза та підвищення продуктивності фабрики.

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ЗМІННИХ ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ ФАКТОРІВ**

***Султанов М. В.***

*студент гр. ГСв-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Ефективність виймально-навантажувального устаткування у сучасних кар'єрах визначається комплексом гірничотехнічних, технологічних та організаційних чинників, які формують умови функціонування екскаваторно-транспортного комплексу. Кожен із цих чинників по-своєму впливає на кінцевий результат, тому забезпечення стабільності виробничого процесу можливе лише за умови їх системного врахування. Вирішальне значення мають фізико-механічні властивості гірських порід, конфігурація вибою, раціональна організація робіт, правильне визначення параметрів буропідривних робіт і якість підготовки гірничої маси після вибуху. Зміна будь-якого з цих параметрів відбивається на ритмічності роботи техніки, продуктивності екскаваторів і ступені узгодженості навантажувально-транспортних операцій.

Одним із ключових чинників ефективності є ступінь подрібнення гірничої маси у розвалі. Саме від цього показника залежить можливість забезпечення рівномірного навантаження порід у ковші екскаватора, швидкість виконання циклу екскавації та безперервність роботи транспорту. Надмірна кускуватість порід спричинює зниження коефіцієнта наповнення ковша, збільшення тривалості циклу, часті зупинки під час навантаження

та перевитрати палива. Крім того, великі шматки створюють підвищене навантаження на робочі органи екскаватора, прискорюючи їх зношування і підвищуючи витрати на технічне обслуговування.

Дослідження показують, що зі зростанням середнього розміру шматків гірничої маси у розвалі спостерігається чітка тенденція до зменшення коефіцієнта наповнення ковша і коефіцієнта використання машинного часу. Натомість коефіцієнт розпушення порід у ковші зростає, що зумовлює появу додаткових порожнин у завантаженому об'ємі. У результаті реальний обсяг завантаження скорочується, а тривалість робочого циклу екскавації зростає. Це безпосередньо впливає на ефективність роботи екскаватора і загальну продуктивність гірничо-транспортного комплексу.

Залежність експлуатаційної продуктивності екскаватора від гранулометричного складу гірничої маси характеризується стійким спадним трендом: при збільшенні середнього розміру куска породи кількість завантаженої маси за одиницю часу зменшується. Це призводить до зростання питомих витрат на екскавацію, підвищення енергоємності процесу, зниження коефіцієнта використання техніки та порушення узгодженості між операціями навантаження й транспортування.

Водночас надмірне подрібнення порід також не є оптимальним рішенням. Зі зменшенням розміру кусків різко зростають витрати на буропідривні роботи, підвищуються витрати на вибухові речовини, зростає запиленість робочої зони, а дрібна фракція ускладнює навантаження і транспортування. Таким чином, під час проектування буропідривного циклу необхідно визначати раціональний ступінь подрібнення, який забезпечує мінімальні сумарні витрати на основні технологічні процеси – буріння, підривання, навантаження, транспортування і вторинне подрібнення.

Раціональне співвідношення між параметрами вибухових робіт та експлуатаційною ефективністю екскаваторів визначає основу оптимізації виймально-навантажувальних процесів. Правильно підібрана якість подрібнення дозволяє досягти стабільного коефіцієнта наповнення ковша, скоротити час завантаження,

підвищити узгодженість із транспортом і зменшити собівартість видобутку. З іншого боку, нехтування цими взаємозв'язками призводить до зниження продуктивності, зростання простоїв, перевитрат пального та прискороеного зносу техніки.

Оптимізація роботи виймально-навантажувального обладнання потребує впровадження системного підходу, що включає моніторинг фактичного стану розвалу, аналіз гранулометричного складу та прогнозування продуктивності на основі аналітичних і цифрових моделей. Такі моделі дозволяють своєчасно коригувати параметри буропідричних робіт, встановлювати допустимі межі подрібнення та забезпечувати стабільність навантажувальних процесів у різних гірничотехнічних умовах.

Тому необхідно обґрунтовувати доцільну ступінь подрібнення з урахуванням технологічних і економічних критеріїв. Раціональне співвідношення між витратами на дроблення та експлуатаційною ефективністю екскаваторів нададуть змогу визначити оптимальні параметри буропідричного циклу.

Таким чином, гірничотехнічні фактори мають визначальний вплив на результативність роботи виймально-навантажувального обладнання. Системний підхід до планування, який враховує взаємозв'язок між параметрами буропідричних робіт, якістю подрібнення, коефіцієнтами наповнення ковша і розпушення, дозволить формувати науково обґрунтовані режими навантаження. Реалізація таких підходів забезпечить підвищення ефективності відкритих гірничих робіт, зниження питомих енерговитрат і стабільність техніко-економічних показників кар'єру.

## **ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОСУ БРОНІ КУЛЬОВИХ МЛИНІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ**

**Червятюк С. В.**

*студентка гр. ГСз-25-1М*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Левченко К. А.**

*д.т.н., кафедра гірничої справи, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Знос броні кульових млинів є одним із ключових факторів, що визначає ефективність процесу збагачення залізорудної сировини. Від стану футеровки залежить не лише якість подрібнення, але й енергоспоживання, стабільність роботи обладнання та економічні показники підприємства. Сучасні тенденції вимагають підвищення ресурсу броні, зниження витрат на ремонт та оптимізації технологічних режимів [1].

Мета роботи: Провести комплексний аналіз факторів, що впливають на інтенсивність зносу броні кульових млинів, визначити їх вплив на технологічні та якісні характеристики процесу збагачення, а також розробити рекомендації щодо зниження зносу.

1. Фактори зносу броні: Ударний, абразивний, корозійний знос формують загальний ресурс футеровки. Їх інтенсивність впливає на стабільність роботи млина та рівномірність подрібнення руди.

2. Конструктивні особливості млина: Тип розвантаження, форма футеровки, ліфтери визначають характер руху куль і пульпи, що впливає на ступінь подрібнення та якість готового продукту.

3. Матеріали броні: Сталева броня забезпечує ударостійкість, гумова – знижує шум і корозію, комбінована – оптимізує ресурс. Вибір матеріалу впливає на стабільність гранулометричного складу концентрату.

4. Вплив технічної води: Хімічний склад води (рН, жорсткість, домішки) визначає корозійний знос і, як наслідок, впливає на чистоту пульпи та якість збагачення [1, 2].

5. Параметри пульпи: Густина пульпи впливає на ефективність подрібнення. Надмірна густина призводить до нерівномірного помелу, що знижує вміст заліза у концентраті.

6. Вплив куль: Розмір, твердість і форма куль визначають ступінь подрібнення. Неправильна градація куль призводить до утворення мертвих зон і зниження якості готового класу.

7. Вплив на якість збагачення: Інтенсивність зносу броні кульових млинів безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту збагачення. Зношена футеровка змінює геометрію внутрішнього простору млина, що призводить до нерівномірного руху куль і пульпи.

Це викликає коливання у гранулометричному складі руди: частина матеріалу залишається неподрібненою, а інша переходить у надмірно тонкий клас. Така дисперсність негативно позначається на ефективності магнітної сепарації та флотації, оскільки оптимальний клас крупності є критичним для вилучення заліза [2, 3].

При нерівномірному помелі зростає кількість шламів, що збільшує втрати корисного компоненту у хвостах і знижує вміст заліза у концентраті. Крім того, надмірне подрібнення підвищує енерговитрати та зменшує продуктивність фабрики. Стабільний стан броні забезпечує рівномірний розподіл навантаження, оптимальну траєкторію руху куль і контрольований режим подрібнення, що дозволяє отримати концентрат із високим вмістом заліза (до 68–70 %) та мінімізувати втрати [3, 4].

Таким чином, знос броні – це не лише механічна проблема, а й фактор, що визначає якість готового продукту, економічну ефективність та екологічні показники виробництва. Своєчасний контроль і заміна футеровки, а також використання зносостійких матеріалів є ключовими умовами для стабільного отримання кондиційного концентрату.

1. Моніторинг зносу броні та куль: Використання віброакустичних сенсорів, ультразвукових зондів і акустичних систем

контролю дозволяє визначати рівень зносу в реальному часі. Це знижує ризик аварійних зупинок і забезпечує своєчасну заміну футеровки.

2. Контроль вологості та густини пульпи: Надмірна вологість знижує ефективність ударного подрібнення, а неправильна густина призводить до нерівномірного помелу. Автоматизовані системи контролю густини (гідростатичні датчики, радіоізотопні вимірювачі) стабілізують процес і підвищують якість концентрату.

3. Оптимізація обертання млина: Встановлення частотних перетворювачів дозволяє регулювати швидкість обертання барабана залежно від властивостей руди та навантаження. Це мінімізує ударні навантаження, знижує знос броні та куль, забезпечує стабільність гранулометричного складу.

4. Використання комбінованих футеровок: Гумометалеві та полімерно-композитні броні поєднують міцність металу та еластичність полімерів, що знижує знос до 30 %, зменшує шум і вібрації, підвищує ресурс футеровки [4].

5. Система автоматичного дозування куль: Безперервне підтримання оптимального рівня завантаження (36–40 % об'єму млина) зменшує ризик перевантаження, стабілізує процес подрібнення та підвищує якість концентрату.

6. Використання керамічних куль: Заміна частини сталевих куль на керамічні підвищує ресурс молоткових тіл, знижує знос броні та енерговитрати, особливо на стадіях тонкого подрібнення.

7. Контроль хімічного складу технічної води: Автоматичне регулювання рН і жорсткості води запобігає корозійному зносу броні, стабілізує умови роботи млина та покращує якість пульпи.

8. Використання спеціальних сталей і демпфувальних прокладок: Леговані сталі з хромом, бором і молібденем підвищують зносостійкість броні, а демпфувальних прокладки знижують ударні навантаження, запобігаючи утворенню мікротріщин [4].

9. Цифрове моделювання та 3D-аналіз: Використання програмного забезпечення для моделювання роботи млина дозволяє оптимізувати форму броні, розташування плит і траєкторію руху куль, що знижує знос і підвищує ефективність процесу.

10. Економічні переваги: Впровадження нововведень знижує витрати на ремонт, підвищує продуктивність, стабільність роботи обладнання та покращує якість концентрату, забезпечуючи швидку окупність інвестицій у модернізацію.

Раціональний вибір матеріалів броні та контроль режимів роботи млина є ключовими чинниками для стабільності процесу подрібнення. Збереження оптимального стану футеровки забезпечує рівномірний помел руди, що напряму впливає на гранулометричний склад і якість збагачення.

При правильному підборі параметрів пульпи та молольних тіл досягається підвищення вмісту заліза у концентраті (до 68–70 %), зменшення кількості шламів і втрат корисного компоненту у хвостах. Це не лише покращує технологічні показники, а й знижує енерговитрати, забезпечує стабільність роботи фабрики та економічну ефективність виробництва.

Впровадження сучасних рішень – автоматизованого контролю, комбінованих футеровок, оптимізації швидкості обертання – гарантує отримання кондиційного продукту високої якості та мінімізацію простоїв обладнання.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Самілін В. М., Білецький В. С. Спеціальні методи збагачення корисних копалин. Донецьк : [б. в.], 2003. 116 с.
2. Папушин Ю. Л., Смирнов В. О., Білецький В. С. Дослідження корисних копалин на збагачуваність. Донецьк : Східний видавничий дім, 2006. 344 с.
3. Білецький В. С., Смирнов В. О. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин. Київ : [б. в.], 2019. 286 с.
4. ДСТУ 8538:2015. Кулі молольні сталеві для кульових млинів: технічні умови. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015.



$$M = U_{HH}^2 \left( \frac{K_T \cdot \Delta C_K}{C_{n.e} \cdot T_B} + \Delta_T \right) \text{кВАр} \cdot \text{Ом}; \quad (3)$$

де  $K_T$  – коефіцієнт терміну окупності БК;

$C_{n.e}$  – вартість електроенергії, грн/кВт·год;

$T_B$  – час використання БК, годин;

$\Delta_T$  – коефіцієнт;

$U_{HH}$  – вторинна напруга цехового трансформатора, кВ.

У розрухунках приймаємо наступне: термін окупності – 8; 4 роки; відповідно коефіцієнт  $K_T$  – 112,5; 225,0; коефіцієнт  $\Delta_T$  – 0,5; 1,0. Еквівалентний опір мережі  $r_\Sigma = 0,0012$  Ом. Час використання БК – 6000 або 4000 годин. Вартість електроенергії:  $C_{n.e} = 1; 2; 3; 4; 5$  грн/кВт·год. Різниця питомої вартості конденсаторів ВН та НН –  $\Delta C_K = 50$  грн/кВАр. Цехова підстанція підприємства живиться від ЛЕП–35 кВ, головний знижувальний трансформатор ТМ–4000–35/6 кВ, навантаження підстанції  $S = 3020 + 2305$  кВА. Розрахуємо потужність батареї конденсаторів:

$$Q_{БК} = P(\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi_2) = 3020 (0,763 - 0,22) = 1640 \text{ кВА},$$

де  $P$  – загальне активне навантаження, кВт;

$\text{tg}\phi_1 = 0,763$  – середньорічний;

$\text{tg}\phi_2 = 0,22$  – нормативний коефіцієнт потужності, згідно [1].

Оптимальний розподіл потужностей БК між пристроями ВН та НН визначаємо за [2], однак будемо враховувати зміну вартості електроенергії.

1. Приймаємо:  $T_{ок} = 8$  років,  $T_B = 4000$  годин.

Сумарне реактивне навантаження на стороні НН:  $Q_{HH} = 1200$  кВАр.

Розрахунки виконуємо для  $C_{n.e} = 1; 2; 3; 4; 5$  грн/кВт·год (табл. 1).

2. Приймаємо  $T_{ок} = 4$  роки,  $T_B = 4000$  годин.

Розрахунки виконуємо для  $C_{n.e} = 1; 2; 3; 4; 5$  грн/кВт·год (табл. 1).

Повторимо розрахунки для  $T_B = 6000$  годин (табл.1).

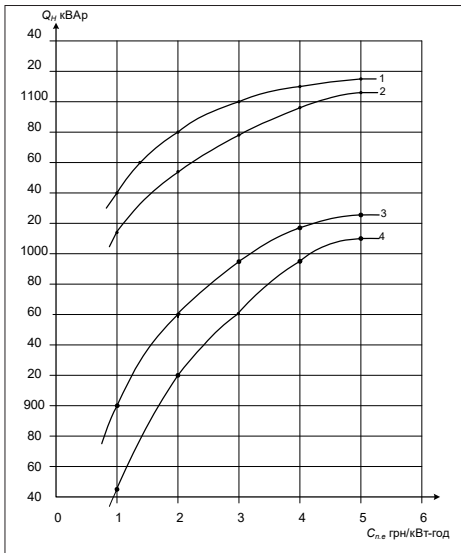
Для наочності виконаних *розрахунків* побудований графік (рис. 1).

Таблиця 1

**Розподіл потужностей конденсаторів у мережі ВН і НН**

Термін окупності і час роботи БК	$T_{ок} = 8 \text{ років}$		$T_{ок} = 4 \text{ роки}$	
	$T_B = 4000 \text{ годин}$	$T_B = 6000 \text{ годин}$	$T_B = 4000 \text{ годин}$	$T_B = 6000 \text{ годин}$
$C_{н.е} = 1,0$	1018	1037	842	902
	622	612	798	740
$C_{н.е} = 2,0$	1058	1084	911	960
	584	556	729	674
$C_{н.е} = 3,0$	1080	1102	968	992
	558	537	672	638
$C_{н.е} = 4,0$	1092	1112	990	1018
	544	528	640	626
$C_{н.е} = 5,0$	1106	1118	1010	1030
	534	522	627	605

**Примітка:** у чисельнику оптимальна потужність конденсаторів мережі НН; у знаменнику потужність БК мережі ВН.



**Рис. 1.** Графік оптимального розподілу потужностей конденсаторів у мережі НН: 1, 3 (для  $T_B = 6000 \text{ годин}$ ); 2, 4 (для  $T_B = 4000 \text{ годин}$ )

Апроксимуємо отримані залежності параболою другого порядку, яка має аналітичний вираз  $y = a + vx + cx^2$ ; у нашому випадку:  $y$  – оптимальна потужність конденсаторів низької напруги, кВар;  $x$  – питома вартість електроенергії, грн/кВар;  $a, b, c$  – коефіцієнти параболі.

Розв'язання рівнянь дає значення коефіцієнтів для параболі (2):

$$Y = 0,990 + 0,039 X - 0,00325 X^2,$$

параболі (4):

$$Y = 0,758 + 0,095 X - 0,0087 X^2.$$

Аналіз показує, що апроксимація виконано задовільно.

Аналіз отриманих результатів виконаний на підставі даних табл. 1:

- **вплив собівартості електроенергії:** збільшення  $C_{н.е}$  призводить до зростання оптимальної потужності конденсаторів на стороні НН, аналогічно впливає і час роботи конденсаторів;
- **вплив терміну окупності:** зменшення терміну окупності призводить до зменшення потужності конденсаторів на стороні НН;
- **вплив часу роботи БК:** при незмінній питомій вартості електроенергії та зростанні часу роботи оптимальна потужність конденсаторів на стороні НН зростає.

#### Перелік використаних джерел

1. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України прийнятий 6 лютого 2018 року № 87 (Із змінами, внесеними згідно № 764 від 30.11.2020).
2. Маліновський А. А. Основи електроенергетики та електропостачання : підручник / А. А. Маліновський, Б. К. Хохулін. Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2009. 436 с.

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ  
ШИН АВТОМОБІЛЯ БЕЛАЗ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ  
КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Балинський В. Р.**

*студент гр. ПМм-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Цимбал Б. М.**

*д.н.держ.упр., доцент, професор кафедри підвищення кваліфікації та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту, науковий керівник, Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

*професор кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Експлуатація великовантажних кар'єрних самоскидів БЕЛАЗ характеризується складними навантажувальними режимами, які спричиняють нерівномірне зношування шин та значні градієнти напружень у їхній конструкції. З точки зору прикладної механіки, ресурс шини визначається сукупністю циклічних механічних впливів, температурних градієнтів, інтенсивності деформацій зсуву та величини контактних напружень у зоні плями контакту. Тому прогнозування ресурсу лише на основі пробігу або граничної глибини протектора є неточним та не відображає реальних умов роботи [1].

Сучасні телеметричні системи забезпечують збір даних щодо миттєвого навантаження на колесо, тиску та температури у внутрішній порожнині, прискорень у трьох осях та параметрів мікропрофілю дороги. Обробка таких даних із використанням алгоритмів машинного навчання дозволяє формувати моделі деградації матеріалу шини, зокрема враховувати зміну жорсткості каркасу внаслідок накопичення пошкоджень, характер напружено-деформованого стану та локальні концентрації напружень у бортових

зонах [2]. Нейромережеві моделі демонструють відхилення прогнозу залишкового ресурсу не більше ніж 8–12 %, що у 2–3 рази точніше за емпіричні методи [3].

Поглиблений підхід передбачає інтеграцію результатів телеметрії з даними чисельного моделювання у CAE-середовищах Abaqus або ANSYS. Розв'язання задачі контактної взаємодії «шина – деформівне ґрунтове середовище» дозволяє відтворити напружено-деформований стан при різних величинах внутрішнього тиску, вантажопідйомності та геометрії маршруту. Аналіз із застосуванням методу скінченних елементів показує, що пікові напруження виникають у ділянках згину каркасу та внутрішніх кордних шарах, де розвиток втомних мікротріщин починається вже після 35–45 % ресурсу [4].

Поєднання комп'ютерного моделювання та телеметричних алгоритмів дозволяє не тільки прогнозувати залишковий ресурс, а й розробляти оптимальні режими експлуатації. Зниження швидкості на 10–15 % у зонах високого градієнта ухилу маршруту зменшує пікові значення вертикального навантаження на 8–12 %, що прямо впливає на збільшення ресурсу на 5–7 %. Оптимізація тиску в шинах за результатами моделювання дозволяє мінімізувати деформації боковини, що також подовжує термін служби. Таким чином, інтеграція цифрових технологій створює передумови для впровадження концепції «розумного кар'єру», у якій технічний стан шин контролюється та прогнозується у реальному часі.

### Перелік використаних джерел

1. Коханенко В. Б. Розробка методів діагностики внутрішніх руйнувань автомобільних шин в умовах експлуатації : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20. Харків, 2005. 216 с.
2. Ando T. Tire Wear Life Prediction Using Machine Learning Technique, SAE Technical Paper 2025-01-8757, 2025. URL: <https://doi.org/10.4271/2025-01-8757>
3. Shakenov A., Sadkowski A., Stolpovskikh I. Haul road condition impact on tire life of mining dump truck. *Naukovyi visnyk natsionalnoho*

*hirnychoho universytetu*. 2022. № 6. P. 25–29. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/025>.

4. ISO 4250-1:2023. Earth-mover tyres and rims. Part 1: Tyre designation and dimensions Чинний від 2023–04–01. Вид. офіц. 2023. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/80530.html>.

## **СТАН І ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДНИХ СИСТЕМ БУРОВИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ КАР'ЄРІВ КРИВБАСУ**

**Дифорт В. В.**

*студент гр. 141-24м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Павлишин С. В.**

*студент гр. 141-24м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Павлишина О. Ю.**

*студентка гр. 141-24м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Хілов В. С.**

*д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації,*

*електро- та робототехнічних систем, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

При відкритому способі розробки родовищ Кривбасу бурові верстати, гусеничні добувні та крокуючі вскришні екскаватори на зараз є основними технологічними машинами при проведенні розкривних і перевантажувальних робіт при видобутку рудного тіла на кар'єрах.

Ефективність роботи гірничих машин і механізмів напряму пов'язана з ефективністю приводних систем. Еволюція приводних систем для гірничих машин пройшла декілька етапів: спершу це були розімкнені схеми з релейно-контакторним керуванням та кулачковими командо-контролерами. З появою систем генератор-двигун постійного струму впроваджувались замкнені системи автоматичного керування з пропорціональним підсумовуючим регулятором швидкості та струмовою відсічкою, перехід до систем тиристорний перетворювач – двигун постійного струму характеризувалася впровадженням підлеглого керування координатами приводу.

Концептуальні зміни у розвиток електроприводу внесла нова елементна база силового каналу це керовані IGBT ключі, які покладено в основу при побудові перетворювачів частоти з структурою керований випрямляч – реактивний фільтр – автономний інвертор з широтна імпульсною модуляцією які на зараз стали основним технічним рішенням у регульованому електроприводі змінного струму.

Зараз на Інгулецькому ГЗК знаходяться в експлуатації 19 бурових верстатів. З них 12 оснащені приводними системами тиристорний випрямляч – двигун постійного струму.

Зваживши на досягнення у приводних системах змінного струму, враховуючи умови та специфіку експлуатації електричних приводів на кар'єрах Кривбасу та спираючись на досвід провідних компаній висунуто пропозицію при капітальному ремонті бурових верстатів зробити заміну тиристорних приводів постійного струму та впровадити приводи змінного струму з більш надійними короткозамкненими асинхронними двигунами ніж двигуни постійного струму.

Планується модернізація приводних систем обертання поставу, подачі поставу на вибій, привод компресора та привод гусеничного ходу. Планується використання одного мережевого випрямляча від якого живиця два інвертора, до яких підуть під'єднуватися або двигуна лівої та правої гусениці, або двигуни обертання та подачі поставу. Привід компресора через власний інвертор під'єднується до випрямляча.

Комплексне розв'язання проблеми переоснащення бурового верстату на приводи змінного струму з більш надійними

короткозамкненими асинхронними двигунами ніж двигуни постійного струму дозволить:

1. Підвищити продуктивність. Верстати з приводами змінного струму мають більш високу продуктивність роботи в порівнянні з машинами, що працюють на постійному струмі через відсутність обмежень, що накладаються процесами комутації. Це дозволяє швидше знижувати швидкість та скоротити час на переміщення робочого обладнання.

2. Великий коефіцієнт технічної готовності. Бурові верстати з електричним приводом змінного струму із модулями IGBT зазвичай демонструють коефіцієнт готовності електричних вузлів понад 98 %. Збільшений у порівнянні з машинами постійного струму середній час безвідмовної роботи та знижений час на ремонт.

3. Висока надійність. Машини з приводами змінного струму менш уразливі при коливаннях напруги. Вони продовжують працювати при коливанні миттєвого значенні напруги в діапазоні  $\pm 30\%$ , при яких бурові верстати з приводом постійного струму примусово припиняють роботу.

4. Висока ефективність. Електропривод змінного струму забезпечує 10 % економії електроенергії в порівнянні з приводом постійного струму протягом усього терміну життя верстату. Привід змінного струму забезпечує коефіцієнт потужності, що дорівнює 1,0 (нульове споживання реактивної потужності) порівняно з коефіцієнтом 0,95 для приводів постійного струму з використанням фільтра-компенсуючих установок.

5. Зниження витрат на обслуговування. IGBT-модулі не потребують регулярного технічного обслуговування. Технічне обслуговування електродвигунів змінного струму зводиться до змащування та заміни підшипників кожні 30 000 годин.

6. Найменший обсяг зберігання запчастин на складі. Машинам із приводами змінного струму не потрібні елементи колекторна-щіткового апарату. IGBT-модулі є взаємозамінними для випрямлячів та інверторів.

## **ОСОБЛИВОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВІЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ВНУТРІШНІХ СТІНОК ЗМІЙОВИКА ХОЛОДИЛЬНИКА ДЛЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Карпенко А. Ю.**

*студент гр. ПМм-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Цимбал Б. М.**

*д.н.держ.упр., доцент, професор кафедри підвищення кваліфікації*

*та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту,*

*науковий керівник*

*Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

*професор кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

У металургійному виробництві змійовики холодильних агрегатів працюють в умовах високих теплових навантажень, циклічних змін температури, підвищеної вологості та забрудненості охолоджувального середовища. Такі фактори прискорюють розвиток корозійних процесів, утворення відкладень, локальних деформацій та мікротріщин на внутрішніх поверхнях трубок. Своєчасний контроль їхнього стану є критично важливим для запобігання аварійним ситуаціям, зниження ефективності теплообміну та незапланованим простоям обладнання [1].

Традиційні методи інспекції внутрішніх каналів базуються на огляді ручними ендоскопами або спеціальними зондами, що часто ускладнюється нерівномірністю траєкторії руху камери, високим тертям, вібраціями та обмеженим кутом огляду. Крім того, відблиски та нерівномірність освітлення призводять до втрати чіткості зображення, що підвищує ймовірність пропущених дефектів.

Для підвищення точності та надійності контролю запропоновано удосконалений метод візуального огляду, в основі якого використання гнучкого полімерного рукава, у який встановлюється інспекційна камера з регульованим освітленням. Рукав виготовлено з зносостійкого, хімічно інертного та термостійкого полімеру, що дозволяє застосовувати його в умовах металургійного виробництва, де характерні залишки окалини, волога та коливання температур.

Використання полімерного рукава забезпечує низку технічних переваг. По-перше, він виконує функцію захисного бар'єра, запобігаючи контакту камери зі стінками трубки та зменшуючи ризик механічних пошкоджень оптики. По-друге, рукав значно знижує рівень тертя, забезпечуючи стабільне та плавне введення камери на великі довжини, що неможливо досягти при використанні традиційного гнучкого кабелю. По-третє, рівномірна геометрія рукава дозволяє стабілізувати положення камери та мінімізувати вібраційні коливання, завдяки чому отримане зображення має високий рівень контрастності та деталізації.

Додатковим удосконаленням є використання кільцевого LED-освітлення з можливістю регулювання інтенсивності та поляризації, що дозволяє компенсувати відблиски на вологих або гладких поверхнях та покращує видимість дрібних дефектів. Застосування HDR-зйомки підвищує якість виявлення слабконтрастної корозії та мікротріщин на темних ділянках каналу.

Після отримання відеопотоку або серії зображень передбачається їхня автоматизована обробка з використанням алгоритмів фільтрації шуму, корекції нерівномірного освітлення та виділення тонких країв. Таке попереднє опрацювання підвищує точність роботи подальших модулів аналізу, включно з сегментацією зображення й класифікацією дефектів за допомогою легковагових моделей комп'ютерного зору [2, 3].

Застосування запропонованого методу дає можливість стандартизувати процедуру контролю та зменшити суб'єктивний фактор під час оцінювання стану змійовиків. Крім того, система дозволяє формувати історію оглядів та відстежувати динаміку

розвитку дефектів, що важливо для планування ремонтів та оптимізації режимів експлуатації.

Отже, поєднання полімерного рукава як стабілізуючого та захисного елемента з сучасною інспекційною оптикою та автоматизованою обробкою зображень створює ефективний та технологічно обґрунтований метод візуального контролю внутрішніх стінок зміювика холодильника. Запропоноване рішення дозволяє підвищити чутливість діагностики, зменшити вплив людського фактору та підвищити загальну надійність роботи холодильних систем у металургійному виробництві.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Nondestructive testing handbook, vol. 1: liquid penetrant testing (PT), 4th ed. ASNT Home. URL: <https://source.asnt.org/1pekbgc/> (date of access: 24.11.2025).
2. Woods R. E., Gonzalez R. C. Digital image processing: pearson new international edition. Pearson Education, Limited, 2013. 928 p.
3. Szeliski R. Computer vision. Springer, 2010. 834 p.

## **РОЗРОБКА МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ БПЛА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНОГЕННИХ РИЗИКІВ У ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

***Карявкіна Н. С.***

*студентка гр. ПМм-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Цимбал Б. М.***

*д.н.держ.упр., доцент, професор кафедри підвищення кваліфікації  
та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту,  
науковий керівник*

*Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

*професор кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Виробничі процеси гірничо-металургійного комплексу формують середовище з високою інтенсивністю техногенних ризиків, де поєднуються теплові навантаження, коливання вмісту шкідливих газів, значна запиленість та просторові обмеження. Такі умови спричиняють суттєві труднощі для організації точного та оперативного контролю параметрів трудового середовища. Традиційні методи вимірювання, засновані на вибіркових перевірках або використанні стаціонарних постів, не дозволяють охопити динаміку змін у реальному часі й не забезпечують необхідного рівня просторової деталізації небезпечних зон [1].

Упровадження безпілотних літальних апаратів як елемента інтегрованої мехатронної системи відкриває можливість суттєво підвищити якість моніторингу. Дрон, здатний працювати в умовах турбулентних потоків гарячого повітря, локальних газових накопичень та нерівномірної освітленості, може виконувати функції мобільної платформи для відстеження параметрів мікроклімату, концентрацій токсичних речовин і механічних впливів.

Таке рішення дає змогу отримувати дані з точністю, недосяжною для стаціонарних або переносних приладів, і водночас мінімізує присутність персоналу в небезпечних ділянках [2].

Концептуальна модель дрона базується на інтеграції сенсорних модулів, здатних стабільно функціонувати за умов підвищених температур та запиленості. У структурі бортової системи керування враховано вплив просторових обмежень, турбулентності та теплових підйомних потоків, які змінюють аеродинаміку апарата та потребують адаптивних алгоритмів стабілізації. Математичне моделювання дозволило описати рух апарата у складному повітряному середовищі з урахуванням силових збурень, пов'язаних із роботою технологічного обладнання. Це дало можливість сформулювати алгоритмічну частину системи керування, орієнтовану на проактивне коригування траєкторії польоту [3].

Технологічне середовище металургійних цехів висуває підвищені вимоги до точності газоаналізу та вимірювання пилового навантаження. Проведені лабораторні дослідження сенсорних модулів показали необхідність температурної компенсації та регулярної калібровки в умовах забруднення чутливих поверхонь. Аналіз даних підтвердив можливість використання багатосенсорних систем із поєднанням додаткових фільтраційних алгоритмів для формування узагальненої оцінки якості повітря [4].

Отримані результати свідчать, що дрон може стати повноцінним компонентом автоматизованої системи техногенної безпеки, здатної забезпечувати безперервне відстеження стану виробничих зон, раннє виявлення небезпечних відхилень та передавання даних у системи верхнього рівня. Реалізація такого підходу не лише підвищує рівень безпеки праці, а й створює передумови для формування цифрового простору виробництва, у якому оперативний моніторинг стає невід'ємним елементом управління.

#### **Перелік використаних джерел**

1. UAV and iot-based systems for the monitoring of industrial facilities using digital twins: methodology, reliability models, and application / Y. Sun et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 17. P. 6444. URL: <https://doi.org/10.3390/s22176444> (date of access: 24.11.2025).

2. Sharma R. Enhancing industrial automation and safety through real-time monitoring and control systems. *International journal on smart & sustainable intelligent computing*. 2024. Vol. 1, no. 2. P. 1–20. URL: <https://doi.org/10.63503/ijssic.2024.30> (date of access: 24.11.2025).
3. Wang T, Umemoto K, Endo T, Matsuno F. Modeling and Control of a Quadrotor UAV Equipped With a Flexible Arm in Vertical Plane. *IEEE Access*. Vol. 9, P. 98476–98489, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3095536.
4. Hakam A. Penambahan lempung untuk meningkatkan nilai cbr tanah pasir padang. *Jurnal rekayasa sipil (jrs-unand)*. 2010. Vol. 6, no. 2. P. 1. URL: <https://doi.org/10.25077/jrs.6.2.1-6.2010> (date of access: 24.11.2025).

**ПОКРАЩЕННЯ ДИНАМІКИ ТИРИСТОРНОГО ПРИВОДУ  
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ШЛАКОВОЗУ КОНВЕРТОРНОГО ЦЕХУ  
ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛІ»**

**Косенко Р. Г.**

*студент гр. ЕІ-23-1п*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Сніговий Д. В.**

*студент гр. ЕІ-23-1п*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Хілов В. С.**

*д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, електро-  
та робототехнічних систем, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Вступ.** У сучасних системах автоматизованого електропривода моделювання динамічних процесів займає провідне місце серед методів дослідження та оптимізації режимів роботи

електромеханічних систем. Особливо актуальним є використання середовищ MATLAB/Simulink, які забезпечують зручне поєднання аналітичних моделей, схемних рішень і цифрового керування.

Однією з найбільш розповсюджених систем є тиристорний електропривод постійного струму, який застосовується у металургії, транспорті, підйомних механізмах та прокатних станах. Використання керованих випрямлячів дозволяє реалізувати широкий діапазон регулювання швидкості, високі показники енергоефективності та плавність пуску й гальмування.

Така приводна система використовується на чотири-двигуном шлаковозі в конверторному цеху ПрАТ КАМЕТ-СТАЛІ. При експлуатації проектної системи керування електроприводом шлаковозу встановлено ефект пробуксовки колісних. Для встановлення умов виникнення пробуксовки колісних пар і для усунення цього ефекту проаналізуємо динаміку роботи електромеханічної системи на підставі можливостей системи MATLAB/SIMULINK.

Створення моделі тиристорного приводу в середовищі MATLAB/Simulink дає можливість виконати аналіз перехідних процесів, налаштувати параметри регуляторів, а також дослідити вплив параметрів схеми перетворювача й електродвигуна на якість керування.

Метою проведення комп'ютерного експерименту є перевірка якості регулювання проектної схеми електроприводу та визначення шляхів її покращення.

Вихідні дані: колісна схема з'єднання платформи шлаковозу: платформа шлаковозу – чотири осі, 8 коліс, чотири колеса на двох крайніх осях через редуктор з'єднані з приводними двигунами.

Краново-металургійний швидкохідний двигун Д-806.  
 $P_n = 32$  кВт;  $n_n = 1000$  про/хв;  $I_n = 165$  А;  $U_n = 220$  В.

Схема включення якірних кіл обмоток збудження: якірні кола двох двигунів коліс однієї осі з'єднані послідовно та підключені до якірного перетворювача. Обмотки збудження з'єднані між собою послідовно та під'єднані до тиристорного збудника.

Вантажопід'ємність шлаковозу 320 тс; тиск колеса на рейку 54 тс; маса порожнього шлаковозу  $54 \times 8/g = 112/g$  тм; діаметр ходових коліс 1 м; швидкість пересування 3,82 км/год.

Структура Simulink-моделі. На основі математичних рівнянь побудовано структурну модель системи у середовищі Simulink, яка включає такі основні підсистеми:

1. Блок «Тиристорний перетворювач» – реалізує залежність вихідної напруги від кута керування та формує напругу живлення двигуна.

2. Блок «Двигун постійного струму» – описує електромеханічні процеси у якірному колі та динаміку обертання.

3. Блок «Регулятор швидкості» – реалізує алгоритм ПД або модального регулювання.

4. Блок «Навантаження» – моделює момент опору, що може змінюватися у часі.

5. Блок «Вимірювачі» – забезпечує формування сигналів зворотного зв'язку по струму та швидкості.

Для підвищення точності враховано затримку відкриття тиристорів, пульсації випрямленої напруги, а також інерційність каналів керування

Модель двигуна постійного струму, містить точку нульового електричного потенціалу, блок розв'язування для фізичного кола, двокомплектний регульований тиристорний випрямляч з роздільним керуванням групами, сенсор напруги, сенсор струму, дві системи імпульсно-фазового керування.

На математичній моделі проаналізовано динаміку однократно-інтегруючий проєктної схеми, схеми ведучий – ведений привод, двократно-інтегруючий привод.

### **Висновки.**

Для встановлення причин виникнення пробуксовки колісних пар шлаковозу у середовищі MATLAB/Simulink створено повну модель тиристорного приводу постійного струму шлаковозу, яка враховує електричні, механічні та керуючі підсистеми.

Модель дозволяє досліджувати перехідні процеси, вплив параметрів регуляторів, моменту навантаження на характеристики усієї електромеханічної системи.

На підставі проведених експериментів встановлено, що ефект пробуксовки колісних пар шлаковозу можливо ефективно

позбавитись, якщо забезпечити абсолютно жорсткі механічні характеристики електроприводів.

Абсолютно жорсткі механічні характеристики електроприводів досягаються при переході від одно-кратно інтегруючої системи до двократно-інтегруючої системи/, що досягається при використанні пропорційно-інтегрального регулятора електрорушійної сили замість проєктного пропорційного.

## **ПОБУДОВА СУЧАСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В РОБОТИЗОВАНОМУ КОМПЛЕКСІ**

**Марчук О. В.**

*здобувач освіти гр. АВ-23-1/11*

*ВСП «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки УДУНТ»  
м. Кам'янське, Україна*

**Корма Д. С.**

*здобувач освіти гр. АВ-24-1/11*

*ВСП «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки УДУНТ»  
м. Кам'янське, Україна*

**Пухальська О. М.**

*викладач ЦК «Автоматизації та електроустаткування»,  
науковий керівник*

*ВСП «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки УДУНТ»  
м. Кам'янське, Україна*

Роботи-маніпулятори відіграють важливу роль у сучасному промисловому та технологічному розвитку завдяки своїй здатності виконувати складні та повторювані завдання з високою ефективністю та точністю. Вони значно підвищують продуктивність, зменшуючи людську працю в небезпечних і важких умовах, таким чином покращуючи безпеку на виробництві. Завдяки своїй гнучкості та програмованістю роботи-маніпулятори можуть швидко

адаптуватися до нових завдань, що робить їх незамінними в умовах швидких технологічних змін і високої конкуренції.

Впровадження роботів-маніпуляторів дозволяє підприємствам оптимізувати виробничі процеси, знижуючи витрати на ручну працю і мінімізуючи ризик людських помилок та браку на виході. Це особливо важливо в таких галузях, як автомобілебудування, електроніка, харчова промисловість, де висока точність і швидкість виконання завдань є критичними. Крім того, роботи-маніпулятори здатні працювати в екстремальних умовах, де присутність людини небажана або неможлива, наприклад, у радіоактивних зонах або в космосі.

Загалом, роботи-маніпулятори є ключовими компонентами сучасних автоматизованих систем, що дозволяють підприємствам та науковим установам досягати нових висот у своїй діяльності. Їхня здатність виконувати завдання з високою точністю, швидкістю та надійністю робить їх незамінними в багатьох сферах, сприяючи загальному прогресу і підвищенню якості життя. Вони також відіграють важливу роль у розвитку нових технологій, сприяючи інноваціям та відкриттям, що змінюють наше уявлення про можливості сучасного виробництва та науки.

Роботи-маніпулятори є ключовими елементами автоматизованих систем, що виконують різноманітні виробничі та технологічні операції. Вони широко використовуються у промисловості для автоматизації таких процесів, як збирання, зварювання, фарбування, пакування та багато інших.

Роботи-маніпулятори – це складні системи, які інтегрують механічні, електронні та програмні компоненти, щоб забезпечити високу точність і надійність виконання завдань. Ефективність роботи таких роботів безпосередньо залежить від якості систем автоматичного регулювання (САР).

Функціональна частина системи роботів-маніпуляторів представлена у вигляді актуаторів, датчиків та системи керування.

Актуатори є приводними механізмами, які забезпечують рух ланок робота. Залежно від типу приводу, актуатори можуть бути: електричними, гідравлічними та пневматичними.

---

Датчики забезпечують зворотний зв'язок, збираючи дані про різні параметри системи.

**Енкодери:** Вимірюють кутове положення або швидкість обертання шарнірів. Енкодери надають точну інформацію про рух і позицію ланок робота, що дозволяє контролювати і керувати їхнім рухом з високою точністю.

**Гіроскопи та акселерометри:** Вимірюють кутову швидкість і прискорення ланок робота. Гіроскопи визначають зміну орієнтації, а акселерометри – прискорення руху. Ці датчики допомагають роботу визначити своє положення в просторі і контролювати свій рух.

**Датчики сили та моменту:** Вимірюють прикладені до робота сили та моменти. Ці сенсори дозволяють роботу взаємодіяти з оточуючими об'єктами, визначаючи силу, яку вони вправляють, а також моменти, що виникають під час руху.

**Візуальні датчики:** Камери, лазерні сканери, ультразвукові датчики потрібні для отримання інформації про навколишнє середовище та об'єкти, з якими взаємодіє робот. Візуальні сенсори дозволяють роботі розпізнавати об'єкти, визначити їх розміри, форму і положення, що робить можливим виконання точних маніпуляцій у просторі.

Система автоматизованого керування роботом-маніпулятором складається з таких основних компонентів, як: контролери, алгоритми планування траєкторії, методи керування.

**Контролери:** Мікропроцесори або мікроконтролери, що виконують обчислювальні операції та генерують сигнали керування. Контролери відповідають за обробку вхідних даних з датчиків, виконання алгоритмів керування та відправлення відповідних сигналів до актуаторів для керування рухом робота.

**Алгоритми планування траєкторій:** Програмне забезпечення, що розраховує оптимальні траєкторії руху виконавчого органу. Ці алгоритми враховують обмеження робота і вимоги завдання для розрахунку оптимального шляху руху, що дозволяє роботу ефективно виконувати задачі.

**Методи керування:** Реалізація алгоритмів керування, які забезпечують точне слідування траєкторії, адаптацію до змінних умов

та компенсацію зовнішніх збурень. Ці методи включають в себе регулювання підсилення, PID-контролери, адаптивні алгоритми та інші стратегії керування, що допомагають роботі досягати потрібної точності та стійкості в процесі виконання завдань.

Система керування роботом-маніпулятором повинна включати пристрої збору інформації (датчики положення суглобів), еталони та стани обладнання (обмеження зі зміни положення суглобів), систему контролю стану обладнання, програму керування, що реалізує переміщення робочого органу, протиаварійний захист, блок переведення в ручний режим керування і виконавчі органи (сервоприводи).

Система повинна забезпечувати: збір інформації від датчиків, контроль граничних положень і стану обладнання, аварійний захист, роботу в ручному та автоматичному режимах, візуалізацію роботи оператора (ЛМІ), архівування параметрів процесу.

З урахуванням перелічених вимог функціональна структура системи має вигляд, наведений на рис. 1.



Рис. 1. Функціональна структура системи

Вона забезпечує: керування приводами, збір технологічних параметрів, реєстрацію та візуалізацію інформації, збереження даних у базі, резервування та сигналізацію про відхилення параметрів.

Відповідно до вимог до системи автоматизованого керування роботом-маніпулятором, була розроблена функціональна схема автоматизації (рис. 2).

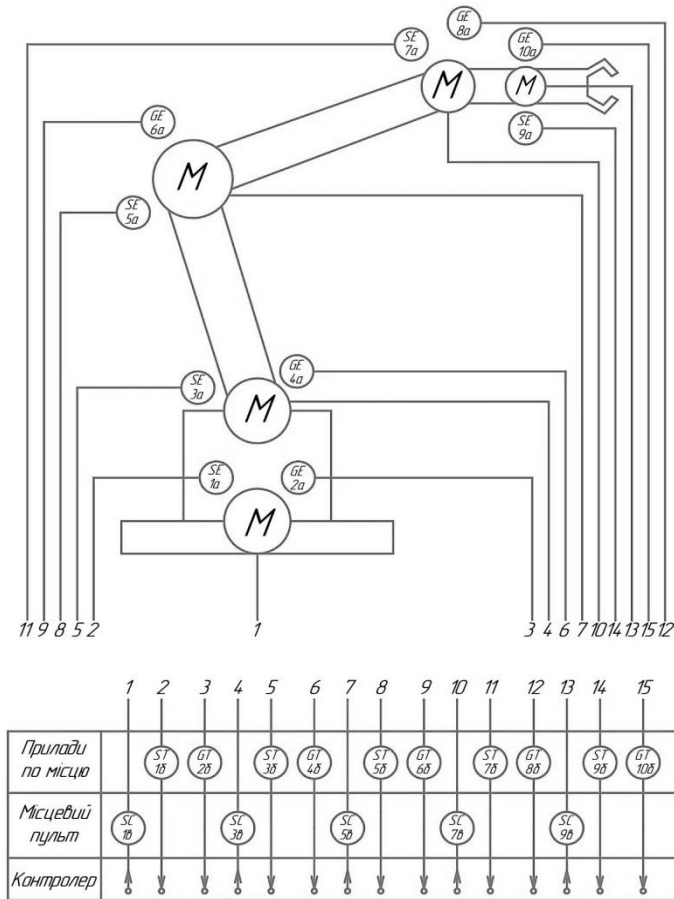


Рис. 2. Функціональна схема автоматизації

На функціональній схемі зображено робот-маніпулятор із п'ятьма ступенями вільності, оснащений системою сенсорів та приводів, що формують замкнену систему автоматичного регулювання. На кожній осі встановлені датчики положення SE, енкодери GE та датчики навантаження ST, які забезпечують точне вимірювання просторового стану ланок. Сигнали від датчиків проходять через нормувальні перетворювачі SC і надходять у блок зворотного зв'язку UYR, після чого обробляються центральним контролером UY. Контролер формує керуючі сигнали для приводів GT, що забезпечує точну та синхронну роботу всіх осей маніпулятора. Таким чином реалізується замкнена система регулювання положення та швидкості ланок робота.

Налаштування параметрів роботи робота-маніпулятора виконується за допомогою людино-машинного інтерфейсу UYR (промисловий комп'ютер ESA XS717).

Налаштування від промислового комп'ютера передаються контролеру UY (ПЛК 314-2AG12) за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Проаналізувавши процес керування роботами-маніпуляторами та загальні принципи побудови автоматизованих систем даних маніпуляторів можна зробити висновок, що запропонована система автоматичного регулювання дозволяє підвищити точність та надійність роботи робота-маніпулятора. Поєднання класичних та інтелектуальних методів керування забезпечує адаптивність та робастність, що є критично важливими для сучасних виробничих процесів.

### **Перелік використаних джерел**

1. Робототехніка : підручник / В. І. Костюк, Г. О. Спину, Л. С. Ямпольський, М. М. Ткач. Київ : Вища школа, 1994. 447 с.
2. Основи робототехніки: навчальний посібник / Н. В. Морзе, Л. О. Варченко-Троценко, М. А. Гладун. Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О. А., 2016. 182 с.
3. Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність; підручник / Н. Б. Репнікова. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 328 с.

4. Реалізація комплексної системи керування промисловим роботом-маніпулятором – Машинобудування – Галузеві рішення – Рішення – СВ АЛЬТЕРА. *Електродвигун, редуктор, витратомір, пускач, датчик...* URL: <https://www.svaltera.ua/solutions/typical/mashinostroenie/8762.php> (дата звернення: 16.11.2025).

## **ОСНОВНІ НАПРЯМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ГІРНИЧОЇ МАСИ В УМОВАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ**

**Рябченко А. А.**

*студентка гр. АВ-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Сімкін О. І.**

*к.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, електро-  
та робототехнічних систем, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Циклічно-потоківна технологія транспортування гірничої маси у межах гірничо-збагачувальних комбінатів (далі – ГЗК) є основою стабільної роботи дробарних, транспортних та рудозбагачувальних фабрик. На одному з ГЗК України транспортування здійснюється комплексом обладнання, який включає живильники, конусну дробарку, кілька послідовних стрічкових конвеєрів та вузли пересипання.

Діюча автоматизована система управління побудована на базі застарілих технічних засобів, що не забезпечують необхідного рівня діагностики, адаптивності та енергоефективності. Недостатня інтегрованість сенсорного рівня, відсутність алгоритмів оптимального регулювання навантаження та обмежений функціонал диспетчерського контролю призводять до

перевантажень, нерівномірності подачі руди, підвищених енергетичних витрат та ризиків аварійних зупинок.

Метою роботи є розроблення та дослідження (в рамках магістерської роботи) модернізованої автоматизованої системи керування технологічним процесом транспортування руди (далі – АСКТП), яка забезпечить:

- стабільне навантаження на основному конвеєрі тракту;
- підвищення продуктивності та рівномірності подачі гірничої маси;
- зниження енергоспоживання електроприводів;
- впровадження сучасних сенсорів і частотно-регульованих приводів;
- реалізацію інтелектуальних алгоритмів на верхньому рівні.

Дослідження виконано на основі технічних характеристик обладнання тракту, експлуатаційних даних діючої системи автоматизації, імітаційного моделювання у MATLAB/Simulink з урахуванням параметрів реального електроприводу конвеєра (АСД з фазним ротором потужністю 800 кВт), аналізу впливу коефіцієнтів завантаження, швидкості стрічки та часу реакції регулятора на стабільність подачі руди, методів оптимального та адаптивного керування.

Розроблено систему автоматичного регулювання електроприводом стрічкового конвеєра, спрямовану на підвищення стабільності транспортного процесу за умов динамічно змінного навантаження на стрічку. Проведені дослідження показали, що використання частотно-регульованого приводу забезпечує якісне відпрацювання перехідних процесів і дозволяє зменшити амплітуду динамічних навантажень, що виникають під час пуску та раптових змін потоку гірничої маси. Імітаційна модель системи керування, побудована у середовищі MATLAB/Simulink, продемонструвала швидку реакцію регулятора на зовнішні збурення та стійке підтримання робочої швидкості конвеєра в межах технологічно допустимого діапазону. Аналіз часових характеристик показав, що запропонований алгоритм регулювання забезпечує згладжений характер

переходів без суттєвого перерегулювання та коливань швидкості. Отримані результати вказують на те, що застосування адаптивних та інтелектуальних методів керування є доцільним у багатопараметричних системах транспортування гірничої маси, де присутні нелінійності та часові затримки. Реалізація системи контролю дозволяє не лише стабілізувати навантаження на привід, а й підвищити енергоефективність, зменшивши ризики роботи у режимах перевантаження чи недостатнього завантаження.

Запропонований підхід може бути інтегрований у виробничу інфраструктуру гірничого підприємства та здатен забезпечити підвищення надійності, продуктивності та технологічної безпеки транспортного обладнання. Створена модель дозволила відтворити динаміку зміни навантаження на конвеєрі за різних сценаріїв роботи (різкі порції руди, просадки потоку, зміна фізичних властивостей матеріалу).

Для розробленої системи передбачається синтезувати нечіткий супервізор, який коригує коефіцієнти ПІД-регулятора на основі поточної помилки та її похідної, використання нормалізованих діапазонів коефіцієнтів дозволяє адаптивно змінювати  $K_p$ ,  $T_i$  та  $T_d$  відповідно до динаміки перехідного процесу. Для реалізації супервізора використано закон Mamdani з трикутними функціями приналежності.

Синтез бази правил нечіткого супервізора здійснюється за аналізом характерних точок бажаного перехідного процесу. Запропонована система формує набір із 49 керуючих правил, що враховують лінгвістичні оцінки помилки та її приросту.

Архітектура нечіткого супервізора інтегрована в середовище Simulink, що дозволяє виконувати моделювання в режимі реального часу. У процесі моделювання використані інструменти Rule Viewer і Surface Viewer, що дало змогу візуально дослідити вплив правил на керуючі сигнали. Зафіксовано підвищення робастності регулятора. Результати моделювання підтвердили ефективність розробленого нечіткого супервізора в адаптації параметрів регулятора та компенсації зовнішніх збурень.

### **Висновки**

Модернізація АСКТП транспортування руди із впровадженням частотно-регульованого електроприводу та інтелектуального алгоритму підтримання навантаження дозволяє:

- підвищити продуктивність транспортування гірничої маси;
- забезпечити рівномірну подачу матеріалу на наступні технологічні етапи;
- знизити аварійність і перевантаження обладнання;
- скоротити витрати електроенергії та мінімізувати втрати від простоїв;
- створити базу для подальшого впровадження цифрового двійника конвеєрної системи.

Отримані результати підтверджують доцільність і ефективність запропонованих рішень та можуть бути основою для практичної реалізації модернізованої системи на ГЗК.

═══════

# СЕКЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОЄКТНО-АНАЛІТИЧНИХ РІШЕНЬ

═══════

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ АДАПТАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ

**Андреев Є. С.**

*студент гр. МНв-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Смирнова І. І.**

*к.е.н., доцент, завідувач кафедри цифрових технологій та  
проєктно-аналітичних рішень, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасний український ринок праці зазнає суттєвих трансформацій унаслідок повномасштабної війни, релокації підприємств та інтенсивних міграційних процесів. За таких умов особливої актуальності набуває проблема ефективного управління персоналом. Одним із ключових чинників успішної діяльності компанії є ефективна адаптація нових працівників, адже саме від неї залежить, наскільки швидко вони інтегруються в колектив і досягають належного рівня продуктивності.

Традиційна модель адаптації персоналу, що ґрунтується лише на інструктажі та проходженні випробувального терміну, вже не забезпечує очікуваного результату в умовах сучасного ринку праці. Такий підхід не враховує високих темпів змін у робочому середовищі, індивідуальних потреб і мотиваційних чинників працівників, а також зростаючого інформаційного навантаження. У результаті нові працівники часто відчують нестачу підтримки, труднощі у взаємодії з колективом і невизначеність щодо своїх перспектив. Це призводить до зниження рівня залученості,

продуктивності та, зрештою, до передчасного звільнення ще до завершення періоду адаптації. В умовах конкуренції за кваліфіковані кадри такі втрати персоналу стають особливо відчутними для компаній, адже кожен випадок невдалої адаптації означає додаткові витрати часу, ресурсів і зниження продуктивності праці. Все це зумовлює потребу у впровадженні сучасних, цифрових підходів до системи управління процесом адаптації персоналу, які дають змогу скоротити час входження працівника у посаду, забезпечити безперервну підтримку з перших днів роботи та підвищити рівень залученості й мотивації.

Одним із ефективних інструментів такого підходу є використання чат-бота, який супроводжує нового співробітника на всіх етапах адаптації. Завдяки поєднанню автоматизації з елементами персоналізованої комунікації чат-бот може оперативно надавати необхідну інформацію, нагадувати про важливі завдання, знайомити з корпоративною культурою та відстежувати динаміку залучення працівника. Крім того, використання таких цифрових рішень сприяє підвищенню ефективності роботи HR-служб, зменшенню адміністративного навантаження на менеджерів і формуванню більш позитивного досвіду взаємодії нових працівників з компанією. Запропонована система управління процесом адаптації поєднує сучасні технології, зокрема чат-боти, електронні системи навчання та аналітичні панелі, з досвідом наставників та HR-фахівців. Така комбінація дозволяє побудувати чітку структуру процесу адаптації, який складається з певних етапів.

Перший етап – підготовчий (до виходу на роботу). Новий працівник отримує від чат-бота повідомлення з базовою інформацією про компанію, її цінності, правила безпеки, перелік необхідних документів і контакти наставника. Це допомагає сформуванню відчуття впевненості та передбачуваності ще до першого робочого дня, що позитивно впливає на мотивацію та знижує рівень тривожності.

Другий етап – перший робочий день. На цьому етапі чат-бот виступає цифровим асистентом, який надає короткі інструкції, допомагає зорієнтуватися у колективі та робочому просторі,

нагадує про заплановані зустрічі. Завдяки цьому перші години на новому місці проходять організовано й без стресу, та одночасно керівники та HR-фахівці отримують підтвердження, що новий співробітник успішно пройшов усі обов'язкові процедури.

Третій етап – період перших трьох місяців. У цей час чат-бот надсилає працівнику навчальні матеріали, відповіді на типові запитання, проводить короткі опитування, нагадує про завдання та ключові дати. HR-фахівці та наставники мають змогу відстежувати динаміку процесу адаптації та швидко реагувати у разі труднощів. Такий підхід забезпечує сталий зв'язок між працівником і компанією.

Четвертий етап – підсумковий (піврічна оцінка). На завершальному етапі відбуваються підсумки процесу адаптації: працівник проходить самооцінку, надає зворотний зв'язок, визначаються подальші напрями професійного розвитку. Таким чином, процес адаптації переходить у стадію професійного зростання, а отримані дані використовуються для вдосконалення самої системи управління.

Завдяки такому підходу компанія отримує не лише швидшу й якіснішу адаптацію нових співробітників, а й цінну аналітичну інформацію – про тривалість адаптації, труднощі та рівень задоволеності персоналу. Для самого працівника процес стає більш комфортним, зрозумілим і передбачуваним, що сприяє формуванню позитивного досвіду взаємодії з компанією з перших днів роботи.

Ефективність будь-якої системи визначається тим, наскільки чітко розподілені функції між її учасниками. Для цього використовується RACI-модель, яка визначає чотири типи ролей [4]:

- Responsible (Відповідальний) – виконує роботу: новий працівник, наставник.
- Accountable (Контролюючий) – несе кінцеву відповідальність: керівник підрозділу.
- Consulted (Консультуючий) – надає поради та підтримку: HR-відділ, колеги.
- Informed (Поінформований) – отримує інформацію про результати: керівництво, HR-відділ.

RACI-модель створює зрозумілу та структуровану систему взаємодії між усіма учасниками процесу, роблячи адаптацію більш організованою й передбачуваною. Завдяки чіткому розподілу ролей кожен учасник знає свою зону відповідальності й усвідомлює власний внесок у досягнення спільного результату. Такий підхід знижує ризики плутанини, формалізму, дублювання функцій та забезпечує узгодженість дій усіх сторін.

Запропонована модель удосконалення процесу адаптації поєднує переваги цифрових інструментів і чіткої організаційної структури. Використання чат-бота забезпечує оперативну комунікацію, безперервний зворотний зв'язок, доступ до навчальних матеріалів і контроль ключових етапів адаптації. Одночасно RACI-модель формує прозорий механізм відповідальності, що підвищує ефективність взаємодії між HR-службою, керівниками, наставниками та новим працівником.

Результатом впровадження може бути:

- скорочення часу, необхідного новому працівнику для досягнення повної продуктивності;
- зменшення кількості помилок у перші місяці роботи;
- підвищення рівня задоволеності, залученості та лояльності персоналу;
- зменшення навантаження на HR-фахівців і наставників;
- формування сучасного бренду роботодавця.

Таким чином, процес адаптації перестає бути формальністю та перетворюється на стратегічний інструмент розвитку підприємства, який органічно поєднує технологічні рішення з людським підходом і спрямований на довгострокове утримання та розвиток персоналу.

### **Перелік використаних джерел**

1. CIPD. Onboarding and Induction: Best Practices. London : CIPD, 2022. URL: <https://www.cipd.org/uk/knowledge>
2. Armstrong M., Taylor S. Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice. 16th ed. Kogan Page, 2023.

3. Deloitte. Deloitte Insights: 2025 Global Human Capital Trends Report. URL: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/talent/human-capital-trends.html>
4. RACI-модель розподілу ролей у процесі адаптації персоналу. URL: <https://ukr.pritula.academy/tpost/87fd0hdpo1-upravlnnya-proektami-matritsya-raci-kerv>

**ФАКТОРИ ТА МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ,  
РЕГУЛЮВАННЯ ТА АКТИВІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ  
В УКРАЇНІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ  
ТА В ПЕРІОД ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ**

***Андрєєва К. С.***

*студентка гр. ЕК -22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Латишева О. В.***

*к.е.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Інвестиції в Україні, як і в будь-якій іншій країні, розглядаються через призму отримання прибутку та/або отримання соціального чи екологічного ефекту з метою пожвавлення національної економіки, сприяння економічному розвитку у довгостроковій перспективі.

Саме тому роль прямих іноземних інвестицій (англ. Foreign direct investment) для будь-якої країни світу важко переоцінити, оскільки саме вони забезпечують приплив капіталу в економіку, дозволяють реалізовувати масштабні проєкти, впровадити інноваційні технології і нові дійові практики корпоративного управління на різних ієрархічних рівнях, стимулюють технологічне оновлення виробничих потужностей та інфраструктури, сприяють створенню нових робочих місць і добробуту населення [1–6].

Зараз у розвинених країнах все частіше спостерігається тенденція залучення інвестицій в переважно високотехнологічні галузі, в сферу ІТ, а також на реалізацію проєктів т.зв. «зеленого переходу», впровадження програм сталого розвитку реального сектору економіки. У країнах, що розвиваються, пріоритетними для інвестування з США, Японії, Китаю, Німеччини, Великої Британії залишаються інфраструктурні програми, проєкти в галузі сільського господарства, енергетики, в ІТ сфері та промисловості, охорони здоров'я та ін.

Світовий досвід підтверджує, що навіть у кризових умовах інвестиції можуть стати драйвером економічного зростання за умови ефективної державної політики та міжнародної підтримки.

Воєнний стан в Україні створює надзвичайно складні умови для ефективного функціонування економіки, що супроводжується високими ризиками, обмеженнями і відповідно зниженням інвестиційної активності. В умовах воєнного стану в Україні на притоки інвестицій впливають низка системних ризиків:

внаслідок агресії РФ загроза подальших руйнувань та втрати активів, об'єктів критичної інфраструктури, чисельні жертви серед населення, порушення ланцюгів постачання, блокування транспортних шляхів та ін. ризики і обмеження воєнного стану;

нестабільність в політичному полі, політичні та корупційні скандали, недостатній захист прав власності, проблеми з виконанням контрактів і відповідно репутаційні втрати довіри міжнародних інвесторів, проблеми в державному управлінні внаслідок вад регуляторної політики;

девальвація національної валюти, обмежений доступ до кредитних ресурсів через високі фінансові ризики та ін. фактори, що безумовно знижують інвестиційну привабливість країни та потребують застосування спеціальних механізмів гарантування та страхування ризиків.

Проведений аналіз результатів досліджень можливостей активізації інвестиційних процесів в умовах воєнного стану та у повоєнний період закордонних та вітчизняних науковців та фахівців – аналітиків [1–6] дозволяє констатувати, що на інвестиційні

процеси впливають рівень економічної стабільності, тенденції міжнародного руху капіталу на світовому ринку, а на макро- та регіональному рівні – різні політичні, соціально – економічні фактори, інвестиційний імідж конкретних держав та регіонів. Активне залучення іноземних інвестицій в країну не можливо без високого рівня інституційного розвитку, прозорих правил ведення бізнесу, низьких політичних ризиків.

Водночас за експертними даними вітчизняних науковців та фахівців – представників уряду [1–6], експертів Світового банку та Європейської Бізнес Асоціації [7] у поствоєнний період прогнозується позитивна динаміка: зростання обсягів іноземних інвестицій, диверсифікація сфер їхнього вкладення (енергетика, агропромисловий комплекс, інфраструктура та ін.) та збільшення кількості інвестиційних проєктів порівняно з довоєнним станом. Це свідчить про збереження інвестиційної привабливості України, попри високі ризики, що обумовлені безпековими та політичними чинниками. Недарма й у дослідженнях [1–6] також відмічається, що основною проблемою в Україні для ефективного залучення інвестицій залишаються крім викликів та чисельних ризиків воєнного часу низька інноваційна спроможність економіки, що не дозволяє ефективно інтегрувати сучасні технології навіть за умови їхнього імпорту. Також невирішеної проблемою залишається проблема проведення інституційних реформ в Україні, а саме створення дійових механізмів стимулювання інвесторів через податкові преференції та захист прав інтелектуальної власності. З іншого боку, на інвестиційну діяльність впливають політична нестабільність, спричинена військовим станом, економічні кризи та корупція, падіння ВВП, недосконалість законодавства, велика залежність економіки України від зовнішніх ринків та цін на сировину, що стримує активність як вітчизняних, так і іноземних інвесторів [1–6].

Аналіз міжнародної практики [7] показує, що країни, які пережили військові конфлікти або глибокі економічні кризи, застосовували комплексні заходи для підтримки інвестиційної активності, а саме:

через забезпечення державних гарантій та страхування інвестицій (через міжнародні агентства, наприклад MIGA – Multilateral Investment Guarantee Agency);

через впровадження податкових стимулів, таких як: зниження ставок, відстрочка платежів, пільги для розвитку стратегічних галузей;

через відкриття спеціальних економічних зон та індустріальних парків з пільговим режимом ведення економічної діяльності;

через реалізацію міжнародних фінансових програм завдяки залученню грантового фінансування, пільгових кредитів від міжнародних фінансових інституцій (Світовий банк, ЄБРР);

через цифровізацію регуляторних процедур для мінімізації бюрократії та корупційних ризиків.

У більшості країн, що проходили через кризові періоди, застосовувалися такі підходи:

1. Лібералізація інвестиційного законодавства для спрощення доступу іноземного капіталу.

2. Інституційне зміцнення через створення агенцій з підтримки інвестицій (наприклад, Invest Israel, KOTRA у Південній Кореї).

3. Визначення пріоритетних стратегічних галузей, зазвичай в енергетичному секторі, IT, агропромисловому комплексі.

4. Розробка та реалізація механізмів публічно-приватного партнерства для реалізації інфраструктурних проєктів [1–7].

Вважаємо, що вкрай необхідно вивчати досвід інших країн, що проходили через кризові періоди, адаптовувати з врахування специфіки українських реалій дійові механізми активізації інвестиційних процесів для їх успішного впровадження.

Як відмічають фахівці [1] для активізації інвестиційних процесів в Україні ключовими пріоритетами для вирішення залишаються проблеми: зниження рівня корупції, забезпечення верховенства права, захист прав власності та створення сприятливих умов для залучення як внутрішніх, так і зовнішніх інвестицій. Без системних змін у цих сферах неможливо досягти стійкого економічного зростання та інтеграції у глобальні ринки.

Отже, політична та економічна турбулентність бойові внаслідок агресії російської федерації, тимчасова окупація частини територій та активні бойові дії, масштабні руйнації об'єктів критичної інфраструктури та активів підприємств, вимушена міграція населення та релокація підприємств та організацій в більш безпечні регіони, порушення звичних логістичних шляхів та інші перешкоди інституційно-правового характеру істотно підвищили ризики для інвесторів і негативно вплинули на інвестиційну привабливість держави, яка й до цього залишалася нестабільною. Як наслідок, це негативно впливає на темпи надходження прямих іноземних інвестицій (ПІІ).

На підставі проведеного аналізу наукової літератури [1–7 та ін.] вважаємо, що в умовах воєнного стану в Україні активізація інвестиційних процесів можлива лише за умови комплексного підходу гарантування безпеки та захисту прав інвесторів, що включає:

- створення прозорого регуляторного середовища;
- залучення міжнародних фінансових ресурсів;
- міжнародної і державної підтримки розвитку стратегічних галузей реального сектору економіки з високим потенціалом відновлення та розвитку, що найвпливовішим фактором забезпечення економічної стабільності в Україні в нинішніх реаліях є також й залучення прямих іноземних інвестицій.

### **Перелік використаних джерел**

1. Абдуллаєва А., Данилюк В., Мазур Д. Перспективи інвестиційної привабливості України в умовах воєнного стану та післявоєнного відновлення. *Економіка та суспільство*. 2025. № 72. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-44>
2. Атамас О. П. Інвестування в умовах економіки війни: аналіз сучасного стану та короткостроковий прогноз. *Економіка та суспільство*. 2024. № 59. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-161>
3. Белінська Я., Коляда О. Розвиток фінансового інвестування на ринку капіталів України в умовах війни. *Сталий розвиток економіки*. 2023. № 1 (46). С. 15–20. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2023-46-2>

4. Білянїнський Р., Гарбар Ж. Інвестиційний потенціал економіки України в післявоєнний період. *БІЗНЕСІНФОРМ*. 2025. № 7. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-7-162-173>
5. Віблій П., Блавт А. Інвестиційний потенціал України в умовах війни. *Галицький економічний вісник*. Т. : ТНТУ, 2023. Том 82. № 3. С. 80–89. DOI: [https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk\\_tntu2023.03.080](https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2023.03.080)
6. Віблій П., Попадинець М. Інвестиційна привабливість України в умовах довготривалої війни. *Галицький економічний вісник*. 2024. № 4 (89) DOI: [https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk\\_tntu2024.04.082](https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2024.04.082)
7. Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment. *World Bank*. URL: Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment Released

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОДАЖІВ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КЛІЄНТСЬКОЇ БАЗИ**

**Барабаш Р. Ю.**

*студент гр. МНб-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Жерліцин Д. М.**

*д.е.н., проф., професор кафедри цифрових технологій та  
проектно-аналітичних рішень, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасний ринок металопродукції характеризується високим рівнем конкуренції, однак ситуація в Україні зазнала особливо суттєвих змін унаслідок військових дій, що призвело до трансформації економічних зв'язків, логістичних ланцюгів та структури споживання металопродукції [6, 7]. Значна частина промислових підприємств зупинила або скоротила виробництво, змінилися регіональні центри попиту та з'явилися нові сегменти, пов'язані

з оборонною, будівельною та енергетичною сферами. У цих умовах ТОВ «Метінвест-СМЦ» змушене приймати нові виклики, адаптувати комерційну стратегію та формувати оновлений портфель клієнтів, що робить системний аналіз клієнтської бази надзвичайно важливим елементом забезпечення стабільності бізнесу [2, 3]. Ефективна організація роботи з клієнтами та глибоке розуміння їхніх потреб стають ключовими факторами конкурентоспроможності компанії в умовах нової економічної реальності.

Всебічний аналіз клієнтської бази дає змогу вирішити низку управлінських задач. По-перше, він дозволяє зрозуміти структуру клієнтського портфеля компанії та визначити, які сегменти приносять основний обсяг продажів, а які мають потенціал для зростання [5]. По-друге, аналітика допомагає виявити клієнтів, які втратили актуальність або переходять до групи ризикових – тобто тих, чия активність та обсяги закупівель суттєво зменшуються. Така інформація дозволяє менеджерам своєчасно реагувати: проводити реактиваційні кампанії, пропонувати персоналізовані умови або оптимізувати комерційну пропозицію [1].

Завдяки повноцінному та змістовному аналізу можна зменшити залежність компанії від невеликої кількості ключових клієнтів, що є типовою проблемою підприємств металоторгівлі [4, 6]. Надмірна концентрація продажів часто створює ризики: у разі втрати одного великого покупця компанія може втратити значну частку ринку. Комплексний аналіз допомагає диверсифікувати клієнтську базу та підвищити стабільність доходів.

Для дослідження клієнтської бази використовуються різноманітні аналітичні методи. Найпоширенішим є ABC-аналіз, який класифікує клієнтів за обсягом продажів або прибутковістю. Категорія “А” включає найбільш цінних клієнтів, що формують основну частину доходів; група “В” – клієнтів із середнім рівнем значущості; група “С” – невеликих покупців, які разом можуть становити значний потенціал для зростання [5].

Окрім ABC, важливим є XYZ-аналіз, що оцінює стабільність та регулярність закупівель. “Х” – клієнти зі стабільним рівнем замовлень, “У” – з певною сезонністю, “Z” – з нерегулярною та

непередбачуваною активністю. Комбінація ABC і XYZ дозволяє вибудувати стратегічну матрицю, що допомагає менеджерам розподіляти увагу та ресурси максимально ефективно [5].

Ще одним корисним методом є RFM-аналіз, який оцінює клієнтів за частотою, давністю та грошовим обсягом покупок. Він дозволяє визначити найактивніших клієнтів, тих, хто давно не здійснював закупівель, і тих, кого можна залучити до додаткових продажів через спеціальні пропозиції [2].

Комплексне застосування цих методів дозволяє сформувати повну аналітичну картину клієнтського портфеля та розробити індивідуальні стратегії взаємодії з кожним сегментом. Для категорії AX доцільно створювати програми лояльності, персоналізовані пропозиції та підвищений рівень сервісу; для BY – сезонні пропозиції; для CZ – реактиваційні програми або спрощені пакети послуг [5].

Завдяки аналітиці клієнтської бази підприємство отримує можливість підвищити точність прогнозування попиту, оптимізувати логістику, покращити планування запасів, удосконалити асортимент і підвищити ефективність роботи менеджерів. Автоматизація цього процесу через CRM-системи забезпечує збір даних, контроль етапів взаємодії та швидкість аналітичних операцій [5].

Таким чином, системний аналіз клієнтської бази є фундаментом для підвищення ефективності продажів у Метінвест-СМЦ. Він дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення, визначати пріоритетні напрями розвитку, зміцнювати конкурентні позиції компанії та забезпечувати стабільність у динамічних умовах ринку металопродукції, особливо в період після масштабних економічних потрясінь, спричинених війною [7].

### **Перелік використаних джерел**

1. Друкер П. Ефективний керівник. Київ : Наш Формат, 2018. 200 с.
2. Котлер Ф., Келлер К. Маркетинг менеджмент. Pearson, 2016. 816 с.
3. Кіндрацька Г. І., Герасимчук В. В. Менеджмент організацій. Київ : КНЕУ, 2020. 312 с.

4. Бланк І. Управління торговельним підприємством. Київ : Ніка-Центр, 2019.
5. Payne A. CRM: Strategy and Implementation. Elsevier, 2017. Payne, A. Handbook of CRM : Strategy and Implementation / A. Payne. Oxford : Elsevier, 2017. 488 p.
6. Об'єднання підприємств «Укрметалургпром». Офіційний сайт. Електронний ресурс. URL <https://www.ukrmetprom.org/> (дата звернення 03.12.2025).
7. Корпоративні звіти та аналітичні матеріали. *Метінвест*. Офіційний сайт. <https://metinvestholding.com/ua/investor/reportresults>

## **АГЕНТНІ МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ПОБУДОВИ АДАПТИВНИХ ЦИФРОВИХ СЕРВІСІВ**

***Карпенко М. О.***

*студент гр. КН-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Гетьман І. А.***

*к.т.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту зумовив появу нового класу цифрових інструментів – агентів ШІ, здатних виконувати складні операції з даними автономно та у взаємодії з іншими системами. У сучасних програмних екосистемах агенти відіграють дедалі важливішу роль, оскільки дозволяють автоматизувати багатокрокові процеси, скорочувати трудомісткість рутинних операцій та забезпечувати оперативну реакцію на зміни у даних. Актуальність дослідження зумовлена потребою перегляду традиційних алгоритмічних моделей та переходом до децентралізованих інтелектуальних рішень, які здатні працювати в розподілених інформаційних середовищах.

Предметна область агентних систем охоплює програмні компоненти, що характеризуються автономністю, проактивною поведінкою та здатністю взаємодіяти з іншими агентами або сервісами. На відміну від класичного підходу до автоматизації, агенти не лише виконують запрограмовані дії, а й аналізують середовище, формують цілі, адаптують стратегії обробки даних та здійснюють планування. Це робить їх ефективними у сферах, де обсяг даних є великим, а структура – динамічною або непередбачуваною.

Методи застосування агентів III включають когнітивне та поведінкове моделювання, використання механізмів довготривалої пам'яті, систем рекомендацій, автономне редагування та трансформацію даних, оптимізацію потоків інформації і наскрізну автоматизацію бізнес-процесів. Значна увага приділяється агентам нового покоління (LLM-based agents), які поєднують нейромережеві моделі з інструментами планування дій, самооцінюванням результатів та здатністю виконувати завдання у кілька етапів. Такі агенти здатні не лише аналізувати дані, а й генерувати нові артефакти: звіти, рекомендації, прогнози, візуалізації.

У межах автоматизації обробки даних агенти використовуються для моніторингу потоків інформації, фільтрації, агрегування, оновлення сховищ, виявлення аномалій, побудови моделей прогнозування, а також керування даними в гібридних хмарних системах. У поєднанні з технологіями data pipelines та orchestration-фреймворками агенти забезпечують безперервність процесів обробки, зменшують кількість ручних операцій та підвищують надійність програмної інфраструктури.

Інтеграція агентів у сучасні інформаційні системи відкриває нові можливості: керування складними цифровими сервісами, автоматичне налаштування параметрів моделей машинного навчання, адаптивне масштабування, інтелектуальне керування запитами та формування персоналізованих сценаріїв взаємодії з користувачем. Використання агентів також сприяє розвитку автономних систем підтримки прийняття рішень, здатних працювати в умовах невизначеності та великих обсягів даних.

Разом із тим існують виклики, пов'язані з безпекою, пояснюваністю рішень агентів, взаємодією між різними типами моделей і стандартизацією обміну даними. Додаткового опрацювання потребують питання управління ризиками, етичних аспектів та надійності агентних систем у критично важливих сферах.

Висновки. Агенти штучного інтелекту формують новий підхід до автоматизації обробки даних, що базується на автономності, адаптивності та взаємодії між компонентами. Вони забезпечують підвищену ефективність цифрових сервісів, здатність працювати в динамічних середовищах та можливість створення нових моделей управління інформаційними процесами. Розвиток агентних технологій визначає перспективи побудови інтелектуальних систем наступного покоління.

### Перелік використаних джерел

1. Сагайда П. І., Костіков О. А., Добряк С. К. Метод застосування агентів штучного інтелекту в багатоагентній системі для автоматизації процесів інтелектуального аналізу даних. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. №. 4 (91). С. 325–332. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.43>
2. Карпенко М. О., Гетьман І. А. Розробка агентних систем штучного інтелекту для автоматизації обробки даних. *Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення* : матеріали III міжнародної науково-практичної конференції, Харків – 28–29 січня 2025 року / за заг. ред. к.т.н., доц. Г. С. Грінченко ; Харківський Національний університет ім. В. Н. Каразіна, ННІ «Українська інженерно-педагогічна академія». Харків : ХНУ, 2025. С. 41–42. URL: <https://zenodo.org/records/14933781>
3. Карпенко М. О., Гетьман І. А. Автоматизована обробка даних засобами агентних систем. *Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод* : матеріали конференції (IX Всеукраїнської науково-практичної конференції 17–19 квітня 2025 року / за заг. ред. науково-практичної О. Ф. Тарасова. Краматорськ – Тернопіль : ДДМА, 2025. С. 212–215. URL: [http://cit.dgma.donetsk.ua/materials/paper\\_citae\\_2025.pdf](http://cit.dgma.donetsk.ua/materials/paper_citae_2025.pdf)

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ НА ЗАГАЛЬНЕ СПОЖИВАННЯ  
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ПРИ ПРИМУСОВІЙ ЗУПИНЦІ  
СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ У ПРОСТІЙ  
НА ЗУПИНЕНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

*Лісютенко І. Ю.*

*студентка гр. МНб-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Великі промислові видобувні підприємства України розміщені на місцях розвіданих родовищ корисних копалин, побудовані в 20-ому столітті, як правило є місто-утворюючими підприємствами. Навколо таких підприємств збудована критична інфраструктура та підприємства з обслуговування. Зазвичай на території цих підприємств розміщено понижуючі підстанції 150/35 кВ або 35/10(6) кВ, що живлять, окрім самого підприємства, навколишню інфраструктуру.

У випадку зупинки виробничого процесу вище описаних підприємств енергетичний комплекс продовжує працювати, забезпечуючи перетворення та транспортування електричної енергії інфраструктурі (субспоживачам). На підставі договору про спільне використання електричних мереж витрати на обслуговування мереж компенсується оператором системи розподілу (ОСР) з яким укладено договір, в межах спожитої електричної енергії субспоживачами, проте витрати на втрати холостого ходу силових трансформаторів повністю оплачується власником мереж (підприємством).

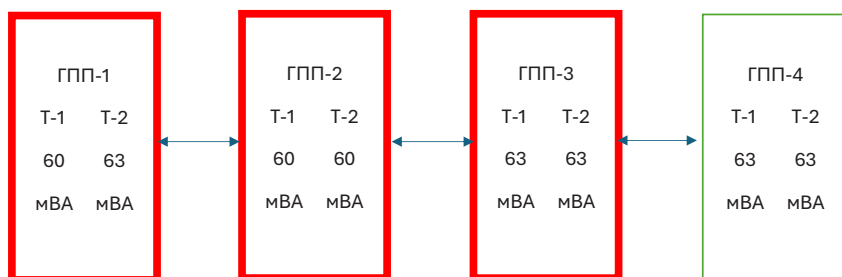
В даній роботі пропонується розглянути вплив на споживання електричної енергії підприємства, яке знаходить в технологічному простої, при виведенні силових трансформаторів 150/35/6 кВ потужністю 60–63 мВА в холодний резерв.

Опрацьоване підприємство, в частині енергетики складається з 4-х головних понижуючи підстанцій (ГПП) на кожній з яких встановлено по 2 силові трансформатори 150/35/6 кВ (рис. 1).

Загалом 5 од потужністю 63 мВА та 3 од – 60 мВА. Між ГПП побудовано зв'язки (повітряні лінії електропередач) по 150, 35 кВ, а також по 6 кВ у вигляді шинопроводу. Загальна потужність силових трансформаторів складає 495 мВА\*год.

Згідно статистики споживання активної енергії, середньогодинне споживання потужності працюючого підприємства, разом з субспоживачами, до 2022 року сягало 195–215 мВА\*год.

Після зупинки підприємства в 2024 році, енергетичні мережі та силові трансформатори залишились в роботі, забезпечуючи доступ до електричної енергії інфраструктури та живлення критичних об'єктів (насосні установки) для недопущення затоплення родовища. Загальне споживання скоротилось до 23,32 мВА\*год (Серпень 2024 року), з яких споживання самого підприємства 12,15 мВА\*год.



**Рис. 1. Структурна схема розміщення силових трансформаторів підприємства**

З метою заощадження витрат на спожиту електричну енергію та раціоналізації використання потужностей прийнято рішення розробити тимчасову схему живлення від 2-х трансформаторів (ГПП-4), яку було реалізовано в березні 2025 року.

В розрахунку показано періоди роботи в однойменні місяці, при зупиненому підприємстві до та після зміни схеми живлення (для виключення похибки на сезонний фактор).

Таблиця 1

**Середньодобове споживання електричної енергії підприємства**

Рік	Місяць	Середньодобове споживання активної потужності, кВт	tg $\phi$	Розрахункове середньодобове споживання повної потужності, кВА
2024	Серпень	209 843	0,9656	291 703,15
2024	Вересень	182 587	1,3475	306 384,91
2024	Жовтень	182 706	1,3192	302 448,17
2025	Серпень	124 900	1,745	251 201,97
2025	Вересень	136 720	1,5129	247 944,89
2025	Жовтень	167 079	1,117	250 489,76

Для розрахунку середньодобового споживання повної потужності використано формулу повної потужності [1]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1)$$

де  $P$  – Активна потужність;

$Q$  – Реактивна потужність.

$$Q = P * \text{tg } \phi, \quad (2)$$

де  $\text{tg } \phi$  – Відношення  $Q$  до  $P$ .

Порівнявши показники повної потужності в однойменних періодах 2024 та 2025 років, можна зробити висновок, що споживання електричної енергії в середньому знизилось на 16,7% за рахунок виведення в холодний резерв 6-ти трансформаторів з 8-и наявних.

Даний досвід є корисним для підприємств, що вимушені тимчасово зупинити технологічний процес, через особливості ринку, кадрового голоду чи інших факторів з якими стикається бізнес України починаючи з 24.02.2022 року.

**Перелік використаних джерел**

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М : Высшая школа, 1984.

## **РОЛЬ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ ТА ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ**

**Качура І. В.**

*студентка гр. МН6-25-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Латишева О. В.**

*к.е.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

У період воєнного часу та майбутньої масштабної відбудови України критичного значення набувають питання забезпечення безперервності логістичних операцій, надійності ланцюгів постачання та гарантій якості продукції. Металургійна галузь в цих процесах як один з драйверів відбудови країни вже зараз забезпечує матеріальний базис для відновлення інфраструктури, промислових об'єктів, транспортних мереж і оборонних споруд.

Саме тому зростає роль системи контролю якості металопродукції на українських підприємствах, оскільки від цього залежить безпека, довговічність та економічна ефективність усіх об'єктів інфраструктури, мостів, будівель, залізничних шляхів, енергетичних об'єктів. Недотримання стандартів якості може призвести до аварій, що матиме катастрофічні наслідки для людей та економіки України.

Оскільки Україна інтегрується в європейський ринок, тому продукція має ще й відповідати екологічним нормам та ESG стандартам ЄС, а бізнесу вже зараз доводиться пристосовуватись до європейських вимог в частині технічних регламентів, екологічних норм і стандартів безпеки [1].

Це важливо для збереження позицій на ринку, а також для залучення іноземних інвестицій та грантового фінансування

з міжнародних фондів, спільної участі у міжнародних проєктах відбудови країни. У такої ситуації для збереження експортного потенціалу металургійної галузі України система контролю якості металопродукції на підприємствах й повинна забезпечувати виявлення невідповідностей міжнародним ESG – стандартам сталого розвитку у бізнес-процесах та продукції на ранніх стадіях для їх своєчасного усунення; сприяти гарантії стабільності та логістичних процесів; забезпечувати відповідність продукції міжнародним стандартам якості, що є ключовим для інтеграції у європейський ринок та залучення інвестицій.

На підставі дослідження питань забезпечення операційної ефективності та сталого розвитку підприємств України [1–3 та ін.] та власного професійного досвіду роботи в ТОВ «Метінвест Шіпінг» можна констатувати, що недооціненість ролі системи якості призводить до збільшення втрат, браку, рекламацій, зростання екологічних і технологічних ризиків. Діяльність відділу якості ТОВ «Метінвест Шіпінг» охоплює комплекс контрольних та координаційних функцій, що формують цілісну систему забезпечення якості металопродукції на етапах її приймання, складування, перевантаження та відправлення кінцевим споживачам. Основні зони відповідальності відділу включають: візуальний контроль та геометричні вимірювання; виявлення поверхневих і структурних дефектів; аналіз сертифікатів відповідності, фотофіксацію стану продукції та формування інспекційних звітів; контроль навантажувально-розвантажувальних операцій; координацію дій між складами, перевізниками, логістичними менеджерами та представниками клієнтів.

Злагоджена робота фахівців відділу якості ТОВ «Метінвест Шіпінг» дозволяє зменшити кількість операційних відхилень, скоротити час логістичних циклів, мінімізувати ризики рекламацій і збитків, пов'язаних із неналежною якістю продукції. Як результат – оптимізація використання ресурсів, зниження обсягів втрат металопродукції та зменшення екологічного навантаження, що відповідає принципам сталого розвитку.

В умовах воєнного часу контроль якості виконує для бізнесу функцію підвищення стійкості логістичних операцій, адже

дозволяє: компенсувати порушення традиційних ланцюгів постачання; підвищити прогнозованість поставок для критичної інфраструктури; забезпечити відповідність матеріалів вимогам безпеки для будівництва фортифікаційних споруд, мостів, енергетичних об'єктів.

Можна констатувати, що відділ якості є стратегічним елементом системи управління металургійними підприємствами, забезпечує стабільність логістичних процесів, мінімізацію втрат, підтримку екологічної відповідальності та відповідність продукції міжнародним стандартам.

В умовах війни та повоєнної відбудови саме якісно організована система контролю якості відіграє ключову роль у підвищенні стійкості галузі й формує основу для сталого економічного розвитку. У період повоєнного відновлення України надійність системи контролю якості на підприємствах стає передумовою швидкої реалізації будівельних і промислових проєктів відбудови, забезпечення конкурентоспроможної продукції та повернення України на світові ринки металургії.

### **Перелік використаних джерел**

1. Євроінтеграція України: проблеми, ризики, виклики. Звіт Українського інституту майбутнього від 15.10.2025. 30 с. Аналітичні матеріали з офіційного сайту аналітичного центру «Український інститут майбутнього». URL: <https://uifuture.org/>
2. Дем'яненко Т. І. Механізм забезпечення сталого розвитку промислових підприємств України. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2023. № 46. С. 16–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2023-46-3>
3. Чмут О. О. Фундаментальні аспекти механізму сталого розвитку підприємств: концептуальний і нормативний базис. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2024. № 53. С. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2024-53-5>

**ОПИС ТА ОЦІНКА ПОСАД ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ  
ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СОЦІАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ  
СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДИНГ»**

**Мельник К. С.**

*студентка групи МНб-25-1м  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна*

**Латишева О. В.**

*к.е.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна*

У сучасних умовах зростання вимог до прозорості корпоративного управління згідно нових вимог до ESG звітності важливою складовою для забезпечення соціальної відповідальності бізнесу при управлінні персоналом є стандартизовані підходи до побудови посадових характеристик та оцінювання ролей у організаційно-управлінської структурі підприємства. В ТОВ «Метінвест Холдинг» ці процеси реалізуються на основі методології від консалтингової компанії “HayGroup” [1–5], що дозволяє формувати єдину логіку визначення цінності посад та їх впливу на результативність підприємств.

Діяльність з опису та оцінки посад охоплює всі категорії персоналу та рівні управління на підприємствах Групи ТОВ «Метінвест Холдинг». Основними цілями такої системи в рамках забезпечення соціальної складової сталого розвитку є коректне визначення ролі посади в організаційній структурі; встановлення зрозумілих і адекватних вимог до компетентностей та навичок персоналу, складності функцій та рівня відповідальності; визначення грейду посади для забезпечення внутрішньо корпоративної справедливості й зовнішньо конкурентоспроможності на ринку праці; формування пакетів соціальної компенсації і кар’єрних маршрутів.

Процес забезпечення соціальної складової сталого розвитку бізнесу в цьому контексті включає низку етапів: ініціювання створення або оновлення опису посади; підготовку необхідних

інформаційно-аналітичних матеріалів; перевірку на відповідність методології Нау від “Нау Group” [1–5]; узгодження з керівниками отриманих результатів обробки даних; проведення подальшого оцінювання персоналу на засіданні відповідного Комітету; затвердження результатів та формалізацію їх у відповідному Протоколі.

Методологія Нау від “Нау Group” [1–5] (як визнана однією з найпоширеніших методологій у світі система оцінки посад за грейдовою системою оцінки вартості посад та формування справедливої системи оплати праці) базується на показниках за трьома ключовими критеріями:

1. Знання та вміння, що охоплюють технічну експертизу, управлінські компетенції та навички комунікації.

2. Вирішення проблем, що характеризує рівень складності питань, свободу мислення і масштаб впливу прийнятих рішень.

3. Відповідальність, яка визначає повноваження, сферу впливу та значущість результатів виконання ролі для підприємства.

Застосування цих критеріїв за методологією Нау від “Нау Group” дозволяє об’єктивно визначати вагу кожної посади, формувати ефективну систему грейдів, удосконалювати підходи до винагороди та забезпечувати прозорі можливості для професійного зростання персоналу. У результаті з’являється можливість удосконалити HR-процеси в напрямку розвитку людського капіталу на Активах ТОВ «Метінвест Холдинг».

Також методологія Нау від “Нау Group” стає ефективним інструментом для можливості наочно продемонструвати в ESG-звітності результати інтеграції принципів сталого розвитку в бізнес-процеси на підприємствах Групи ТОВ «Метінвест Холдинг» за основними компонентами ESG, а саме:

1) прозорість системи грейдів і справедливість винагороди зміцнюють соціальну складову – рівність, інклюзію, розвиток талантів та утримання персоналу (за компонентою S – Social в ESG);

2) чіткі критерії оцінки посад і управління винагородами підвищують рівень корпоративного управління, знижують ризики дискримінації та забезпечують відповідність міжнародним стандартам (за компонентою G – Governance в ESG);

3) і додатково – результати зменшення непродуктивних витрат в системі управління персоналом завдяки оптимізації організаційно-управлінської структури, що позитивно впливає на екологічну ефективність (за компонентою Е – Environmental в ESG).

#### **Перелік використаних джерел**

1. Гуцаленко Л., Костюк А. Система грейдування – управлінський механізм мотивації праці. *Ефективна економіка*. 2019. № 11. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.11.614> (дата звернення: 22.11.2025)
2. Кобзиста І. Особливості застосування грейдингової системи оплати праці на підприємствах. *Агросвіт*. 2018. № 1. С. 42–46. URL: [http://www.agrosvit.info/pdf/1\\_2018/8.pdf](http://www.agrosvit.info/pdf/1_2018/8.pdf) 14 (дата звернення: 22.11.2025)
3. Крамаренко А. В., Вишнеvsька, М. К. Застосування грейдингової системи оплати праці в Digital-агенції. *Економіка та суспільство*. 2022. № 36. С. DOI <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-14> (дата звернення: 22.11.2025).
4. Яшкіна Н. Грейдинг як сучасний метод оцінювання ефективності праці персоналу. *Економіка та суспільство*. 2018. № 17. С. 413–419. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-17-61> (дата звернення: 22.11.2025).

## **ІНТЕГРОВАНЕ ЗАПОБІГАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПРОМИСЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ В АГЛОМЕРАЦІЙНОМУ ЦЕХУ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА**

**Міняйло Д. О.**

*студентка гр. ТЗ-22-1*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Латишева О. В.**

*доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Промислове забруднення є однією з найгостріших проблем сучасності. Викиди в атмосферу, забруднення водних ресурсів і ґрунтів спричиняють руйнування природного середовища, кліматичні зміни та становлять серйозну загрозу для здоров'я населення і планети в цілому [1].

У відповідь на ці виклики бізнес за вимогами міжнародної спільноти та національних урядів впроваджують комплексні заходи, спрямовані на зменшення негативного впливу промисловості на довкілля. Серед них – перехід до ресурсозберігаючих та енергоефективних технологій, розвиток систем очищення викидів, впровадження принципів сталого розвитку згідно міжнародних угод, зокрема, Паризької кліматичної угоди, а також посилення екологічного контролю та відповідальності підприємств. Важливу роль відіграють нові ESG – стандарти ЄС, що стимулюють країни до скорочення викидів парникових газів, а також екологічна освіта та формування культури сталого споживання серед населення. Адже лише комплексний підхід здатен забезпечити збереження Планети для майбутніх поколінь [1].

Одним із рішень зниження промислового забруднення є екологічний підхід у вигляді системи інтегрованого запобігання та контролю промислового забруднення – ІРРС (від англ. Integrated Pollution Prevention and Control) для всебічного управління

екологічними ризиками на підприємствах промислового сектору. Система IPPC дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин у повітря, воду та ґрунт, оскільки передбачає впровадження найкращих доступних технологій (НДТ), дозволяє досягти балансу між економічною діяльністю підприємства та збереженням навколишнього середовища, сприяючи сталому розвитку [1].

Особливо гостро питання екобезпеки стають перед агломераційним цехом ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» [2], оскільки саме цей підрозділ є одним з основних джерел пилогазових викидів при підготовці сировини та виробництві агломерату для доменного процесу. Саме тому в умовах цього цеху передбачено дослідити вплив змін у виробничих процесах на обсяги пилогазових викидів в агломераційному цеху підприємства чорної металургії з метою забезпечення конкурентоспроможності завдяки підвищенню рівня екологічності [2].

Агломераційний цех ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» безпосередньо відповідає за організацію та оптимізацію технологічних процесів, контроль параметрів роботи обладнання, моніторинг стану повітря та ефективність роботи газоочисних установок [3].

Для вдосконалення окремих напрямів природоохоронної діяльності чи бізнес-процесів з акцентом на екологічні аспекти, необхідно надати стислий опис їх поточного стану, виявити «вузькі місця» в організації, управлінні та ресурсному забезпеченні. Для цього пропонується формалізувати та візуалізувати основні елементи забезпечення в сфері охорони навколишнього середовища.

В умовах агломераційного цеху підприємства чорної металургії пропонується насамперед побудувати контекстну діаграму поточного стану забезпечення запобігання та контролю промислового забруднення у вигляді декомпозиції моделі "AS IS" – «як є» використанням нотації IDFO – Integration Definition for Function Modeling у програмному середовищі RAMUS, (рис.1).

Це дозволяє виявити наявні вузькі місця процесу та надалі регламентувати конкретні кроки, дії, етапи та процедури, спрямовані на підвищення екоефективності бізнесу.



Вважаємо, що успішне поєднання удосконалення внутрішніх бізнес-процесів за допомогою моделювання IDEF0 та впровадження принципів IPPC забезпечить зниження рівня промислових викидів, підвищення екологічної безпеки та прискорення євроінтеграційних процесів.

Побудова моделей бізнес-процесів “AS IS” – «як є» та “TO BE” – «як має бути» (рис. 1), на основі всієї доступної систематизованої інформації щодо перебігу виробничих процесів [2], дозволила визначити ключові зони покращення в організаційно-управлінському аспектах, зокрема в контексті ухвалення у 2024 році Закону України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» № 3855-IX, що набув чинності 8 серпня 2025 року [4].

Запровадження Закону «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» та перехід на систему єдиного ІДД є вирішальним кроком до модернізації екологічної політики України та гармонізації із законодавством ЄС [4].

Цей Закон передбачає поступовий перехід на нову дозвільну систему. Зокрема, дозволи на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, спеціальне водокористування та здійснення операцій з оброблення відходів, отримані операторами установок, будуть замінені на єдиний інтегрований довкіллевий дозвіл. Зокрема, окремі дозволи (на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, спеціальне водокористування та поводження з відходами) будуть замінені на єдиний Інтегрований довкіллевий дозвіл. Отримання цього дозволу дозволить ввести модернізовані установки в експлуатацію і є обов'язковим для підприємств, які здійснюють визначені Законом види діяльності [4].

В рамках аналізу можливостей удосконалення бізнес-процесів також особливу увагу було приділено процедурі дослідження впливу змін у виробничих процесах на обсяги викидів, з урахуванням сучасних підходів до екологічного управління.

Таким чином, на підставі проведеного дослідження в умовах агломераційного цеху підприємства ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», а також аналізу наукових джерел та внутрішніх даних

підприємства [1–3], можна констатувати, що дослідження впливу змін та впровадження ефективних НДТМ в рамках системи управління екологічними аспектами виробництва є важливою складовою забезпечення сталого розвитку підприємства.

Управління екологічними аспектами виробництва в агломераційному цеху ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» є невід'ємною складовою успішного забезпечення сталого розвитку підприємства, а інтегровані заходи є не лише вимогою часу, а й запорукою екологічно відповідального та стійкого функціонування металургійного підприємства.

### **Перелік використаних джерел**

1. Юлія Мельник. Інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення: новий крок до екологічної безпеки. *Журнал "ECOBUSINESS. Екологія підприємства"*. 2025. № 5. С. 45–49 (дата звернення: 21.10.2025).
2. Виробнича внутрішня документація ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»: Агломераційний цех № 2. Реконструкція системи очистки технологічних газів та системи подачі повітря в зону охолодження агломерату агломашин № 7–12. Загальна пояснювальна записка. Том 1. 2021. С. 3–54.
3. Наскільки реально, що ЗУ № 11355 «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» запрацює, а не залишиться гарними намірами на папері? Офіс сталих рішень: за матеріалами офіційного сайту Асоціації професіоналів довкілля РАЕВ від 01.08.2024. URL: <https://ukraine-oss.com/naskilky-realno-shho-zu-№11355-pro-integrovane-zapobigannya-ta-kontrol-promyslovogo-zabrudnennya-zapraczuuye-a-ne-zalyshytsya-garnymy-namiramy-na-paperegi> (дата звернення: 23.10.2025).
4. Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення». URL: <https://dtkr.com.ua/zakon-ukrayiny-pro-integrovane-zapobigannya> (дата звернення: 23.10.2025).

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ УСТАНОВКИ  
ОЧИСТКИ ГАЗУ НА ВИРОБНИЧІЙ ДІЛЯНЦІ  
МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

**Подобний А. Д.**

*студент гр. ТЗ-22-1*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Латишева О. В.**

*к.е.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Ефективна експлуатація комплексів пиловугільного палива (надалі – ПВП) є важливою складовою металургійного виробництва. Водночас існують значні можливості для подальшого удосконалення технологічних процесів у напрямках підвищення безпеки та економічної ефективності. Актуальним є завдання оптимізації процедур підготовки обладнання (вугільних млинів) до ремонтних робіт. Використання сушильного газу, що є продуктом спалювання доменного газу, вимагає впровадження надійних заходів для гарантування безпечного повітряного середовища (контроль CO, CO<sub>2</sub>) для персоналу. Іншим напрямом оптимізації є модернізація систем аспірації на ключових вузлах (в зоні рукавного пиловловлювача, на відмітках бункерів). Це дозволить не лише покращити умови праці та знизити екологічне навантаження, але й отримати прямий економічний ефект за рахунок повернення вловленого вугільного пилу у виробничий цикл.

Проведений аналіз регламентів та настанов Міністерства охорони навколишнього природного середовища, а також результатів досліджень фахівців-практиків [1–3 та ін.] дозволяє констатувати, що в складних умовах українських підприємств не вирішеними залишаються питання забезпечення підвищення операційної ефективності системи аспірації.



Результати дослідження діючої на базовому підприємстві процедури проведення ремонтів системи аспірації згідно регламенту на виробничій ділянці металургійного комбінату дозволило запропонувати модель, що наочно відображає логіку процесу (від збору даних та вимірів (етап А1, етап А2) до оцінки ефективності (етап А3) та формування фінальних настанов – технічних регламентів (етап А4)).

Вважаємо, що для усунення прогалин в регламентах процедури підготовки до ремонту (див. рис. 1), а саме в системі примусової продувки млина повітрям перед допуском персоналу для повного витіснення шкідливих газів, варто врахувати оновлені вимоги до експлуатації та паспортизації установок очистки газу [4], що дозволить:

внести необхідні корегування на етапі допуску;

розробити та впровадити відповідні регламенти, карти оцінки ризиків та автоматизованих систем контролю безпеки для зниження ризиків травматизму;

чітко конкретизувати зони відповідальності;

впровадити обов'язковий газовий контроль перед початком робіт для запобігання аварійних ситуацій та підвищення операційної ефективності.

### **Перелік використаних джерел**

- 1 ДСТУ ISO 45001:2019. Системи менеджменту охорони здоров'я та безпеки праці. Вимоги з настановами щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 45 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=88004](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004) (дата звернення: 11.11.2025).
- 2 НПАОП 27.1-1.01-08. Правила безпеки в доменному виробництві. Затв. Наказом Держгірпромнагляду України від 20.10.2008 № 231. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=47018](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47018) (дата звернення: 11.11.2025).
- 3 Директива 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 24 листопада 2010 р. про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення). URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_004-10#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_004-10#Text) (дата звернення: 11.11.2025).

- 4 Соломатіна Н. Вимоги до експлуатації та паспортизації газоочисних установок. *Екологія підприємства*. 2025. № 10. С. 94–102. URL: <https://e.ecolog-ua.com/ekolohiya-pidpriumstva-2025-10/vymohy-do-ekspluatatsiyi-ta-pasportyzatsiyi-hazoochysnykh-ustanovok> (дата звернення: 22.11.2025).

## **РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ДАНИХ ЛИСТОПРАВИЛЬНИХ МАШИН**

**Савенков Д. О.**

*студент гр. КН-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Гетьман І. А.**

*к.т.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Металургійне виробництво висуває підвищені вимоги до точності геометричних параметрів листового прокату. Одним із визначальних етапів підготовки продукції є правка на багатороликових листопривильних машинах (ЛПМ), де формується остаточна геометрія листа та усуваються дефекти кривизни. На підприємствах фіксація технологічних параметрів роботи ЛПМ здійснюється за допомогою програмного комплексу IBA Analyzer, який дозволяє накопичувати великі масиви сигналів, пов'язаних зі станом механізмів, гідросистеми та параметрами процесу правки. Проте обсяг даних, який може сягати 1 ГБ за добу, суттєво ускладнює оперативну роботу технологів та інженерів, а їх аналіз у табличних процесорах стає нестабільним та малоефективним. Проте відсутність формалізованої моделі, орієнтованої саме на обробку цих даних, обмежує можливості їх прикладного використання у виробничому аналізі.

На основі огляду літератури встановлено, що сучасні аналітичні, чисельні та скінченно-елементні моделі процесу правки ґрунтуються на детальному описі напружено-деформованого стану листового металу при знакозмінному вигині. Найбільш поширені підходи враховують опір матеріалу пружно-пластичній деформації, вплив ефекту Баушингера, контактну взаємодію «лист–ролик» із урахуванням сил тертя та конструктивні особливості листоправильної машини, такі як діаметр робочих роликів, їх крок і схема налаштування. У чисельних та FEM-моделях додатково розглядається розподіл залишкових напружень і глибина проникнення пластичної деформації вздовж товщини листа, що дозволяє оцінювати якість правки та прогнозувати технологічні обмеження для різних груп сталей.

Попри значний прогрес у теоретичному та обчислювальному моделюванні, оглянуті джерела не приділяють належної уваги задачі прямої інтерпретації промислових вимірювальних сигналів, що формуються під час роботи ЛПМ у реальному виробничому циклі. Зокрема, практично не розглядається питання визначення сумарної сили правки на основі даних тиску в натискних та врівноважувальних гідроциліндрах, хоча саме ці параметри є основними, доступними та надійними джерелами інформації для автоматизованих систем керування.

Враховуючи це, виникла необхідність у побудові математичної моделі, яка дозволяє формально зв'язати промислові тискові сигнали з реальною діючою силою правки. Така модель повинна базуватися на гідравлічних співвідношеннях між тиском робочої рідини, площею плунжера та силою, що передається на траверсу.

В основу моделі покладено фундаментальний гідравлічний принцип, згідно з яким сила, що генерується гідроциліндром, є прямо пропорційною тиску робочої рідини та площі поперечного перерізу його плунжера. Це дає змогу однозначно визначати силу взаємодії між гідросистемою та механічними елементами листоправильної машини на основі зареєстрованих тискових сигналів. Оскільки натискні гідроциліндри забезпечують формування основної робочої сили, їх тиск визначає величину

---

активного навантаження, яке передається на траверсу та далі на систему робочих роликів. Водночас у конструкцію ЛПМ входять врівноважувальні гідроциліндри, призначені для компенсації частини статичного та динамічного навантаження, а також для запобігання неконтрольованому опусканню траверси. Ці гідроциліндри створюють протидію діючому натискному зусиллю, що приводить до формування реального силового балансу в системі. Таким чином, сумарне силове навантаження у процесі правки є результатом взаємодії двох протилежно спрямованих складових – робочої сили натискних циліндрів та компенсуючої сили врівноважувальної гідросистеми, – що дає можливість отримати фізично коректну оцінку діючої сили правки безпосередньо з промислових вимірювальних даних.

У зв'язку з цим сумарна сила правки описується співвідношенням:

$$P_{sum} = P_{nc} - P_{tq} - G,$$

де

$$P_{nc} = p_{nc} \cdot A = p_{nc} \cdot \frac{\pi d^2}{4},$$

$$P_{eq} = p_{eq} \cdot A = p_{eq} \cdot \frac{\pi d^2}{4}.$$

У поданих залежностях:

$p_{nc}$  та  $p_{eq}$  – відповідно тиски в натискних та врівноважувальних гідроциліндрах;

$d$  – діаметр плунжера;

$A = \frac{\pi d^2}{4}$  – площа робочої поверхні поршня;

$G$  – статичне навантаження, зумовлене вагою траверси та верхньої касети.

Таким чином, математична модель відображає реальний фізичний баланс сил, що діють у зоні правки та передаються на робочі ролики в процесі взаємодії з листом, забезпечуючи

коректне визначення діючих енергосилових параметрів на основі доступних промислових тискових сигналів. На відміну від традиційних підходів, що передбачають розрахунок сили правки лише на основі теоретичних оцінок напружено-деформованого стану металу, запропонована модель дозволяє отримувати фактичну силу безпосередньо під час роботи обладнання, тобто в режимі реального часу, без необхідності додаткових експериментальних вимірювань. Це значно підвищує точність аналізу та дає змогу враховувати вплив зношення обладнання, коливань тиску в гідросистемі, температурних змін та інших технологічних факторів, які неможливо відобразити у статичних розрахунках.

Отримані значення сили правки можуть застосовуватися як в оперативному технологічному контролі, так і у статистичній оцінці якості виправленої партії металопрокату. На основі масивів обчислених значень сили можливе визначення стабільності процесу, виявлення аномалій, оцінювання рівномірності навантаження по партії, а також встановлення залежностей між змінами сили правки та параметрами вхідного прокату. Крім того, модель слугує інструментом для формування рекомендацій щодо оптимізації налаштувань роликів залежно від марки сталі, її міцнісних характеристик, температурного стану та товщини. Це відкриває перспективи для розроблення адаптивних систем керування ЛПМ, здатних автоматично підбирати параметри правки для різних сортamentів металопрокату, та сприяє переходу до концепції цифрових двійників технологічного процесу правки.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Becker, R., Schmid, T. Experimental investigation of friction in multi-roll leveling. *Journal of Materials Processing Technology*, 2016, vol. 238, pp. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.06.002>
2. Zhao, K., Li, P., Zhang, L. FEM simulation of residual stresses after sheet leveling. *Journal of Manufacturing Processes*, 2017, vol. 28, pp. 524–533. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.07.023>
3. Піпко О. В., Гетьман І. А. Розробка математичної моделі тунельної печі для оптимізації використання енергоресурсів. *International*

*scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024, vol. 1, pp. 341–344. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-114>*

## **ПРЕДИКТИВНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВУГЛЕДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

**Ситенко В. А.**

*студент гр. МНБ-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

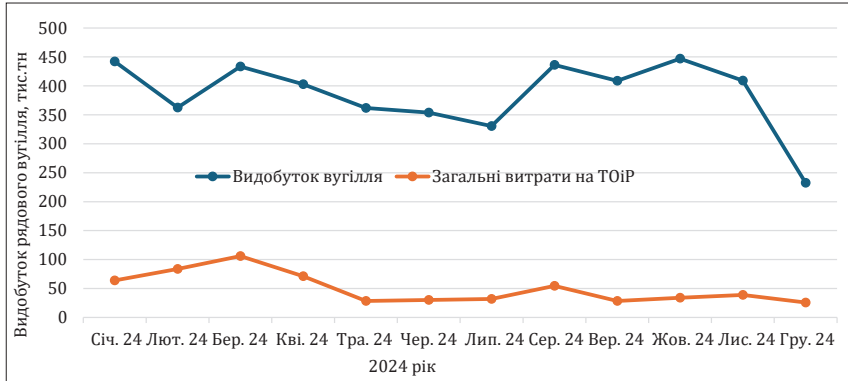
*м. Запоріжжя, Україна*

В умовах цифрової трансформації промисловості (Industry 4.0), операційна ефективність є ключовим фактором успіху. Традиційні підходи до технічного обслуговування та ремонту (ТОіР), зокрема реактивний та планово-попереджувальний (ППР), генерують значні та часто неконтрольовані витрати. Як показує аналіз практичної діяльності підприємств, ці підходи призводять до суттєвої варіативності у витратах, непередбачуваних простоїв та залежності від аварійних ситуацій (рис. 1).

Основна проблема полягає у низькій ефективності застарілих моделей управління ТОіР. Реактивне обслуговування тягне за собою великі збитки від простоїв. Превентивне (ППР) працює краще, але також не дозволяє запобігти раптовим відмовам. Виникає необхідність у переході до проактивної моделі, що дозволить не просто фіксувати зв'язок між витратами та результатами, а оптимізувати цей зв'язок на основі прогнозування стану обладнання.

В дослідженні використано методи системного аналізу для порівняння стратегій ТОіР, кореляційно-регресійний аналіз для

встановлення залежностей між операційними показниками, та методи економічного моделювання. Основою предиктивного підходу є аналіз великих даних (Big Data), технології Інтернету речей (IoT) та алгоритми машинного навчання (ML).



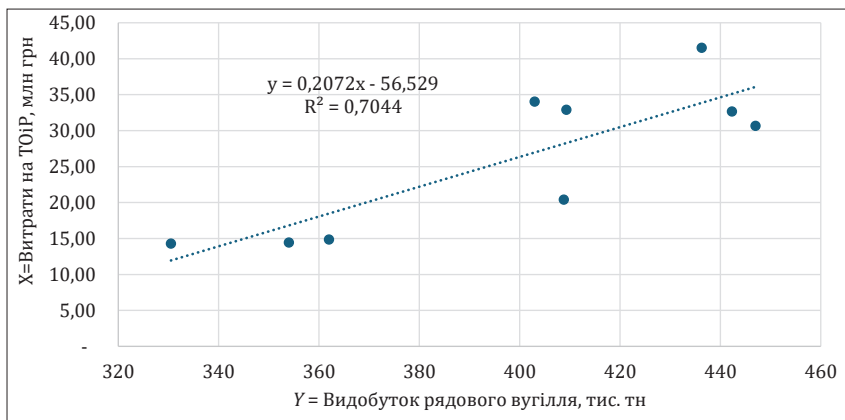
**Рис. 1. Видобуток вугілля та витрати на ТОiP на прикладі ПРАТ ШУ Покровське**

Основні результати дослідження.

1. Проаналізовано недоліки традиційних систем ТОiP. Доведено, що система ППР, хоч і є кроком уперед порівняно з реактивною, не враховує реальний технічний стан обладнання, що веде до завищення операційних витрат.

2. Підтверджено наявність критичного зв'язку між затратами на ТОiP та операційними результатами. Логічне обґрунтування цього зв'язку полягає в тому, що витрати на ТОiP ( $X$ ) безпосередньо формують технічний стан, надійність та доступність видобувного обладнання. Доступність, у свою чергу, є прямим лімітуючим фактором для обсягу видобутку ( $Y$ ). Таким чином, ТОiP є важелем управління операційним результатом. Емпіричний аналіз даних підприємства за 2024 рік (без урахування лютого, березня, грудня) підтверджує тісноту цього зв'язку: встановлено сильну статистичну кореляцію між обсягом видобутку вугілля та витратами на ТОiP. Значення коефіцієнту детермінації  $R^2 = 0,7044$  свідчить,

що значна частка варіативності в обсягах видобутку статистично пов'язана з варіативністю витрат на ремонти, що підкреслює критичну важливість їхньої оптимізації (рис. 2).



**Рис. 2. Лінійна модель впливу витрат на ТОiP (видобувна техніка) на видобуток вугілля в 2024 р. на прикладі ПРАТ ШУ Покровське**

3. Ідентифіковано ключову проблему поточної системи. Аналіз тих самих даних виявив суттєву варіативність у витратах, що свідчить про нерівномірність виконання ремонтних робіт та ймовірну залежність від аварійних ситуацій. Це підтверджує домінування реактивного компоненту в обслуговуванні, який є неефективним та високозатратним.

4. В якості практичного етапу реалізації даного підходу, в подальшому планується в умовах шахти Героїв Космосу оснащення основного видобувного обладнання датчиками для збору даних в реальному часі та переходу до прогностичних моделей.

Висновок: емпіричні дані підтверджують, що витрати на ТОiP є критичним фактором, що прямо впливає на операційну ефективність (видобуток). Однак поточна модель управління цими витратами, характеризується високою варіативністю та залежністю від аварій, а отже є неефективною. Перехід на предиктивне

обслуговування дозволяє трансформувати ремонтну функцію з реактивного «центру витрат» на проактивний інструмент оптимізації. Предиктивне обслуговування дає змогу не просто нести витрати, а управляти надійністю, максимізуючи доступність обладнання та знижуючи сукупні витрати на його утримання.

### **Перелік використаних джерел**

1. Смарт-промисловість в епоху цифрової економіки: перспективи, напрями і механізми розвитку : монографія / В. П. Вишневський та ін.; за ред. В. П. Вишневського ; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2018. 192 с. URL: <https://iie.org.ua/wp-content/uploads/2018/05/2018-Smart-promislovist-v-epochu-tsifrovoyi-ekonomiki.pdf>
2. Вугільна шахта : підручник для вузів / В. І. Бондаренко, В. Ю. Медяник, М. К. Руденко, І. А. Ковалевська. Дніпро : РВК НТУ «ДП», 2020. 360 с.
3. Забезпечення інноваційного розвитку промисловості України / Ю. З. Драчук та ін.; за заг. наук. ред. В. В. Дергачової. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. 234 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/1ca28ee8-3a1e-43ce-8bcc-a9f348128d1c/content>
4. Іванов С. В., Чекіна В. Д. Розвиток гірничодобувної промисловості в умовах Індустрії 4.0: нові виклики та можливості. *Економіка промисловості*. 2020. № 1 (89). С. 45–74. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2020.01.045>. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/167837/3-Ivanov.pdf?sequence=1>

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ  
ТА МЕТОДІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ЛОГІСТИКИ  
КОРПОРАТИВНИХ ВІДРЯДЖЕНЬ І ПЕРЕМІЩЕНЬ  
СПІВРОБІТНИКІВ КОМПАНІЇ**

**Ткачук А. В.**

*студентка гр. КН-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Гетьман І. А.**

*к.т.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Цифровізація бізнес-процесів охоплює не лише виробничі та адміністративні підсистеми підприємств, а й сферу переміщення персоналу. Логістика корпоративних відряджень, службових поїздок і мобільності співробітників перетворюється на важливу складову ефективного функціонування компаній, які працюють у динамічному середовищі та взаємодіють із партнерами в різних регіонах. Відсутність автоматизації в цьому процесі може призводити до втрат часу, збільшення витрат, зниження безпеки та проблем із координацією.

Предметна область логістики персоналу охоплює планування та оптимізацію маршрутів службових поїздок, бронювання транспорту й проживання, управління витратами, супровід співробітників у режимі реального часу, обмін інформацією між підрозділами, а також забезпечення корпоративної безпеки під час переміщень. Ці процеси мають значну схожість із класичними моделями туристичного бізнесу, однак мають інший фокус – не на створенні турпродукту, а на забезпеченні бізнес-потреб підприємства та підтримці мобільності фахівців.

Методи інформаційної підтримки, що застосовуються в корпоративному середовищі, багато в чому базуються на рішеннях, характерних для туристичної галузі. Серед них – автоматизовані

системи планування службових поїздок, корпоративні модулі бронювання, CRM для управління внутрішніми запитами на відрядження, хмарні платформи роботи з транспортними операторами, системи електронного документообігу для погодження маршруту та витрат. Особливого значення набуває інтеграція з мобільними застосунками, які забезпечують співробітнику доступ до маршрутів, квитків, графіків і контактів відповідальних осіб.

Інформаційні системи сьогодні дають змогу автоматизувати ключові логістичні процеси:

- формування запиту на відрядження та погодження маршруту;
- бронювання перельотів, поїздів, трансферів, проживання;
- облік і контроль витрат;
- моніторинг переміщення співробітника;
- інформування про відхилення, ризики чи затримки;
- створення звітності та аналітики для керівництва.

Важливим напрямом розвитку є впровадження штучного інтелекту, який дозволяє прогнозувати оптимальні маршрути, рекомендувати економічно вигідні варіанти подорожі, аналізувати дані про відрядження, виявляти зайві витрати і формувати сценарії планування в залежності від типових бізнес-завдань. Інтеграція ШІ також спрощує обробку великих масивів інформації: історію переміщень, сезонні зміни транспортних тарифів, завантаженість напрямків чи ризики відвідування окремих регіонів.

Значного поширення набувають мобільні сервіси, що забезпечують офлайн-доступ до маршрутів, push-сповіщення про зміни в розкладі, чат-підтримку, карти розташування офісів і партнерів, а також можливість швидкої комунікації у разі виникнення непередбачених ситуацій. Інформаційні системи забезпечують прозорість усіх етапів службових поїздок і підвищують рівень корпоративної безпеки, що є критично важливим для компаній із масштабною регіональною діяльністю.

Застосування комплексних цифрових рішень у логістиці персоналу дозволяє компаніям зменшити витрати на відрядження,

оптимізувати час планування, скоротити кількість помилок, покращити управління графіками та створити єдину інформаційну екосистему для підтримки мобільності співробітників. У результаті ефективність бізнес-процесів підвищується, а рівень організаційної взаємодії між підрозділами значно покращується.

Отже, дослідження методів інформаційної підтримки логістики корпоративних переміщень показує, що використання сучасних ІТ-рішень – автоматизації, аналітики, мобільних платформ та штучного інтелекту – здатне суттєво вдосконалити управління службовими поїздками. Ці інструменти формують нову модель цифрової мобільності співробітників і відкривають перспективи для комплексної оптимізації внутрішніх бізнес-процесів компаній.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Чобіток В., Літвінчик С. Системи інформаційного забезпечення транспортної логістики в підприємницькій діяльності. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2024. № 332 (4). С. 14–21. DOI: 10.31891/2307-5740-2024-332-2.
2. Ткачук А. В. Використання інформаційних систем для цифрової трансформації туристичного бізнесу. *Нотатки сучасної науки: електроний мультидисциплінарний науковий часопис*. Харків : СГ НТМ «Новий курс», 2025. № 24. С. 64–65. URL: [https://www.newroute.org.ua/wp-content/uploads/nsn\\_24.pdf](https://www.newroute.org.ua/wp-content/uploads/nsn_24.pdf)

## **ПІДГОТОВКА ПРОЄКТУ СТАЛОГО РОЗВИТКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ ПРОЄКТНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ**

**Трусова А. О.**

*студентка гр. МНБ-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Латишева О. В.**

*к.е.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасні тенденції в розвитку проєктного менеджменту свідчать, що використання чітких і водночас гнучких інструментів є дуже важливим для досягнення стратегічних цілей компанії. Зараз в умовах посилення вимог до бізнесу щодо необхідності забезпечення сталого розвитку зростає потреба ефективного планування і реалізації проєктів сталого розвитку та їх управління.

В останніх стандартах та настановах з проєктного менеджменту [1, 2] надаються інструкції та поради щодо застосування існуючого інструментарію управління проєктами.

Для управління проєктами сталого розвитку в українських реаліях (коли вкрай необхідно розподіляти обмежені ресурси та уникати ситуацій, коли різні команди чи учасники команд виконують одну й ту саму роботу) насамперед варто застосувати такі інструменти, як ієрархічна структура робіт (англ. WBS, Work Breakdown Structure) [2] та матриця розподілу ролей та зони відповідальності (т.зв. RACI-матриця розподілу чотирьох ключових ролей: Responsible, Accountable, Consulted, Informed) [4].

Автором для ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС» в межах проведеного дослідження було підготовлено фреймворк проєкту сталого розвитку (структурована робоча основа на прогнозних даних), що охоплює п'ятирічний період (з 2 лютого 2026 року по 31 грудня 2030 року). Зазвичай фреймворк проєкту містить набір

інструментів, бібліотек та правил, що надають готову структуру та стандартизовані рішення.

За фазою ЖЦП за допомогою програмного забезпечення Ramus із застосуванням нотації IDEF0 (від англ. – Integrated Definition for Function Modeling) візуалізовано регламенти реалізації та управління проектом сталого розвитку в умовах підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС» у вигляді моделей поточного (AS-IS) та цільового (TO-BE) стану бізнес-процесів. Крім того, для візуалізації управління часом, ресурсами та послідовністю робіт було використано програмне забезпечення MS Project, що дало можливість сформулювати деталізований календарний план проекту на основі WBS.

Для забезпечення ефективного планування та контролю проекту сталого розвитку була розроблена деталізована ієрархічна структура робіт (WBS), що дозволяє візуально розбиває великий проєкт на менші, керовані частини, створюючи ієрархію завдань від загальної мети до найпростіших робочих пакетів. Це дало змогу (за рекомендаціями [2]) сформулювати повний календарний план і забезпечити логічний зв'язок між обсягом робіт, термінами та бюджетом.

Для узгодженої роботи команди була запропонована RACI – матриця розподілу ролей та зони відповідальності (за рекомендаціями [4]), що дозволило чітко розподілити ролі між 12 учасниками проєктної команди з метою запобігання дублюванню робіт та підвищення ефективності взаємодії. Для забезпечення наочності наданих пропозицій на рисунку 1 наведено фрагмент RACI-матриці для першої фази – ініціації.

Для обґрунтування доцільності реалізації проекту та підтвердження життєздатності проекту, було проведено аналіз інвестиційної ефективності (за ключовими показниками ефективності [3]), який за прогнозом підтвердив доцільність реалізації проекту.

Таким чином, поєднання структурованого підходу проєктного менеджменту (5 фаз ЖЦП, WBS), інструментів моделювання бізнес-процесів (Ramus), планування та контролю (MS Project) та чіткого розподілу ролей (RACI-матриця) дозволило забезпечити ефективне управління проектом сталого розвитку.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	<b>МАТРИЦЯ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ (RAS) ДЛЯ ПРОЕКТУ "ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ПРОЕКТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»"</b>											
2	Роли											
3	<b>Задачі (Фази та Підзадачі)</b>		<b>Керівник</b>	<b>ESG-менеджер</b>	<b>HR-менеджер</b>	<b>Бізнес-аналітик</b>	<b>Економіст-аналітик</b>	<b>Фінансовий аналітик</b>	<b>Консультант зі сталого розвитку</b>	<b>IT-спеціаліст</b>	<b>Інженер-проектувальник</b>	<b>Команда проекту</b>
4	<b>1. Фаза ініціації інвестиційного проекту сталого розвитку в умовах підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»</b>											
5	1.1	Формування проектної команди і розподіл ролей за допомогою RAS-матриці	A	I	R	I	I	I	I	I	I	R
6	1.2	Визначення мети, цілей та очікуваних результатів інвестиційного проекту сталого розвитку в умовах підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»	A, R	R	C	R	C	I	R	I	I	I
7	1.3	Визначення основних зацікавлених сторін (стейкхолдерів) підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»	A	R	R	R	I	I	R	I	I	I
8	1.4	Розробка стратегії інвестиційного проекту сталого розвитку в умовах підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»	A, R	R	I	R	C	I	R	I	I	I
9	1.5	Виявлення основних ESG-факторів, ризиків і можливостей для інвестиційного проекту в умовах підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»	I	A, R	I	R	I	C	R	I	I	I
10	1.6	Побудова моделі AS-IS (поточний стан бізнес-процесів) інвестиційного проекту сталого розвитку в Vatmus	I	I	I	A, R	I	I	I	R	I	I
11	1.7	Побудова моделі TO-BE (цільовий стан після впровадження інвестиційного проекту в Vatmus)	I	I	I	R	I	I	I	A, R	R	I
12	1.8	Підготовка попереднього економічного аналізу інвестиційного проекту сталого розвитку в умовах підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»	C	I	I	R	A, R	R	I	I	I	I
13	1.9	Затвердження статуту і фінансування інвестиційного проекту сталого розвитку в умовах підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»	A	I	I	C	I	R	R	I	I	I
	<b>2. Фаза планування інвестиційного проекту сталого розвитку в умовах підприємства ТОВ ТПК «ПРОФАЛЬЯНС»</b>											

**Рис. 1. Матриця відповідальності проекту для фази ініціації**

*Джерело: фрагмент побудовано автором за допомогою програмного забезпечення MS Excel*

**Примітка** до рис. 1: Responsible (той, хто виконує завдання); Accountable (той, хто відповідає за результат) – керівник, який приймає роботу і відповідає за її кінцевий результат; Consulted (консультант) – експерт, який дає поради і допомагає розібратися у складних питаннях; Informed (в курсі) – той, кого тримають у курсі справ і він знає, що де і коли відбувається, але не втручається в процес [5]. Практична цінність запропонованого і підготовленого інструментарію фреймворку проєкту підтверджується позитивною оцінкою керівництва підприємства та високими фінансовими показниками проєкту.

### **Перелік використаних джерел**

1. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management. Project Management Institute, Inc., 2021. P. 370. URL: <https://www.pmi.org> (дата звернення: 10.10.2025).
2. Global G. GPM P5 Standard for Sustainability in Project Management. Primedia eLaunch LLC, 2014. С. 2–6. URL: <https://mosaicprojects.com.au/PDF-Gen/The-GPM-P5-Standard-for-Sustainability-in-Project-Management-v2.0.pdf>
3. NPV, IRR, ROI та не тільки – як оцінити ефективність інвестицій? URL: [https://msp-partners.com.ua/npv-irr-roi-ta-ne-tilki.html%26cultureKey%3Duk?utm\\_source](https://msp-partners.com.ua/npv-irr-roi-ta-ne-tilki.html%26cultureKey%3Duk?utm_source) (дата звернення: 25.11.2025).
4. RACI Template & Ultimate 2025 Guide to the RACI Matrix [+Free Download] : вебсайт. URL: <https://www.aihr.com/blog/raci-template/> (дата звернення: 25.11.2025).
5. Віталія Шоляк. Матриця RACI: що це, як створити та використувати. Матеріали з Платформи “Wizeclub” за 14.08.2024. URL: <https://wizeclub.education/blog/matritsya-raci-shho-tse-yak-stvoriti-ta-vikoristovuvati/> (дата звернення: 25.11.2025).

## **ОПЕРАЦІЙНІ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГЗК ЗАВДЯКИ ВПРОВАДЖЕННЮ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ ПОТ І ЇХ ІНТЕГРАЦІЄЮ З MES**

**Чуприков С. В.**

*студент гр. МНБ-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*Запоріжжя, Україна*

**Мінц О. Ю.**

*д.е.н., професор кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Цифрова трансформація (Digital Transformation) – це глибокий і пришвидшений процес перетворення бізнес-діяльності, процесів, компетенцій і моделей, що впливає на сучасні виробничі відносини та ефективність виробництва шляхом прискорення передачі інформації [1].

Ця трансформація об'єднує звичайну інформаційну технологію (ІТ) з операційними технологіями (ОТ) на основі трендів зв'язку, інтелекту та гнучкої автоматизації, що проявляється у впровадженні цифрових, промислового Інтернету речей (IIoT), штучного інтелекту та технологій «великих даних» (big data) для моніторингу, аналізу та прогнозування діяльності виробничих компаній.

У гірничо-металургійному комплексі спостерігається глобальна тенденція до впровадження технологій безлюдних кар'єрів, які вже понад 10 років використовуються на кар'єрах у світі. Основною метою цих систем є усунення «людського фактору» з виробничого процесу, що теоретично підвищує безпеку, продуктивність і знижує експлуатаційні витрати [2, 3].

Перехід до безлюдних кар'єрів передбачає високий, аж до четвертого, найвищого рівня автоматизації, коли техніка, включаючи кар'єрні самоскиди, працює повністю самостійно, без участі

людини. Це вимагає оснащення самоскидів засобами з ІоТ технологіями [4, 5].

У цьому контексті, автоматизований контроль стану шин є критично важливим, оскільки поточне значення тиску повітря в шинах є важливим контрольованим параметром при експлуатації транспортно-технологічних засобів.

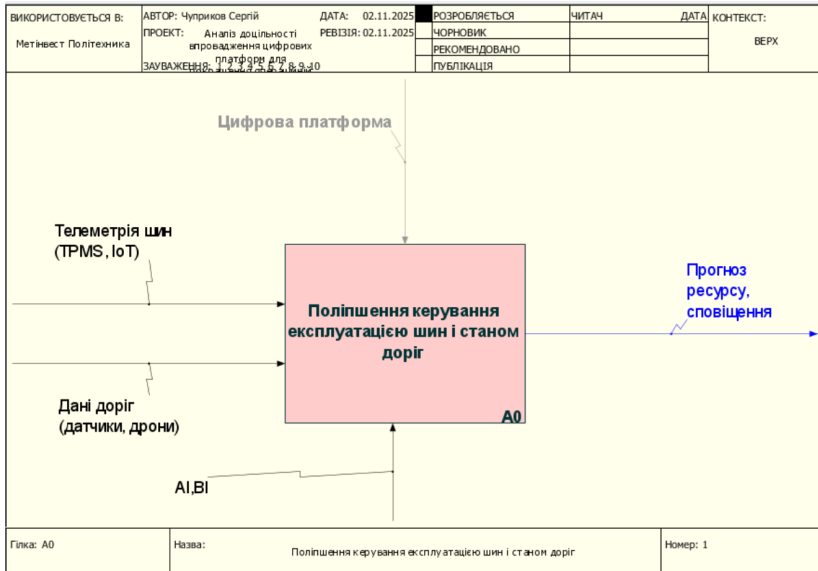
Системи контролю тиску повітря в шинах (TPMS-(Tyre Pressure Monitoring System), або більш функціональні системи TPCS (Tyre Pressure Control System), є невеличкою але невід'ємною складовою частиною цієї глобальної модернізації.

За даними Komatsu Frontrunner-контроль тиску суттєво впливає на техніко-експлуатаційні характеристики, зокрема на зношування шин та витрату палива. Наприклад, впровадження безлюдних перевезень дозволяє збільшити термін служби шин на 40 % порівняно з ручними операціями [4]. Компанія Vale S. A. очікує зниження зносу шин на 25 %.

Що стосується бізнес процесів операцій обслуговування кар'єрного транспорту на Активах Групи Метінвест в цілому та зокрема по шинах самоскидів то основними проблеми поточного стану є відсутність безперервного моніторингу стану шин, аналітичної підтримки прийняття рішень, низька точність та дублювання даних, відсутність централізованої системи оповіщень і контролю тощо.

На підставі проведеного мною дослідження наявної інформації на базі R&D проєкту, результатів ознайомлення з науковими та аналітичними джерелами, встановлено, що чинна модель управління експлуатацією шин і станом технологічних доріг має високий потенціал для цифрового вдосконалення.

Відповідно до проведеного дослідження було сформовано модель "ТО-ВЕ" («ЯК БУДЕ») (рис. 1), яка відображає впровадження інноваційних елементів цифровізації бізнес-процесу. Основна ідея модернізації полягає у переході від фрагментованих, переважно ручних операцій до інтегрованої системи цифрового моніторингу, аналітики та управління на базі цифрових платформ.



**Рис. 1. Контекстна діаграма формалізації і бізнес-процесу «Поліпшення керування експлуатацією шин і станом доріг “ТО–BE”, топ-рівень А-0**

**Висновок:**

Завдяки цифровізації процесу управління експлуатацією шин і станом доріг підприємство отримає підвищення прозорості управлінських рішень, скорочення непродуктивних простоїв, зменшення витрат на закупівлю шин, підвищення безпеки транспортних операцій та загальне зростання ефективності виробничої діяльності.

**Перелік використаних джерел**

1. Управління підприємствами в умовах цифровізації: виклики та механізми трансформацій : монографія / Н. Ю. Брюховецька, І. П. Булеев, Ю. С. Залознова та ін. ; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2024. 302 с.
2. Brown C. Autonomous vehicle technology in mining. *Engineering & Mining Journal*. 2012. № 213. С. 30–32. URL: Autonomous Vehicle Technology in Mining

3. Buleev I., Bryukhovetskaya N., Bryl I., Bryukhovetsky Y. Chapter 5. Creating Effective Mechanisms for Stimulating Entrepreneurial Activity in the Context of Transforming Digital Enterprises. *Recent Trends in Business and Entrepreneurial Ventures*. 2023. 13 November. 302 p. DOI: <https://doi.org/10.52305/KZZV1105>.
4. Komatsu. Frontrunner autonomous haulage system. URL: <https://www.komatsuamerica.com/autonomous-haulage-system>.
5. Мінц О. Ю., Лисенко Ю. Г. Моделювання інноваційних інтелектуальних систем прийняття рішень в економіці. *Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці*. 2017. № 6. С. 90–141.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ESG-СТАНДАРТІВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В УМОВАХ ТОВ «МЕТІНВЕСТ-ШІППІНГ»**

**Шульга С. Д.**

*студентка гр. МН6-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Латишева О. В.**

*к.е.н., доцент кафедри ЦТПАР, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

У контексті дослідження особливостей забезпечення вимог ESG-стандартів у системі управління логістичними процесами ТОВ «Метінвест-Шіппінг» важливо врахувати нові регуляторні реалії.

2025 рік став переломним: держава відновила обов'язкову систему МЗВ (моніторинг, звітність, верифікація) викидів парникових газів, і тепер точність даних визначає не лише екологічний профіль компанії, а й кредитні умови, участь у держзакупівлях та довіру європейських партнерів [1].

Для логістичних процесів компаній в Україні це означає, що забезпечення ESG-звітування безпосередньо впливає на фінансові

потоки та контракти, а помилки та слабка доказовість екологічності процесів загрожують відхиленням звітів і втратою довіри Європейських імпортерів.

Особливий виклик для експортерів металів, добрив, цементу та логістичні компанії, які працюють у ланцюгах постачання в Україні – це запровадження Європейським Союзом т.зв. «Механізму вуглецевого коригування на кордоні» (англ. – CBAM, Carbon Border Adjustment Mechanism), згідно якому дані моніторингу, звітності, верифікації «вбудованих» викидів мають інтегруватися у вуглецевий облік продукції, що потребує синхронізації транспортних і виробничих ланцюгів. [1]

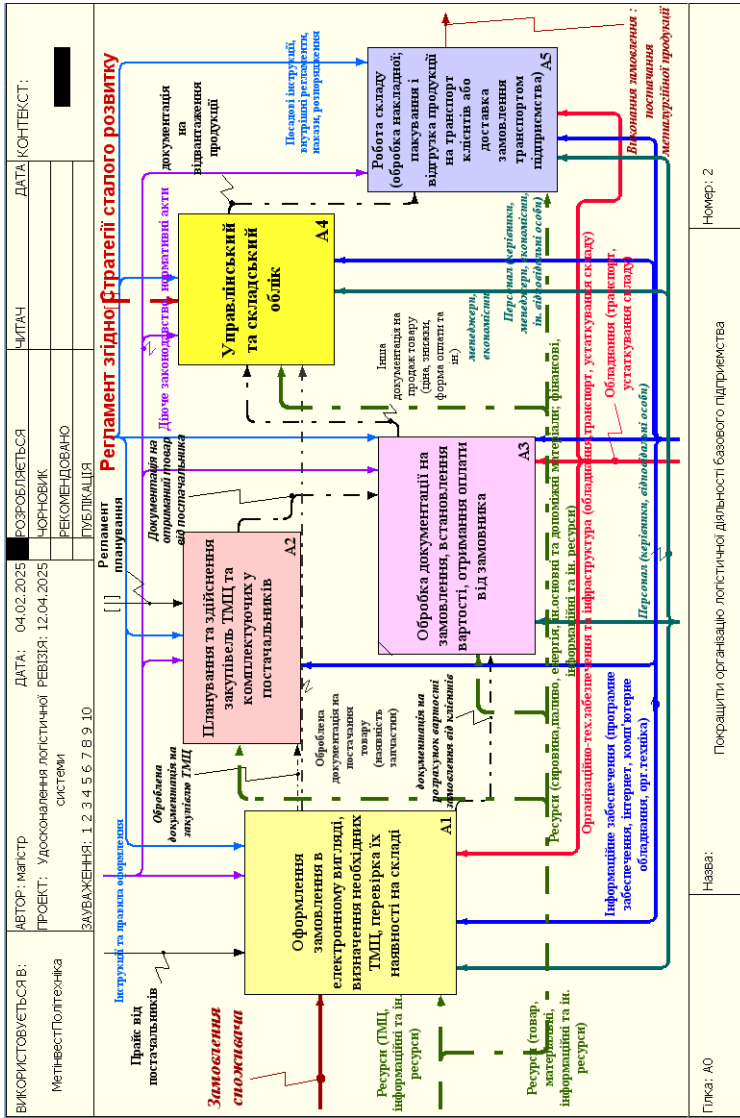
Логістична система Групи «Метінвест» охоплює повний цикл – від надходження сировини до відправки готової продукції клієнтам. ТОВ «Метінвест-Шіппінг» управляє логістичною функцією основних підприємств Групи «Метінвест» в ЄС та Україні, забезпечує та контролює весь логістичний маршрут перевезення вантажів автомобільним та залізничним транспортом, а також інші процеси перевалки, експедиції вантажів в портах, у т. ч. фрахтування суден.

На рис. 1 представлено ключові бізнес-процеси логістичної діяльності підприємства.



**Рис. 1. Ключові процеси логістичної діяльності підприємства**

*Джерело: побудовано автором*



**Рис. 2.** Діаграма декомпозиції удосконаленого процесу логістичної діяльності в нотатції IDEFO  
 Джерело: модель "ТО BE" побудована автором, запропоновані корегування згідно регламентів екоскладової в ESG-звітності

Для кращого забезпечення ефективності, прозорості та надійності організації логістичних процесів згідно нових вимог ESG-стандартів, в системі управління логістичними процесами варто враховувати специфіку ESG-звітності і зростаючі вимоги до екологічної безпеки для збереження позиції на ринку.

Запропонована модель логістичної діяльності дозволяє візуалізувати напрями вдосконалення згідно нових регламентів стандартів ESG для забезпечення сталого розвитку. На рис. 2 зображена діаграма декомпозиції удосконаленого процесу логістичної діяльності в нотації IDEF0.

Представлена діаграма після подальшої декомпозиції етапів дозволить наочно продемонструвати та регламентувати зони екологічно спрямованих удосконалень бізнес-процесів, систем їх організації, розподілення зон відповідальності тощо.

### **Перелік використаних джерел**

1. МЗВ-2025: як українським підприємствам підсумувати рік, пройти верифікацію з першого разу і підготуватися до СВAM. За матеріалами з платформи консалтингової компанії ТОВ «Офіс Сталих Рішень» за 18.11.2025. URL: МЗВ-2025: як українським підприємствам підсумувати рік, пройти верифікацію з першого разу і підготуватися до СВAM – Офіс Сталих Рішень (дата звернення: 25.11.2025).

# СЕКЦІЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

## ВПЛИВ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

**Авласьонок К. І.**

*член Асоціації випускників*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

*електромонтер з оперативних перемикачів у розподільчих мережах*

*ПРАТ «ПІВНІЧНИЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ»*

*м. Кривий Ріг, Україна*

**Масловський К. С.**

*студент гр. ТЗ-23-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Максимова Н. М.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,*

*науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

В сучасному світі активно ведеться пошук артернальних джерел енергії, зменшення шкідливих викидів та навантаження на екосистему в цілому. Наприклад, була прийнята Європейська директива про відновлювані джерела енергії (RED) [1], в якій акцентована увага на необхідність збільшити частку відновлювальної енергетики до 45 % до 2030 року, що корелюватиме з Європейською зеленою угодою.

Україна, не дивлячись на складу ситуацію, спрямовує зусилля підтримці, стабілізації та стійкому розвитку енергетичного сектору. Наразі, частка проектів заморожена та зможе бути реалізована після стабілізації ситуації в країні. В тому числі активізується

пошук нових видів енергії, окрім теплової та атомної. Набуває більшого розвитку артернальтивна енергетика, приділяється увага сонячній, вітровій, геотермальній енергетиці, малій гідроенергетиці, біопаливу тощо. Для регулювання цієї сфери прийнято низку законів та підзаконних актів, одним з яких є Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання [2].

З метою стабілізації господарчої діяльності поширення набувають когенераційні установки. Когенерація дозволяє максимально використати весь потенціал власної генерації енергії та підвищити загальний ККД електростанції до 90 % і більше.

Когенераційні технології різняться, наприклад, виокремлюють:

- паротурбінні установки. Пара високого тиску надає обертового руху турбіні, за рахунок чого виробляється електрична енергія. Відпрацьована пара потім може бути спрямована на опалення;

- газотурбінні установки. Газ згоряє в камері, а продукти згоряння приводять в рух турбіну. Тепло від відпрацьованих газів спрямовується у теплообмінник;

- поршневі двигуни, які працюють на газі або дизелі. Тепло від охолоджуючої рідини та відпрацьованих газів теж можна використовувати.

Паливо, що використовується в когенерації, першочергово, повинно розглядатись з позиції впливу на атмосферне повітря: чи відбувається скорочення викидів парникових газів у порівнянні з використанням традиційних викопних джерел енергії. Когенераційна установка може працювати від природного газу, біогазу, біометану, звалищних та шахтних газів.

Під час спалювання твердого й рідкого палива в атмосферу потрапляють пилогазові викиди. У складі викидів наявні різного походження аерозолі. Характерні складові вмісту пилогазових викидів: зола, частинки вуглецю, які здатні переносити канцерогенні речовини, зокрема бенз(а)пірен, а також гази:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  та ін. [4]. Тобто у складі викидів забруднюючих речовин є парникові гази. Щоб зменшити екологічні ризики для

довкілля, необхідно збільшувати частку альтернативної енергетики, яка працює на відновлюваних ресурсах.

До основних переваг когенерації відносять скорочення витрат на вироблення електричної енергії порівняно з ТЕЦ, широкий діапазон потужності від 50 кВт до 10 МВт, можливість роботи з мережею і в острівному режимі, можливість продажу надлишкової енергії за «зеленим тарифом» та зменшення викидів парникових газів [3].

Завдяки високому рівню ефективності та можливості працювати як автономно, так і у взаємодії з централізованими мережами, такі системи можуть відігравати важливу роль у зміцненні енергетичної безпеки України.

#### Перелік використаних джерел

1. European Renewable Energy Directive (RED): legal framework. *EcoHz*. URI: <https://www.ecohz.com/standards-and-initiatives/european-renewable-policy-framework#:~:text=The%20European%20Renewable%20Energy%20Directive> (останній перегляд: 23.11.2025).
2. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.08.2024 № 761-р. *Верховна Рада України*. URI: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text> (останній перегляд: 25.11.2025).
3. Когенерація – альтернатива електростанціям і ТЕЦ. *RIO-Berdychiv*. URI: <https://rio-berdychiv.info/novyny/biznes/kogeneracya-alternativa-elektrostantsyam-tes> (останній перегляд: 25.11.2025).
4. Таргонський А. С., Герасимчук О. Л. Вплив ТЕС на навколишнє природне середовище. *Сучасні проблеми екології* : тези XIII Всеукраїнської наукової on-line конференції студентів, магістрів та аспірантів з міжнародною участю, 15 березня 2017 року, Житомирський технологічний університет. URI: <https://conf.ztu.edu.ua/suchasni-problemy-ekologiyi-15-bereznua-2017-r/> (останній перегляд: 24.11.2025).

## СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ В УМОВАХ ЕПІДЕМІЙ

**Гончаров А. Р.**

*студент гр. БП-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Майстренко В. В.**

*к.т.н., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується безпрецедентним зростанням ризиків інфекційних захворювань. Процеси глобалізації, стрімкий розвиток транспортних комунікацій та урбанізація створили ідеальні умови для швидкого поширення епідемій, що наочно продемонструвала пандемія COVID-19. Особливу уразливість у таких умовах демонструють працівники, пов'язані із масовим контактом з людьми – медичні працівники, співробітники торгівельних підприємств, працівники транспорту та логістики, а також представники промислових підприємств з щільним розміщенням персоналу [1].

Під час епідемії працівники стикаються з комплексом специфічних ризиків, що вимагають цілеспрямованих заходів з боку роботодавця. Найочевиднішим є ризик інфекційного зараження, який значно підвищується при тісному контакті з колегами, роботі в закритих погано вентильованих приміщеннях та недостатній гігієні. Окрім фізичного здоров'я, серйозній загрози піддається психологічний стан працівників – страх зараження, невизначеність, соціальна ізоляція та емоційне вигорання стають масовими явищами. Також епідемія неминуче порушує звичну організацію робочого процесу через перехід на дистанційну роботу, зміну графіків, зупинки виробництва та збільшення навантаження.

Ефективний захист працівників вимагає впровадження комплексного підходу, що поєднує організаційні, технічні та медико-профілактичні заходи. Серед організаційних заходів найбільш ефективними є запровадження дистанційної або гібридної форми праці, зміна графіків роботи з розподілом на бригади, що не перетинаються, а також реорганізація робочого простору із створенням коворкінг-зон із дотриманням соціальної дистанції. Технічні засоби захисту включають обов'язкове використання масок, респіраторів, антисептиків, встановлення дезінфікуючих бар'єрів, бактерицидних ламп та систем вентиляції з HEPA-фільтрами.

Медико-профілактичні заходи залишаються важливою складовою системи безпеки. До них належать регулярне тестування персоналу, вакцинація, організація медичних пунктів для швидкої діагностики, а також навчання працівників гігієнічним нормам та правилам використання засобів індивідуального захисту. Особливу увагу слід приділяти правильному підбору ЗІЗ органів дихання – для офісних приміщень може бути достатньо медичних масок, тоді як для шахт, металургійних цехів та інших підприємств з підвищеною запиленістю необхідні респіратори класу FFP2 та FFP3.

Важливим напрямком вдосконалення системи охорони праці є впровадження цифрових інструментів моніторингу стану здоров'я працівників. Спеціалізовані мобільні додатки дозволяють щоденно фіксувати самопочуття, результати температурного скринінгу та контакти з потенційно інфікованими особами. Доповненням слугують безконтактні термометри, встановлені на входах до цехів, які автоматично передають дані в систему охорони праці. Особливої уваги потребує психологічна підтримка працівників через організацію онлайн-консультацій, тренінги зі стресостійкості та створення комунікаційних платформ.

Міжнародний досвід свідчить про ефективність комплексних підходів до організації безпеки праці в умовах епіdemій [2]. Країни Європейського Союзу зробили акцент на цифрових рішеннях для відстеження контактів, фінансовій підтримці бізнесу

та впровадженні суворих вимог до систем вентиляції. Азійські країни, такі як Південна Корея та Японія, реалізували проактивні стратегії, що поєднують масове тестування, використання штучного інтелекту для аналізу даних та концепції уникнення закритих просторів, скупчень і тісних контактів [3, 4].

Для України пріоритетами мають стати гармонізація законодавства з європейськими директивами, створення фінансових механізмів підтримки малих і середніх підприємств для закупівлі протиепідемічного обладнання, а також розбудова навчальних центрів для підготовки кризових менеджерів. Реалізація цих заходів дозволить зменшити втрати продуктивності під час майбутніх епідемій та перетворить витрати на безпеку праці на інвестиції в людський капітал.

Таким чином, забезпечення безпеки праці в умовах епідемій вимагає системного підходу, що поєднає організаційні, технічні, медичні та інформаційні ресурси. Лише комплексна реалізація заходів, адаптованих до специфіки конкретних галузей та умов праці, дозволить ефективно протистояти інфекційним загрозам, забезпечити стабільну діяльність підприємств та захистити здоров'я персоналу, що є основою як для соціального захисту, так і для економічного зростання.

### **Перелік використаних джерел**

1. Постанова Кабінету Міністрів України № 1236 від 09.12.2020 р. «Про встановлення карантину та запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів».
2. Всесвітня організація охорони здоров'я. Керівні принципи щодо безпеки праці під час пандемій. <https://www.who.int>
3. Європейське агентство з безпеки та здоров'я на робочому місці. (2023). \*COVID-19: Lessons from EU Responses\*.
4. WHO. (2024). Effectiveness of Asian Pandemic Control Models.

**ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН ПРИ РОБОТІ  
ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ,  
ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ТА ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОГО ВИКОНАННЯ  
ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ**

**Дроник Т. В.**

*студентка гр. БП-24-1м*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кружилко О. Є.**

*д.т.н., професор, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Мета роботи полягає: у визначенні та аналізі небезпечних зон, що виникають під час роботи вантажопідіймальних механізмів, встановленні ефективних засобів індивідуального й колективного захисту працівників, а також у розробленні практичних рекомендацій та технічних рішень щодо забезпечення безпечного виконання вантажно-розвантажувальних робіт на промислових підприємствах.

Для безпечної організації вантажно-розвантажувальних робіт проведено аналіз небезпечних зон, що виникають під час роботи вантажопідіймальних механізмів, та розраховано оптимальні параметри їхнього функціонування з урахуванням вимог охорони праці. Особливу увагу приділено визначенню зон потенційного контакту працівників з рухомими частинами механізмів, зонам можливого падіння вантажу та траєкторіям переміщення кранів.

На основі дослідження встановлено енергосилові та організаційні чинники, які найбільше впливають на ризик виникнення аварійних ситуацій, а також визначено ефективні засоби індивідуального та колективного захисту. Розроблені заходи спрямовані на підвищення рівня безпеки за рахунок правильної організації робочих зон, удосконалення системи сигналізації та блокування, а також мінімізації впливу людського фактора.

Отримані результати можуть бути впроваджені на вантажно-розвантажувальних дільницях промислових підприємств для підвищення ефективності системи охорони праці, зниження кількості небезпечних ситуацій, запобігання травматизму та забезпечення стабільної та безпечної роботи вантажопідіймальних механізмів.

Теоретична цінність дослідження полягає у систематизації норм і принципів безпеки праці відповідно до НПАОП, ДСТУ та міжнародних стандартів ISO. Практична значущість визначається можливістю застосування отриманих результатів для підвищення рівня промислової безпеки, мінімізації випадків травмування персоналу та зменшення виробничих ризиків на підприємствах металургійного та гірничо-збагачувального сектору.

У ході роботи було проаналізовано основні типи небезпечних зон, що виникають при роботі вантажопідіймальних механізмів: зона переміщення вантажу, зона можливого падіння вантажу, зона дії кранових колій, зона повороту стріли кранів та зона роботи тросів і стропувального обладнання. Встановлено, що найбільша кількість порушень виникає у випадках наближення персоналу до робочої траєкторії вантажу та при використанні механізмів зі зношеним або нерегламентованим обладнанням.

Засоби захисту працівників класифіковано на індивідуальні та колективні. До індивідуальних засобів належать: захисні каски, сигнальні жилети, спецвзуття, рукавиці, захисні окуляри. До колективних – огороження небезпечних зон, попереджувальні знаки, світлові й звукові сигнальні пристрої, блокувальні системи, а також технічні пристрої контролю положення вантажу та наявності сторонніх осіб у робочій зоні крана.

Проведений аналіз правил безпечного виконання вантажно-розвантажувальних робіт дозволив виокремити найбільш критичні вимоги, недотримання яких безпосередньо призводить до аварійних ситуацій: заборона перебування під піднятим вантажем, контроль технічного стану стропів і тросів, робота лише атестованих працівників, правильне стропування та сигналізація, а також організація освітлення та очищення робочої поверхні.

У результаті дослідження запропоновано впровадження автоматизованої системи контролю небезпечних зон вантажопідіймальних механізмів, що базується на застосуванні сенсорів руху, лазерних бар'єрів, відеоаналітики та технологій автоматичного блокування. Така система здатна зменшити вплив людського фактора та знизити ризик потрапляння персоналу в небезпечні зони під час роботи кранів, що підтверджує її практичну цінність у підвищенні рівня промислової безпеки.

Отримані результати можуть бути використані при розробленні заходів з охорони праці, модернізації систем контролю безпеки на підприємствах металургійного комплексу та при підготовці персоналу до роботи з вантажопідіймальними механізмами.

#### **Перелік використаних джерел**

1. НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт».
2. НПАОП 0.00-1.80-18 «Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів».
3. Закон України «Про охорону праці».
4. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування.
5. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці.
6. Жидецький В. Ц., Гандзюк М. П. Охорона праці. Львів : Новий Світ-2000, 2018.

## **НОВА ЕПОХА ПРОФЕСІЙНИХ ХВОРОБ: ВІД ВИКЛИКІВ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА ДО ІННОВАЦІЙНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ**

**Железняк Є. М.**

*студентка гр. ТЗ-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Шароватова О. П.**

*к.п.н., доцент, науковий керівник, доцент кафедри підвищення кваліфікації та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту*

*Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

*доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

За даними Міжнародної організації праці [1, 2], щороку у світі реєструють мільйони випадків професійних патологій, що впливають на працездатність і якість життя працівників. Відтак, професійні хвороби становлять суттєву соціально-економічну проблему сучасного суспільства. Професійні хвороби залишаються однією з ключових проблем і сучасної медицини праці, адже значна частина працездатного населення щоденно піддається впливу шкідливих виробничих факторів (нові хімічні речовини та матеріали (наноматеріали, полімери, розчинники); використання високих технологій та електроніки, підвищення ризику електромагнітного впливу, порушень зору; професійний стрес, монотонна робота, тривале сидіння, порушення постави; зростання випадків нервово-психічних розладів, синдромів хронічної втоми тощо).

Розвиток технологій відкриває нові можливості, але водночас створює і нові ризики для здоров'я працівників. Класичні професійні хвороби (пневмоконіози, отруєння металами, хронічні інтоксикації) [3] відходять на другий план, натомість зростає кількість «нових» професійних розладів, пов'язаних із

наноматеріалами та наночастинками; електромагнітними полями високої інтенсивності; роботизованими системами й автоматизованими комплексами; цифровими технологіями та тривалою роботою за комп'ютером; біотехнологічними виробництвами тощо.

Сфера інформаційних технологій та цифрова економіка породжує окремий пласт професійних проблем, серед яких: цифрова втома, погіршення пам'яті, зниження концентрації; комп'ютерний зоровий синдром; мускуло-скелетні захворювання, пов'язані з тривалою статичною позою; емоційне вигорання, зумовлене високими когнітивними навантаженнями та віддаленою роботою. Це формує абсолютно новий тип професійної захворюваності, який раніше практично не фіксувався.

У сучасних умовах збільшується кількість шкідливих речовин із комплексним впливом: наночастинки можуть проникати через мембрани клітин, спричиняючи генотоксичні та канцерогенні ефекти; біотехнологічні виробництва підвищують ризик нових варіантів біологічних алергій, сенсибілізації та інфекційних уражень. Оскільки такі ризики раніше не були характерними, сучасні санітарно-гігієнічні норми ще не повністю адаптовані до них.

Одним із головних факторів XXI століття у сфері професійної діяльності стали психосоціальні ризики. Психоемоційні навантаження, робота в умовах дефіциту часу та високої відповідальності спричиняють синдром професійного вигорання; тривожно-депресивні розлади; порушення сну, хронічну втому; зростання серцево-судинної патології, пов'язаної зі стресом. ВООЗ офіційно визнала вигорання професійним феноменом і багато країн уже переглядають стандарти безпеки праці з урахуванням цього факту.

Певного екстриму умовам праці додають і кліматичні зміни [4]. Сучасна епоха характеризується збільшенням періодів аномальної спеки, що створює ризик теплових уражень; зростанням кількості стихійних явищ – збільшення травматизму у рятувальників та працівників комунальних служб; роботою в умовах забруднення повітря ультрадисперсними частинками. Це також

формує нові професійні ризики навіть у тих сферах, де їх раніше не було.

Характерне реаліям сьогодення старіння робочої сили, як результат подовження трудового стажу, призводить до збільшення хронічної професійної патології; зниження відновлювальних можливостей організму; підвищення потреби в адаптації робочих місць.

Отже, сучасні професійні хвороби стають комбінованими – з поєднанням вікових, соматичних та виробничих факторів.

За умов ефективної взаємодії роботодавців, медичних служб та працівників професійні хвороби значною мірою можна попередити. Профілактика відіграє сьогодні особливу роль в умовах зростання і ускладнення виробничих процесів та збільшення стресових навантажень. Вивчення профілактичних заходів дозволяє не лише знизити рівень захворюваності, а й зберегти працездатність нації та економічну стабільність підприємств. 90 % професійних хвороб формуються поступово, тому своєчасні профілактичні заходи здатні повністю запобігти розвитку патології. Лікування вже сформованої професійної хвороби потребує значних ресурсів і часто не гарантує повернення людини до повної працездатності. Профілактика ж зменшує кількість виробничих травм і аварійних ситуацій.

Ретельне дослідження впливу виробничих факторів дозволяє визначати відповідні групи ризику, розробити індивідуальні та колективні засоби захисту, удосконалювати норми безпеки праці, створювати освітні програми для працівників, своєчасно проводити медичні огляди та раннє виявлення передзахворювань.

Для майбутніх фахівців розуміння питань профілактики професійних захворювань є важливим, оскільки це формує професійну культуру безпеки з ранніх етапів навчання; сприяє підготовці компетентних спеціалістів з охорони праці та медицини праці; стимулює розвиток нових методів діагностики та профілактики професійних ризиків; підвищує рівень особистої відповідальності за безпечні умови праці. Саме профілактика професійних захворювань дозволяє зберегти здоров'я працівників, підвищити продуктивність праці та створити безпечне робоче

середовище, адже попередити хворобу завжди легше і дешевше, ніж її лікувати.

Основними профілактичними напрямками щодо запобігання професійних захворювань залишаються усунення або мінімізація шкідливих виробничих факторів, модернізація обладнання та впровадження безпечних технологій, застосування засобів індивідуального захисту, навчання персоналу правилам безпеки, формування безпечної поведінки на робочому місці, ергономічна організація праці та профілактика перенавантажень.

У новій епосі професійних хвороб з'являються і нові інструменти їх попередження: сенсори для моніторингу навантаження, температури, шуму, вібрацій; біометричний контроль стресу; рання діагностика через штучний інтелект; персоналізовані програми профілактики; телемедицина для дистанційного нагляду за працівниками тощо. Це відкриває ефективний шлях до прогнозування професійних ризиків, а не лише їх фіксації.

Отже, професійні захворювання – це реальний виклик, однак їх можна ефективно попереджувати. Акцент на профілактиці, модернізації, підвищенні культури безпеки та дотриманні вимог дозволяє зменшувати ризики, покращувати стан здоров'я працівників, забезпечувати їх довшу професійну придатність та підвищувати ефективність виробництва.

### **Перелік використаних джерел**

1. WHO/ILO: Almost 2 million people die from work-related causes each year. UN News. 2021. 17 Sept. URL: <https://www.who.int/news/item/17-09-2021-who-ilo-almost-2-million-people-die-from-work-related-causes-each-year>.
2. WHO/ILO joint estimates of the work-related burden of disease and injury, 2000–2016: technical report with data sources and methods / World Health Organization and International Labour Organization. 2021. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345241>.
3. Постанова КМУ від 08.11.2000 р. № 1662 «Про затвердження переліку професійних захворювань». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1662-2000-%D0%BF#Text>.

4. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks / A. Prüss-Ustün, J. Wolf, C. Corvalán et al. World Health Organization. Geneva, 2016. URL: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4222870/mod\\_resource/content/1/9789241565196\\_eng.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4222870/mod_resource/content/1/9789241565196_eng.pdf).

**АНАЛІЗ СКЛАДУ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ  
ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ НА ПРИКЛАДІ  
ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ**

**Железняк Є. М.**

*студентка гр. ТЗ-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Максимова Н. М.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Гірничо-збагачувальні комбінати Криворіжжя спеціалізуються на видобутку і переробці руди, виробництві сировини для металургійної промисловості, а саме залізорудного концентрату і окатків. На кожному з промислових майданчиків підприємства утворюються відходи, які класифікують за Державним класифікатором відходів ДК 005-96 [1], а також за Національним переліком відходів, затвердженими Постановою Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102 [2].

Слід зазначити, що під час реформування сфери управління відходами, виникають ситуації, коли суб'єкти господарювання керуються нормативно-правовими актами, які потребують перегляду та/або вже оновлені, та/або новими, які корелюють із Законом України «Про управління відходами», що набув чинності 9 липня 2023 року [3].

На підставі аналізу складу промислових відходів, що утворюються під час виробничої діяльності гірничо-збагачувального комбінату, можна класифікувати деякі види утворених промислових відходів, що не є небезпечними (відповідно до Закону України «Про управління відходами») (табл. 1). Слід відзначити, що за попередньо чинним Законом України «Про відходи», відходи поділяли на чотири класи безпеки, що відображено у табличній формі також.

Таблиця 1

**Класифікація деяких основних відходів, що не є небезпечними**

Найменування за ДК 005-96	Найменування за Національним переліком	Клас за ДК 005-96
2820.2.1.20 Відходи, одержані у процесах зварювання (флюсовий шлак)	12 01 13 Відходи процесів зварювання (Відходи зварювання)	3
7710.3.1.17 Вироби та матеріали гумові зіпсовані або відпрацьовані (відходи ГТВ)	19 12 04 Пластмаси та гума (Відходи гумовотехнічних виробів)	4
4010.2.9.01 Футерування та вогнетриви відпрацьовані (брухт вогнетривів)	16 11 06 Відходи футеровки та вогнетривів від неметалургійних процесів інші, ніж зазначені за кодом 16 11 05 (Брухт вогнетривів)	4
6000.2.9.03 Шини, зіпсовані перед початком експлуатації, відпрацьовані, пошкоджені чи забруднені під час експлуатації	16 01 03 Відпрацьовані шини (Відпрацьовані шини)	4
7710.3.1.02 Тара скляна використана та бій скла (за винятком відходів тари, що утворилися під час перевезень, та тари аптечної (склобій)	17 02 02 Скло (Склобій)	4
-	15 01 07 Скляна тара (упаковка) (Скляна тара з-під кислот)	-
2512.2.9.07 Обрізки конвеєрних стрічок з металотросом (відходи конвеєрних стрічок, канатів гумовотросових, гумометалевого футерування)	19 12 04 Пластмаси та гума (відходи конвеєрних стрічок, канатів гумовотросових, гумометалевого футерування)	4

На кожному підприємстві ведеться облік всіх утворених відходів, а також організація їх збору, сортування та переміщення від місць утворення до промислових майданчиків і пунктів тимчасового зберігання.

Адаптація систем екологічного менеджменту та внутрішнього документообігу з управління відходами залишається актуальним викликом для промисловості у період тривалих реформ.

### **Перелік використаних джерел**

1. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96 (Розділи А.1 – А.20). Редакція від 01.05.2008. *Верховна Рада України* : офіційний вебсайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089217-96#Text> (дата звернення: 04.11.2025).
2. Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів : Постанова Кабінету Міністрів України від 20.10.2023 № 1102. Редакція від 07.11.2024. *Верховна Рада України* : офіційний вебсайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1102-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення: 04.11.2025).
3. Новий порядок класифікації відходів: таблиця кодів. Новини від 17 липня 2023. *Офіс сталих рішень* : вебсайт. URL: <https://ukraine-oss.com/novuj-poryadok-klassyfikacziyi-vidhovidiv-tablyczya-kodiv/> (дата звернення: 04.11.2025).

## РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ ДАНИХ АУДИТУ РОБОЧОГО МІСЦЯ МАШИНІСТА КРАНА

**Золотарьова І. О.**

*студентка гр. БП-24-1М*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Володченкова Н. В.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Чеберячко Ю. І.**

*д.т.н., професор, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки*

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*

*м. Дніпро, Україна*

*професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Методика обробки даних аудитів розроблена з метою забезпечення єдиного підходу до збору, аналізу та оцінювання результатів перевірок стану охорони праці машиніста крана відповідно до затверджених чек-листів. Вона дає змогу об'єктивно визначити рівень дотримання вимог безпеки, виявити слабкі місця у системі організації робіт і підготувати пропозиції щодо усунення виявлених невідповідностей.

Джерелами інформації для обробки є заповнені чек-листи, що охоплюють чотири основні напрями: організацію безпечної експлуатації вантажопідіймальних механізмів, технічний стан обладнання, особисту безпеку машиніста і стропальника, а також колективну безпеку на робочому майданчику. До додаткових джерел можуть належати журнали огляду механізмів, протоколи інструктажів, фотофіксація місця робіт та інші супровідні документи.

Обробка результатів здійснюється поетапно. На першому етапі виконується збір і перевірка повноти чек-листів, наявності підписів

і дат проведення перевірки. Дані з усіх чек-листів зводяться у єдину таблицю для подальшого аналізу. На другому етапі проводиться кодування відповідей: відповідь «Так» оцінюється в один бал, «Ні» – у нуль балів, а пункт, який не підлягає оцінці («Н/П»), у розрахунках не враховується. Це дає можливість уніфікувати інформацію та забезпечити математичну точність оцінювання.

На третьому етапі для кожного чек-листа визначається відсоток виконання вимог за формулою:

$$K_i = \frac{A}{A + B} 100 \%,$$

де А – кількість позитивних відповідей («Так»), а В – кількість негативних («Ні»).

Отримані показники дають змогу оцінити ступінь дотримання вимог у межах кожного напрямку перевірки. Після цього обчислюється загальний коефіцієнт безпеки об'єкта як середнє арифметичне відсоткових показників усіх чек-листів.

Для інтерпретації результатів використовується така шкала оцінювання: при значенні коефіцієнта від 90 до 100 % рівень безпеки вважається високим; від 75 до 89 % – задовільним; від 50 до 74 % – незадовільним; нижче 50 % – критичним. У разі отримання незадовільного або критичного результату проведення робіт допускається лише після усунення порушень та повторного аудиту.

Після розрахунків проводиться детальний аналіз невідповідностей. Для кожного пункту, де отримано негативну відповідь, визначається характер порушення, його ймовірна причина та заходи, необхідні для усунення. Результати фіксуються у таблиці невідповідностей із зазначенням відповідального виконавця і терміну виконання. Такий підхід дає змогу перетворити результати аудиту на практичний інструмент управління безпекою праці.

Підсумкові результати узагальнюються у вигляді зведеного звіту, який містить короткі висновки щодо кожного напрямку перевірки, розраховані коефіцієнти виконання, графічні матеріали (діаграми або гістограми), а також перелік запропонованих коригувальних заходів.

На завершальному етапі формується загальний висновок про стан охорони праці машиніста крана. У ньому зазначається рівень безпеки, основні виявлені проблеми, тенденції порівняно з попередніми аудитами, а також рекомендації щодо підвищення рівня безпечної експлуатації вантажопідіймальних механізмів. Звіт затверджується відповідальною особою та зберігається у журналі внутрішніх перевірок підприємства. Результати аудиту використовуються для планування профілактичних заходів, удосконалення інструктажів, технічного обслуговування обладнання та підвищення ефективності системи управління охороною праці в цілому.

Таблиця 1

**Зведені результати аудитів з охорони праці машиніста крана**

№	Напрямок перевірки (чек-лист)	Кількість пунктів перевірки	Виконано («Так»)	Не виконано («Ні»)	Не підлягає («Н/П»)	Рівень виконання, %	Рівень безпеки	Основні зауваження / Невідповідності
1	Організація безпечної експлуатації	22	20	2	0	90,9	Високий	Відсутній оновлений ПОР; недостатня освітленість робочої зони (120 люкс)
2	Безпечна експлуатація обладнання	14	13	1	0	92,9	Високий	Виявлено місцеву деформацію каната, потребує заміни
3	Особиста безпека	6	6	0	0	100	Високий	Порушень не виявлено
4	Колективна безпека	3	2	1	0	66,7	Незадовільний	Недостатнє огороження зони робіт, відсутня сигнальна стрічка
	Усього / Середній показник	45	41	4	0	87,6	Задовільний	Потребує вдосконалення заходів колективного захисту

Аналіз зведених результатів свідчить, що загальний рівень охорони праці машиніста крана оцінюється як задовільний (87,6 %).

Вимоги безпеки під час організації та технічної експлуатації обладнання переважно виконано, проте виявлено окремі порушення, що потребують усунення. Основні недоліки стосуються організації колективної безпеки, зокрема недостатнього позначення зони проведення робіт та відсутності постійного огородження.

Рекомендовано провести коригувальні дії: встановити переносні сигнальні бар'єри, оновити проєкт організації робіт, перевірити стан освітлення та замінити пошкоджені канати. Після усунення порушень доцільно провести повторний аудит для підтвердження поліпшення показників безпеки.

Загалом результати аналізу дають підстави зробити висновок, що рівень безпеки праці машиніста крана є задовільним (87,6 %), а основні ризики зосереджені у сфері організації зони робіт і колективного захисту. Рекомендовано провести додаткове навчання персоналу з питань організації робочих місць, удосконалити систему огородження, оновити світло-технічне обладнання та забезпечити постійний контроль за технічним станом вантажопідіймальних механізмів.

### **Перелік використаних джерел**

1. Керування безпекою здоров'я працівників: теорія і практика : зб. ст. / ідея вид. зб. В. Рожанський ; заг. ред.: Д. Матвійчук. Київ : Охорона праці, 2020. 287 с.

## ВПЛИВ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРАЦІВНИКІВ НА ДОТРИМАННЯ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ

**Льїна Д. І.**

*студентка гр. БП-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Майстренко В. В.**

*к.т.н., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,*

*науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасні умови виробничої діяльності характеризуються підвищеним рівнем ризиків, особливо на підприємствах промисловості, металургії, гірничодобувної сфери, транспорту та будівництва. У таких умовах людський чинник посідає ключову роль у забезпеченні безпеки праці. Наукові дослідження та статистика державних органів засвідчують, що частка нещасних випадків, пов'язаних із людськими помилками, сягає 65–80 %. Значна частина таких помилок має психофізіологічну природу: стрес, перевтома, тривожність, емоційне виснаження або конфлікти в колективі безпосередньо впливають на концентрацію уваги, здатність оцінювати ризики та ухвалювати безпечні рішення [1, 4].

У зв'язку з цим дослідження психологічного стану працівників як чинника дотримання вимог охорони праці є надзвичайно актуальним.

Психологічний стан працівника – це інтегрований комплекс емоційних, поведінкових і когнітивних характеристик, які визначають його здатність адекватно сприймати інформацію, оцінювати ризики та ухвалювати рішення. У виробничих умовах особливо важливими є такі складові, як стійкість та концентрація уваги, рівень самоконтролю, швидкість реакції та здатність до прогнозування небезпечних ситуацій.

У процесі дослідження встановлено, що негативні психофізіологічні стани суттєво знижують рівень безпеки. До таких станів належать:

1) стрес та гостра напруга, що призводять до імпульсивності та неуважності [2];

2) тривожність, яка знижує ясність мислення та спричиняє уникання складних ситуацій;

3) апатія чи емоційне виснаження, що зменшують відповідальність та мотивацію [4];

4) хронічна втома, яка уповільнює реакції та погіршує координацію рухів;

5) агресія або роздратованість, що провокують конфлікти та відхилення від інструкцій [6].

Усі ці фактори безпосередньо впливають на ймовірність виробничої помилки. Психологічно нестабільний працівник часто недооцінює ризик, порушує послідовність операцій, пропускає критичні деталі. Особливо небезпечними є перевтома та емоційне вигорання, які накопичуються поступово й непомітно, істотно зменшуючи професійну надійність персоналу.

Психологічний стан працівника формується не лише його внутрішнім емоційним фоном, а й зовнішнім середовищем, зокрема мікрокліматом у трудовому колективі.

До негативних соціально-психологічних факторів належать:

1) міжособистісні конфлікти, які знижують увагу та підвищують рівень агресії [5];

2) мобінг або психологічний тиск з боку колег чи керівництва;

3) нестача підтримки, що формує відчуття відчуженості [7];

4) надмірна конкуренція у колективі, яка переводить акцент із безпеки на швидкість виконання роботи;

5) нерівномірний розподіл обов'язків, що викликає емоційне перенавантаження [8].

Таке середовище створює передумови для порушення дисципліни, оскільки працівники відволікаються на емоційні переживання, а не зосереджуються на безпечному виконанні операцій.

Позитивний психологічний клімат, навпаки, підвищує готовність співробітників допомагати один одному у небезпечних ситуаціях, покращує комунікацію та забезпечує взаємний контроль. У колективах із високим рівнем довіри ризик виробничого травматизму значно нижчий, оскільки працівники швидше помічають потенційні небезпеки та повідомляють про них керівництву.

Також важливу роль відіграє стиль керівництва. Авторитарні методи підвищують рівень стресу, тоді як демократичні та партнерські підходи сприяють формуванню культури відкритого обговорення ризиків. Керівник, який демонструє зацікавленість у психологічному благополуччі працівників, знижує ймовірність приховування проблем та порушень.

Важливість психологічної підготовки персоналу як складової системи управління охороною праці. Вона включає як формальне навчання, так і розвиток внутрішніх психоемоційних ресурсів працівників.

Психологічна підготовка охоплює:

- 1) тренінги зі стресостійкості, які навчають справлятися з інтенсивними емоційними навантаженнями [6];
- 2) техніки саморегуляції – дихальні вправи, методи зниження напруги, швидкі психологічні паузи;
- 3) моделювання складних виробничих ситуацій, де працівники вчаться діяти у стресі [7];
- 4) індивідуальні консультації з психологом;
- 5) інструктажі з урахуванням психофізіологічних станів, що адаптують інформацію до реальних потреб персоналу [3].

Такі заходи сприяють підвищенню усвідомленості працівників щодо власного емоційного стану та його впливу на роботу. У результаті формується відповідальніша поведінка, зменшується число імпульсивних помилок і підвищується рівень внутрішньої дисципліни.

Особливо важливими є регулярні психологічні тренінги для нових працівників, які ще не адаптувалися до колективу та виробничих умов. На початкових етапах роботи рівень стресу

є найвищим, тому в цей період потрібен посилений психологічний супровід.

Такі заходи формують у працівників усвідомлене ставлення до власної безпеки та підвищують їх психологічну готовність діяти правильно навіть у складних умовах.

Для покращення психоемоційного стану працівників підприємствам рекомендовано впроваджувати програми психологічної підтримки, проводити регулярний моніторинг рівня стресу, оптимізувати графіки роботи, створювати комфортне соціальне середовище та забезпечувати належний рівень комунікації. Ефективна система управління охороною праці повинна включати як технічні, так і психологічні заходи, що дозволяє значно підвищити безпеку виробництва [2, 5].

Таким чином, психологічний стан працівників є визначальним компонентом безпеки праці. Підтримка стабільного емоційного фону та розвиток психологічних компетентностей персоналу сприяють зниженню ризику виробничого травматизму, підвищенню відповідальності та ефективності трудової діяльності.

### **Перелік використаних джерел**

1. Балута В. В. Соціологія праці : посібник. Донецьк : Юго-Восток, 2011. 374 с.
2. Бачинська А. Професійне вигорання працівників: причини та фактори. Київ, 2017. 121 с.
3. Володченкова Н. В., Майстренко В. В., Кружилко О. Є. та ін. Безпека праці та виробничих процесів : методичні рекомендації. Запоріжжя : Метінвест Політехніка, 2025. 67 с.
4. Буняк Н. А. Загальна психологія : лекції. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2017. 300 с.
5. Прохоровська С. А., Фалович Н. М. Мобінг у трудових колективах. Тернопіль : ЗУНУ, 2021.
6. Психологія праці : електронні методичні рекомендації. Одеса : ОНУ ім. І. Мечникова, 2023. 25 с.
7. Психологія тимблдингу : навчальний посібник. Харків : Мадрид, 2017. 92 с.
8. Скриньковський Р., Шпак О., Леськів С. Діагностика стану соціально-психологічного клімату. Траєкторія науки, 2018.

## **СПОСІБ ЖИТТЯ ЯК МОДИФІКАТОР ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ: ВІД ЗВИЧОК ДО НАСЛІДКІВ**

**Коробкіна Н. А.**

*студентка гр. БП-23-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Шароватова О. П.**

*к.п.н., доцент, науковий керівник,*

*доцент кафедри підвищення кваліфікації*

*та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту*

*Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

*доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Раніше професійні хвороби пов'язували переважно з виробничими шкідливостями (пил, хімічні речовини, шум, вібрація тощо). Сьогодні – під впливом цифровізації, стресогенних робочих середовищ і високої інтенсивності праці – звички та поведінка працівника поза виробництвом стали рівноцінними ризик-факторами. У результаті навіть однакові умови праці по-різному впливають на людей залежно від їхнього способу життя.

У сучасну епоху трансформації праці – дистанційних форматів, гібридних робочих моделей та зростання когнітивного навантаження – спосіб життя став одним із ключових чинників, що визначають ризик виникнення новітніх професійних захворювань [1]. Якщо раніше структура профпатологій була здебільшого пов'язана з фізичними або хімічними виробничими чинниками, то сьогодні поза робочі звички працівника (сон, харчування, рухова активність, стрес-менеджмент, цифрова поведінка) [2] підсилюють або послаблюють вплив технологічних і організаційних ризиків.

Поширення дистанційної та офісної роботи збільшило середній час сидіння до 8–12 годин на добу. Це призводить до розвитку

м'язово-скелетних порушень (офісний синдром, кіфози, ранній остеохондроз); метаболічних зрушень, що підвищують ризик ожиріння, діабету, серцево-судинних захворювань; зниження загальної працездатності та збільшення втомлюваності. У поєднанні з неергономічним робочим місцем ці фактори прямо переходять у професійно обумовлені захворювання.

Швидкі темпи роботи та високі когнітивні навантаження зумовлюють формування синдромів емоційного вигорання, тривожних розладів; зниження концентрації та уваги призводить до збільшення виробничого травматизму; відбувається соматизація стресу, що може виявлятися у гіпертонії, гастритах, головних болях, напруженні. Високий стрес у поєднанні з виробничими небезпеками (відповідальність, робота в небезпечному середовищі) прискорює розвиток новітніх психологічних професійних хвороб (цифрове виснаження).

Нерегулярний сон, гаджети перед сном, нічні чергування та online-готовність 24/7 спричиняють когнітивне виснаження; зниження імунітету та підвищення сприйнятливості до інфекцій; підвищення ризику серцево-судинних хвороб. Недостатній сон у сучасних умовах – небезпечний модифікатор професійних ризиків, що створює «приховану групу ризику».

Нерегулярні прийоми їжі, фаст-фуд під час роботи, зловживання кофеїном та енергетиками формують фон, сприятливий для гастроентерологічних проблем, хронічної втоми, зниження уваги й продуктивності, зменшення толерантності до фізичного та теплого стресу. Це робить людину більш вразливою до теплових уражень, перевантаження суглобів і хребта, токсичних впливів (деякі токсиканти накопичуються в жировій тканині). Ці чинники не лише шкодять здоров'ю, але й підвищують вразливість до професійних навантажень.

Шкідливі звички – куріння, вживання алкоголю – підсилюють дію пилу (ризик ХОЗЛ та пневмоконіозів зростають у кілька разів), погіршують кровообіг, сповільнюють реакцію та координацію, ускладнюючи виведення токсичних речовин, поглиблюють нейротоксичний вплив хімічних речовин, прискорюють розвиток хронічних інтоксикацій.

Надмірне використання гаджетів, соціальних мереж і віртуального контенту збільшує рівень стресу, погіршує сон, спричиняє цифрову втомлюваність та інформаційне перевантаження, збільшує ризик «офісних» розладів зору (цифрова астенопія). Поступово формуються новітні цифрові професійні захворювання.

Отже, спосіб життя є прямим модифікатором ризиків новітніх професійних захворювань. У поєднанні з виробничими факторами він може або суттєво підсилювати небезпеку, або – при правильному підході – значно знижувати ризики. Сучасні професійні хвороби формуються на перетині умов праці, способу життя, психоемоційного фону, цифрової поведінки.

Тому профілактика має включати не лише санітарно-технічні заходи, а й здоров'язберігаючі моделі поведінки, освітні програми, цифрову гігієну та індивідуальні стратегії стрес-менеджменту. Інтегруючи спосіб життя у сучасну персоніфіковану профілактику, сучасні підприємства мають впроваджувати персональні програми здоров'я (сон, харчування, активність); фітнес-діагностику для профілактики фізичних порушень; скринінги стресу та емоційного вигорання; цифрові додатки, які аналізують сон, навантаження, рівень стресу; персональні рекомендації щодо відновлення; корекцію графіків роботи з урахуванням ритмів працівників.

### **Перелік використаних джерел**

1. Llave, Oscar Vargas, Mandl, Irene, Weber, Tina, Wilkens, Mathijn Eurofound. *Telework and ICT-Based Mobile Work: Flexible Working in the Digital Age* (2020). <https://www.europeansources.info/record/?p=521284>
2. Global Burden of Disease Study 2020–2024. Risk Factors Collaborators. *Global, regional, and national burden of disease and injury attributable to risk factors. The Lancet, 2020–2024.*

**ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ПСИХОСОЦІАЛЬНИМИ РИЗИКАМИ В СТРУКТУРУ  
ОХОРОНИ ПРАЦІ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ  
В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ**

**Кравчук І. В.**

*студентка гр. БП-24-1М*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кружилко О. Є.**

*д.т.н., професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

В умовах повномасштабної війни промисловий сектор України зіткнувся з безпрецедентними викликами, які виходять за межі традиційної технічної безпеки. Статистика виробничого травматизму свідчить, що значний відсоток інцидентів обумовлений так званим «людським фактором». Однак в умовах хронічного стресу, спричиненого бойовими діями, ракетними атаками та соціальною невизначеністю, поняття «людський фактор» трансформується у категорію «психосоціальні ризики». Актуальність роботи обумовлена необхідністю адаптації Системи управління охороною праці (СУОП) до вимог міжнародного стандарту ISO 45003:2021 в умовах воєнного часу.

Метою роботи є розробка алгоритму інтеграції управління психосоціальними ризиками в існуючу систему менеджменту безпеки металургійного підприємства для мінімізації травматизму та забезпечення ментальної стійкості персоналу.

Аналіз проблеми показує, що хронічний стрес призводить до когнітивних викривлень у працівників: зниження концентрації уваги, уповільнення реакції («тунельний зір»), ігнорування небезпек або помилкові дії при керуванні складними механізмами. Особливу групу ризику становлять працівники, які повертаються на виробництво після демобілізації, оскільки виробничі шуми та спалахи можуть виступати тригерами посттравматичних реакцій.

Для систематизації небезпек пропонується класифікація психосоціальних ризиків воєнного часу наведена у табл. 1.

Таблиця 1

**Класифікація психосоціальних ризиків та їх вплив на виробничу безпеку**

Група ризиків	Характеристика фактора	Наслідок для ОП (Occupational Safety)	Заходи мінімізації (Control Measures)
Фізіологічні	Порушення сну через нічні тривоги, хронічна втома	Зниження швидкості реакції на 20–30 %, мікросон за пультом управління	Впровадження гнучких графіків, додаткові перерви, ротація змін
Когнітивні	Інформаційне перевантаження, тривожність за близьких	Розсіяна увага, помилки при виконанні рутинних операцій	Передзмінний скринінг стану, «хвилинки безпеки» з фокусом на концентрації
Поведінкові	Емоційна нестабільність, агресія або апатія	Порушення комунікації в бригаді, ігнорування ЗІЗ	Програми психологічної підтримки, навчання лідерів команд навичкам емпатії

Наукова новизна підходу полягає у переході від реактивного реагування (розслідування нещасних випадків) до проактивного виявлення психоемоційних відхилень. Пропонується модель «Багаторівневого бар'єра безпеки», яка включає:

- Первинний рівень: Включення до процедури передзмінного огляду експрес-тестування на рівень стресу та втоми (аналогічно до перевірки на алкогольне сп'яніння, але з використанням психометричних шкал або автоматизованих систем аналізу зіниць).
- Вторинний рівень: Інституціоналізація ролі «Ментора з безпеки» (Safety Mentor) у бригадах – співробітника, який пройшов навчання з надання першої психологічної допомоги і може ідентифікувати небезпечний стан колеги до початку робіт.
- Третій рівень: Адаптація робочого середовища (інженерні рішення щодо шумопоглинання) для зниження сенсорного навантаження на ветеранів та працівників з ПТСР.

Розроблено алгоритм управління психосоціальними ризиками в СУОП, який ілюструє, що психологічна безпека є не окремим напрямком HR, а невід'ємною частиною інженерної безпеки праці.

**Висновки:**

- Ігнорування психосоціальних ризиків в умовах війни робить систему охорони праці неефективною, оскільки навіть справне обладнання не гарантує безпеки при помилках оператора.
- Впровадження елементів ISO 45003:2021 дозволить не лише знизити рівень травматизму, але й зберегти кадровий потенціал, реалізуючи стратегію сталого розвитку та соціальної відповідальності бізнесу.
- Запропонований комплекс заходів (скринінг, менторство, адаптація середовища) є практичним інструментом реалізації концепції “Vision Zero” (Нульового травматизму) в умовах сучасних викликів.

**Перелік використаних джерел**

1. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 35 с.
2. ISO 45003:2021. Occupational health and safety management – Psychological health and safety at work – Guidelines for managing psychosocial risks. Geneva: ISO, 2021. 24 p.
3. Цопа В. А. Управління ризиками в системах менеджменту охорони праці: монографія. Дніпро: Журфонд, 2018. 320 с.
4. Mental Health at Work: Policy Brief. World Health Organization & International Labour Organization. Geneva, 2022. 12 p.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРСОНАЛУ В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ ПРЕДМЕТАМИ**

**Кравчук І. В.**

*студентка гр. БП-24-1М*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кружилко О. Є.**

*д.т.н., професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Вступ. Функціонування підприємств гірничо-металургійного комплексу (ГМК) України в умовах воєнного стану супроводжується принципово новими ризиками. Систематичні ракетно-артилерійські обстріли промислових регіонів призводять до забруднення територій заводів та кар'єрів вибухонебезпечними предметами (ВНП): уламками ракет, бойовими частинами БПЛА, що не здетонували, та касетними елементами. Специфіка металургійних об'єктів (величезні площі, відвали, колії) унеможливорює щоденну повну перевірку території саперами ДСНС. Відповідальність за безпеку працівників фактично лягає на систему управління охороною праці (СУОП) підприємства.

Актуальність теми. Відсутність у посадових інструкціях та планах ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) чітких алгоритмів дій при виявленні ВНП створює пряму загрозу життю персоналу. Особливо вразливими категоріями є ремонтні бригади, шляховики, енергетики та працівники складського господарства.

Метою роботи є розробка методології інтеграції елементів протимінної безпеки (відповідно до стандартів IMAS) у систему охорони праці промислового підприємства для мінімізації ризиків виробничого травматизму військового характеру.

Аналіз проблематики. Головною проблемою є неможливість застосування стандартних методів ідентифікації ризиків ISO

45001 до військових загроз. Виділено три специфічні фактори небезпеки на виробництві:

1. Фактор «відкладеної смерті»: Сучасні боєприпаси можуть мати механізми самоліквідації або бути в зведеному стані, детонуючи від найменшої вібрації. Робота важкої техніки поруч із місцем падіння уламка може спровокувати вибух без прямого контакту.

2. Візуальна мімікрія: На фоні металобрухту, шлаку або руди уламки боєприпасів важко ідентифікувати. Працівники часто плутають ВВП з виробничими відходами.

3. Недоступність для огляду: Дахи цехів, галереї конвеєрів та газопроводи на висоті часто стають місцями накопичення уламків після роботи ППО, створюючи загрозу падіння або вибуху під час ремонтних робіт.

Запропоновані рішення. На основі аналізу міжнародних стандартів протимінної діяльності (IMAS 08.10 «Нетехнічне обстеження»), розроблено трирівневий алгоритм забезпечення безпеки на підприємстві.

Етап 1. Попереджувальний моніторинг (Non-technical Survey). Впровадження процедури обов'язкового огляду території за допомогою БПЛА (дронів) після кожного сигналу «Повітряна тривога», якщо було зафіксовано роботу ППО або прильоти. Це дозволяє дистанційно виявити підозрілі об'єкти на дахах та відкритих майданчиках без ризику для людей.

Етап 2. Зонування території (Risk Mapping). Пропонується динамічна карта підприємства з поділом на зони:

- «Червона зона»: Місце виявлення ВВП + буферна зона (радіус не менше 100–300 м). Доступ персоналу та техніки заборонено.

- «Жовта зона»: Території, які ще не перевірені після обстрілу. Роботи допускаються лише після візуального огляду відповідальною особою (майстром), що пройшла навчання.

- «Зелена зона»: Перевірені маршрути руху та робочі місця.

Етап 3. Навчання та інформування (MRE – Mine Risk Education). Інтеграція курсу MRE у вступні та періодичні інструктажі з ОП. Ключова вимога: заборона використання мобільних телефонів

---

та радіозв'язку на відстані ближче 50 метрів до підозрілого предмета (радіохвилі можуть ініціювати радіокеровані підрильники).

Організаційні зміни в СУОП. Запропоновано доповнити стандартну процедуру «Наряд-допуск» новим пунктом: «Перевірка відсутності ВВП на місці проведення робіт». Відповідальний керівник робіт зобов'язаний особисто переконатися у відсутності сторонніх предметів перед допуском бригади, особливо при виконанні земляних робіт або робіт на покрівлях.

Висновки.

- Традиційні підходи до охорони праці не забезпечують захисту від військових ризиків. Необхідна термінова актуалізація інструкцій з урахуванням норм Кодексу цивільного захисту.
- Впровадження безконтактних методів обстеження (дрони) та жорстке зонування території є єдиним способом зниження ризиків.
- Культура безпеки має трансформуватися від принципу «побачив – приборав» до принципу «побачив – відійшов – повідомив».

#### **Перелік використаних джерел**

1. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI.
2. Закон України «Про протимінну діяльність в Україні» від 06.12.2018 р. № 2642-VIII.
3. IMAS 05.10. Information Management for Mine Action. Geneva: GICHD, 2020.
4. Тищенко О. М. Безпека праці при виконанні робіт на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами : навч. посібник. Київ : НУЦЗУ, 2023. 145 с.
5. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems.

**ЗАХОДИ З МІНІМІЗАЦІЇ ВПЛИВУ НА ПОВІТРЯ  
ПРИ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБОТАХ  
НА ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОМУ КОМБІНАТІ**

**Кукса Р. К.**

*студент гр. ТЗ-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Максимова Н. М.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Романь А. М.**

*к.біол.н., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Здійснення навантажувально-розвантажувальних робіт на гірничо-збагачувальному комбінаті супроводжується значним утворенням пилу. Це, насамперед, пов'язано з механічними ударами, тертям матеріалу об металеві елементи, падінням руди у бункери, перевантаженням зі стрічки на стрічку, а також з процесом транспортування відкритими думпкарами до дробильної фабрики.

Комплекс циклічно-потокової технології забезпечує конвеєрне транспортування руди з кар'єру на поверхню, з подальшою доставкою на дробильну фабрику. Із забою основний обсяг руди доставляється автотранспортом до приймальних пристроїв циклічно-потокової технології з подальшою доставкою залізничним транспортом у зовнішній відвал кар'єру.

Технологічний процес завантаження матеріалу у думпкари супроводжується інтенсивним виділенням пилу.

На підприємствах важкої промисловості, як правило, впроваджуються багатоступеневі аспіраційні системи.

Наприклад, в дробильних і помольних установках, під час пневмотранспортування сипких матеріалів набули поширення такі універсальні моделі пиловловлювачів, як циклони ЦН 15 [1]. ГОУ призначене для видалення з газоподібного середовища частинок сухого пилу.

Збільшення діаметру циклону, за умови незмінної тангенціальної швидкості вхідного потоку, зменшується відцентрова сила, що обумовлює зниження ефективності очищення. Окрім цього, з метою зменшення висоти високопродуктивних циклонів, застосовуються групові та батареїні циклони.

Групові циклони мають загальний колектор із потоком забрудненого газу, загальний збірник очищеного газу і загальний пиловий бункер. Відвід очищеного газу від групових циклонів здійснюють через відводи, встановлені на кожному циклоні й об'єднані загальним колектором, чи безпосередньо через загальний колектор групи [2].

В умовах дробильної фабрики, яка працює за циклічно-поточною технологією, аспірація корпусу перевантаження здійснюється за допомогою циклонів. Так, групові циклони типу ЦН-15 здатні забезпечити очищення аспіраційного повітря від залізородного пилу доволі ефективно: ~ 90 % від суспендованих твердих частинок, розміром понад 10 мкм, та ~ 90–96 % від суспендованих твердих частинок, розміром більше 30 мкм.

Тому залишається актуальним питанням підвищення ефективності пиловловлення на таких вузлах перевантаження, як корпуси навантаження руди в думпкари, які характеризуються інтенсивним пиловиділенням.

### **Перелік використаних джерел**

1. Циклони. ЦН-15. Київський вентиляторний завод : вебсайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089217-96#Text> (дата звернення: 05.11.2025).
2. Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології. Перша частина. Захист атмосфери : ел. навчальний посібник. Вінниця : Вінницький національний

технічний університет, 2010. URL: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmd/severin\\_priodoohoronn\\_tehnologii/2-5.html](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmd/severin_priodoohoronn_tehnologii/2-5.html) (дата звернення: 05.11.2025).

## **РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ НА ПІДПРИЄМСТВІ**

**Лубінець М. М.**

*студент гр. БП-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Майстренко В. В.**

*к.т.н., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Охорона праці є ключовим елементом системи управління будь-яким підприємством, що забезпечує збереження життя та здоров'я працівників, стабільність виробничого процесу й конкурентоспроможність у сучасних умовах. Особливо це актуально для металургійної промисловості, де працівники постійно зазнають впливу небезпечних і шкідливих факторів: високих температур, розплавленого металу, пилу, газів, підвищеного шуму, роботи на висоті, великогабаритного рухомого обладнання.

Проте у сучасну епоху цифрової трансформації та розвитку індустрії 4.0 традиційні заходи охорони праці вже не забезпечують достатнього рівня превентивності. Вони здебільшого реагують на наслідки, а не запобігають ризикам. Для більш ефективного управління безпекою важливо застосовувати інноваційні технології – системи, здатні прогнозувати загрози, контролювати їх у режимі реального часу, зменшувати шкідливий вплив виробничих факторів, автоматизувати процеси навчання та моніторингу персоналу.

До іноваційних технологій відносять:

- роботизовані системи для виконання небезпечних робіт;
- носимі пристрої (smart PPE) з датчиками фізіологічного стану працівника;
- системи відеоаналітики з для виявлення порушень безпеки;
- VR/AR-тренажери для навчання без ризику для здоров'я;
- газоаналізатори та сенсори IoT, що передають інформацію у центр моніторингу;
- цифрові платформи EHS для обліку інцидентів і ризиків;
- дрони для інспекції небезпечних зон.

Завдяки таким технологіям на підприємстві формується проактивна система управління безпекою, що дозволяє прогнозувати небезпеки на основі зібраних даних і попереджати інциденти.

Світові практики (Японія, США, Німеччина, Нідерланди) доводять, що цифрові інструменти здатні знизити рівень травматизму на 30–70 %, підвищити оперативність реагування на події і мінімізувати людський фактор.

У національному контексті Україна також робить кроки у напрямі іноваційної безпеки: великі підприємства впроваджують мобільні додатки безпеки, електронні журнали інструктажів, VR-навчання, системи контролю допуску до небезпечних робіт.

На основі аналізу було виявлено, що найбільші ризики пов'язані з:

- впливом чадного газу CO;
- перебуванням у зоні розливу розплавленого металу;
- роботами на висоті;
- впливом пилу шлаків та аерозолів металів;
- перегрівом організму працівників у гарячих цехах.

Результати розрахунків показали, що хоча коефіцієнт частоти травм невисокий, коефіцієнт тяжкості травматизму ( $K_t = 38$ ) залишається високим. Це говорить про необхідність посилення превентивної безпеки та постійного контролю шкідливих факторів.

З метою зниження ризиків запропоновано низку іноваційних заходів:

- Запровадження Smart PPE:
- каски з GPS та сигналом тривоги при падінні працівника;

- датчики токсичних газів і перегріву на спецодязі;
- трекінг переміщення у небезпечних зонах.
- Системи відеоаналітики та автоматичного контролю доступу:
  - блокування входу у зону розливу металу без відповідних ЗІЗ;
  - розпізнавання небезпечної поведінки працівника камерами.
  - Інтелектуальний моніторинг середовища:
    - IoT-газоаналізатори CO з аварійним відключенням процесів;
      - тепловізійний контроль обладнання та температури робочих зон.
    - Удосконалення умов праці:
      - модернізація вентиляційних систем у гарячих цехах;
      - LED-освітлення з датчиками руху для забезпечення видимості.
      - Аудит безпеки за допомогою дронів:
        - обстеження важкодоступних ділянок без ризику для персоналу.
        - Платформа цифрового управління безпекою (EHS):
          - облік нещасних випадків та порушень;
          - проактивна оцінка ризиків із застосуванням Big Data.

Застосування цих інновацій дозволить скоротити ризики до прийняттого рівня, підвищити оперативність реагування на інциденти, а також значно зменшити навантаження на службу охорони праці.

Крім технічних заходів, важливим є формування культури безпеки, яка включає мотивацію та навчання персоналу, застосування віртуальних тренажерів, розвиток поведінкових практик BBS.

Інновації в охороні праці – це не лише технологічні рішення, а комплексна стратегія, яка поєднує управління ризиками, організаційну культуру та цифрові інструменти. Вони допомагають підприємству бути більш ефективним, конкурентним і соціально відповідальним.

Для підприємства впровадження інновацій означає:

- підвищення рівня захищеності працівників;

- зниження виробничих витрат;
- оптимізацію технологічних процесів;
- поліпшення іміджу та відповідності міжнародним стандартам.

Таким чином, інноваційні технології є визначальною умовою розвитку сучасної системи охорони праці, спрямованої на запобігання травматизму, створення безпечного середовища і забезпечення збереження людського життя як найвищої цінності.

### **Перелік використаних джерел**

1. Міністерство праці Сінгапуру. Workplace Safety and Health Guidelines [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mom.gov.sg>.
2. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.osha.gov>.
3. OHSAS 18001:2007. Occupational Health and Safety Management Systems. London : BSI, 2007. 25 p.
4. Платформа Research4Life [Електронний ресурс]. URL: <https://www.research4life.org>.
5. Щербина С. М. Інноваційні технології безпеки праці в умовах цифровізації. *Вісник ХНАДУ*. 2023. № 4. С. 85–91.

## **ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АСПІРАЦІЇ ТА ГАЗООЧИСНОЇ УСТАНОВКИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Манахова Г. О.**

*студентка гр. ТЗ-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Максимова Н. М.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Накемній О. К.**

*старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасне ливарне виробництво характеризується значним техногенним навантаженням на навколишнє середовище, зокрема на атмосферне повітря. У процесі виплавки металу, приготування формувальних сумішей та інших технологічних операцій в атмосферу надходить значна кількість забруднюючих речовин, серед яких оксиди вуглецю, сірки, азоту, тверді частинки пилу та інші шкідливі сполуки. Ефективна система аспірації та газоочищення є необхідною умовою для забезпечення екологічної безпеки підприємства та дотримання санітарно-гігієнічних норм у виробничих приміщеннях [1].

Проблема очищення газових викидів ливарних підприємств набуває особливої актуальності в контексті посилення екологічних вимог та впровадження принципів сталого розвитку у промисловості. Сучасні технології газоочищення повинні забезпечувати не лише високу ефективність вилучення забруднюючих речовин, але й характеризуватися економічною доцільністю та енергоефективністю [2].

Спектр забруднюючих речовин, що утворюються у ливарному виробництві, включає як неорганічні, так і органічні сполуки різного ступеня токсичності. Основними неорганічними забруднювачами є тверді частинки пилу, оксиди вуглецю, азоту та сірки, сполуки важких металів [2].

Впровадження ефективних систем газоочищення на ливарному виробництві забезпечує дотримання екологічних нормативів та забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці.

Система аспірації ливарного виробництва призначена для організованого відведення забруднених газів від технологічного обладнання та забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища у виробничих приміщеннях. Система включає мережу газоходів, аспіраційні укриття над джерелами виділень, димососи та газоочисне обладнання [3].

Наприклад, аспіраційні укриття електродугової печі виконуються як витяжні зонти, що розташовані над рівнем подини печі. Конструкція зонта повинна забезпечувати ефективне уловлювання газів, що виділяються при плавці, та мінімізує підсос зовнішнього повітря.

Транспортування газів від аспіраційних укриттів до газоочисного обладнання здійснюється по системі газоходів. Для зниження тепловтрат та конденсатоутворення газоходи ізолюють мінераловатними плитами. Швидкість руху газів у газоходах підтримується в межах 15–20 м/с для запобігання осадженню пилу. Для подачі газів на очищення використовуються димососи.

Система аспірації, як правило, забезпечується автоматизованою системою контролю та управління, що включає датчики тиску, температури та концентрації забруднюючих речовин. Дані з датчиків передаються на диспетчерський пункт, де здійснюється моніторинг роботи системи та оперативне регулювання параметрів.

Газоочисна установка ливарного виробництва зазвичай є багатоступеневою: попереднє уловлювання крупнодисперсного пилу в циклонах та тонке очищення в рукавних фільтрах. Така схема забезпечує високу ефективність очищення при відносно низьких експлуатаційних витратах.

В умовах ливарного виробництва, як першу ступінь очищення, часто використовують групові циклони. Ефективність уловлювання циклонів за частинками розміром більше 20 мкм може сягати 95–98 %.

Принцип роботи циклонів базується на дії відцентрових сил, що виникають при закрученому русі газового потоку. Забруднений газ надходить у циклон через тангенціальний патрубок у верхній частині корпусу та рухається по спіральній траєкторії донизу. Під дією відцентрових сил частинки пилу відкидаються до стінок циклону та осідають у нижній конічній частині, звідки видаляються через шлюзовий затвор.

Очищений газ виходить через осьову трубу у верхній частині циклону та надходить на другу ступінь очищення. Для підвищення ефективності роботи циклонів передбачена можливість зрошення стінок водою, що запобігає налипанню пилу та полегшує його видалення [4].

Друга ступінь очищення часто реалізована у вигляді рукавного фільтра. Робочий цикл рукавного фільтра включає процеси фільтрації та регенерації. При фільтрації забруднений газ проходить через стінки рукавів, при цьому частинки пилу затримуються на зовнішній поверхні фільтрувального матеріалу, утворюючи пиловий шар. Очищений газ відводиться через внутрішню порожнину рукавів у чисту камеру фільтра. Поширення набули рукавні фільтра з регенерацією фільтрувальних рукавів шляхом зворотної продувки стисненим повітрям.

Видалення пилу з бункерів циклонів та рукавного фільтра здійснюється за допомогою пневматичної системи транспортування до силосів для тимчасового зберігання. Уловлений пил використовується як вторинна сировина для виготовлення агломерату або реалізується стороннім організаціям.

Ефективна робота газоочисної установки забезпечується сучасною системою автоматизованого контролю та управління, що включає контрольно-вимірювальні прилади, засоби автоматики та диспетчерську систему збору даних.

Система автоматичного управління процесом регенерації рукавного фільтра включає програмований логічний контролер, що забезпечує послідовну продувку секцій фільтра згідно з заданим алгоритмом. Можливе як автоматичне управління за сигналом від датчика перепаду тиску, так і ручне управління з диспетчерського пульта [5].

Диспетчерська система збору даних може бути побудована, наприклад, на базі SCADA-системи, що забезпечує візуалізацію технологічного процесу, архівування параметрів роботи обладнання та формування звітів для екологічних служб. Система дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг роботи газоочисної установки та оперативно реагувати на відхилення від нормальних режимів роботи.

Оцінка ефективності роботи газоочисної установки здійснюється на основі систематичних інструментальних вимірювань концентрацій забруднюючих речовин на вході та виході обладнання, розрахунку ступеня очищення та порівняння фактичних показників з проектними характеристиками [6].

За умови роботи в штатному режимі технологічного обладнання на ливарному виробництві, як правило, фактичні концентрації забруднюючих речовин у очищених газах значно нижчі встановлених нормативів. Наприклад, середні концентрації пилу, зазвичай, не перевищує  $25 \text{ мг/м}^3$  при нормативі  $150 \text{ мг/м}^3$ , монооксида вуглецю –  $250 \text{ мг/м}^3$  при нормативі  $500 \text{ мг/м}^3$ . Валові викиди пилу, як правило, менші дозволених річних обсягів. Це є оцінкою ефективності природоохоронних заходів.

На основі проведеного аналізу можна сформулювати наступні рекомендації щодо оптимізації роботи системи газоочищення. По-перше, доцільно встановити автоматичне регулювання продуктивності димососів залежно від режиму роботи плавильних агрегатів, що дозволить знизити енерговитрати та підвищити стабільність роботи системи.

По-друге, рекомендується модернізація системи попереднього охолодження газів перед надходженням на рукавні фільтри. Зниження температури газів з  $200\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $120\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$

дозволить підвищити ресурс роботи фільтрувальних рукавів та знизити експлуатаційні витрати.

По-третє, доцільно впровадження системи безперервного моніторингу викидів з передачею даних до регіональних екологічних служб в режимі реального часу. Це забезпечить прозорість екологічної діяльності підприємства та сприятиме дотриманню природоохоронного законодавства [7].

По-четверте, рекомендується періодичне проведення енергетичних обстежень газоочисного обладнання з метою виявлення резервів енергозбереження. Оптимізація аеродинаміки газоходів та модернізація димососів може забезпечити зниження енерговитрат на 15–20 %.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Bermúdez J. M., Arenillas A., Luque R., Menéndez J. A. An overview of novel technologies to valorise coke oven gas surplus. *Fuel Processing Technology*. 2013. Vol. 110. P. 150–159.
2. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Донецьк : Український науковий центр технічної екології, 2004. Т. 1. 184 с.
3. Trembach T. F., Klymenko A. G. Solutions for the reconstruction of coke sorting aspiration systems. *Journal of Coal Chemistry*. 2023. № 6. P. 23–28.
4. Природоохоронні технології та ін. Ч. 1 : Захист атмосфери : навчальний посібник / Л. І. Северин. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с.
5. Bermúdez J. M., Arenillas A., Luque R., Menéndez J. A. An overview of novel technologies to valorise coke oven gas surplus. *Fuel Processing Technology*. 2013. Vol. 110. P. 150–159.
6. ГОСТ 17.2.4.05-83 «Охрана природы. Атмосфера. Гравіметричний метод визначення частинок пилу у повітрі».
7. Природоохоронні технології та ін. Ч. 1 : Захист атмосфери : навчальний посібник / Л. І. Северин. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с.

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА КОКСОХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

**Мінченкова А. Г.**

*студентка гр. ТЗ-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Накемпій О. К.**

*старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Коксохімічна промисловість є одним із найбільш ресурсо- та екологічно навантажених секторів металургійного комплексу. Під час коксування кам'яного вугілля утворюються значні об'єми стічних вод, що містять широкий спектр токсичних органічних та неорганічних сполук. Серед них домінують феноли, ціаніди, амонійний азот, нафталінові та смолисті компоненти, які формують високий рівень хімічного та біохімічного споживання кисню. Вплив таких стоків без належного очищення спричиняє деградацію водних екосистем та порушення гідрохімічного режиму природних водойм [1]. У зв'язку з цим підвищення ефективності очищення коксових стічних вод є одним із ключових завдань забезпечення екологічної безпеки промислових територій. Проте складність і мінливість хімічного складу цих стоків вимагають комплексного підходу до вибору технологічних методів. Саме тому важливо розглянути особливості формування стічних вод, систематизувати наявні підходи до їх очищення та визначити напрями модернізації. Логічним продовженням аналізу проблеми є характеристика складу коксових стічних вод, яка дозволяє встановити вимоги до технологічних рішень.

Склад стічних вод коксохімічних підприємств формується під впливом сукупності технологічних процесів, зокрема охолодження коксового газу, уловлювання смолистих фракцій, вилучення аміаку та бензольних компонентів. Ці стоки

характеризуються надзвичайно високою різноманітністю забруднювальних речовин, серед яких органічні сполуки фенольного ряду, смоли, нафталін, а також амонійний азот та ціаністі сполуки. Хімічний склад таких стоків зазвичай супроводжується підвищеними значеннями БСК та ХСК, що ускладнює їх біологічну обробку та потребує поєднання декількох технологічних етапів [2].

Розуміння цих особливостей є ключем до вибору комплексних технологій очищення, оскільки жоден окремий метод не забезпечує повне вилучення всього спектра токсикантів. Виходячи з цього, доцільним є розгляд сучасних схем очищення, які поєднують механічні, фізико-хімічні та біологічні процеси. Такий перехід дозволяє оцінити логіку формування загальної технологічної лінії очищення.

З огляду на складність коксових стоків, їх очищення відбувається поетапно, що забезпечує поступове зниження концентрацій основних груп забруднювачів. Перший етап – механічне очищення – має на меті вилучення грубодисперсних та смолистих частинок, що забезпечує попереднє зниження навантаження на подальші технологічні блоки. Механічне очищення дозволяє зменшити вміст завислих речовин на 40–60 %. Хоч цей етап і не забезпечує значного зниження токсичних компонентів, він створює необхідні умови для ефективного виконання наступних технологічних процесів. Далі стічні води спрямовуються на фізико-хімічне очищення, яке є ключовим для видалення фенолів, аміаку та ціанідів. Найбільш поширеними методами є коагуляція, флотація, екстракція фенолів та реагентне окиснення. Окрім того, інтенсивно застосовується стріппінг аміаку. Завдяки цим процесам ефективність вилучення фенольних сполук може досягати 95 %, а амонійного азоту – понад 80 %. Однак навіть попри високу результативність деякі токсиканти, зокрема ціаніди та тіоціанати, залишаються стійкими до фізико-хімічних перетворень. Логічним продовженням фізико-хімічної обробки є застосування біологічних методів, які забезпечують подальше зниження органічного навантаження завдяки активності мікроорганізмів. Біореактори з активним мулом або біофільтри здатні розкласти значну частину органічних

речовин, зменшуючи ХСК на 70–80 %, а феноли – до рівня менше 1 мг/дм<sup>3</sup>. Важливою перевагою біологічних методів є можливість нітрифікації та часткової денітрифікації, що сприяє зменшенню азотного навантаження на водні екосистеми. Однак ефективність цього етапу залежить від стабільності параметрів середовища, тому він часто потребує додаткового доочищення, яке зумовлює потребу в сучасніших технологічних рішеннях. На завершальному етапі можна застосовувати адсорбцію на активованому вугіллі, мембранні технології або методи глибокого окиснення. Саме ці процеси забезпечують доведення стічних вод до нормативів, встановлених для скиду в природні водойми. Доочищення є критично важливим, оскільки саме на цьому етапі видаляються ті токсиканти, що залишаються стійкими до попередніх методів [3, 4].

Аналіз наукових і виробничих джерел свідчить, що комбіноване очищення дозволяє досягати таких середніх показників, як зниження концентрації фенолів на 98–99 %, зменшення амонійного азоту на 95–97 %, зниження ХСК на 80–90 %. Водночас наявність складних хімічних сполук, зокрема ціанідів, зумовлює потребу подальшого вдосконалення технологій. Саме на цьому етапі виникає потреба у визначенні перспектив модернізації, що впливає з аналізу обмежень існуючих методів.

Ефективність сучасних схем очищення значною мірою залежить від технологічної гнучкості та здатності адаптуватися до змін складу стоків. У цьому контексті перспективними є такі напрями:

1. Впровадження мембранних біореакторів, які забезпечують одночасне біологічне очищення та мембранну сепарацію, що значно покращує якість очищеної води та підвищує стабільність роботи системи.

2. Застосування процесів глибокого окиснення з метою деструкції стійких органічних сполук і ціанідів.

3. Інтегровані схеми нітрифікації-денітрифікації, що дозволяють досягати нормативних показників за вмістом азоту.

4. Автоматизація управління процесами очищення, включно з он-лайн моніторингом токсикантів.

Реалізація цих напрямів забезпечує можливість підвищення технологічної та екологічної надійності роботи очисних споруд.

Очищення стічних вод коксохімічних підприємств є складним багатоступеневим процесом, який потребує оптимального поєднання різних технологічних рішень. Незважаючи на високі показники вилучення фенолів, амонійного азоту та органічних речовин, традиційні технології виявляються недостатньо ефективними щодо ціанідів та інших стійких токсикантів. Тому модернізація очисних систем із використанням мембранних, окиснювальних та інтегрованих біологічних процесів є ключовою умовою забезпечення екологічної безпеки коксохімічного виробництва та відповідності сучасним екологічним вимогам.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Шульга І. В., Мірошниченко Д. В., Богоявленська О. В. Основи технології коксування вугілля : посібник. Харків – Тернопіль : НТУ «ХПІ», Видавництво «Крок», 2022. 128 с.
2. Накемпій О. К., Володченкова Н. В. Перспективні методи очищення стічних вод коксового виробництва. *Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки* : збірник матеріалів Двадцять восьмої Всеукраїнської науково-методичної конференції (з участю студентів), м. Київ, 17 травня 2023 року. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 120–122.
3. Айрапетян Т. С. Технологія очистки стічних вод : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 120 с.
4. Накемпій О. К., Романь А. М. Оцінка екологічних ризиків від технологічних процесів коксохімічного виробництва. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2022, № 38 (1-2). С. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.36804/nndipbop.38-1-2.2022.49-53>.

## **ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ РОЗЛИВУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН У КОНТЕКСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ**

**Міняйло Д. О.**

*студентка гр. ТЗ-22-1*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Чеберячко Ю. І.**

*д.т.н., професор кафедри ОП та ЦБ, науковий керівник*

*НТУ «Дніпровська політехніка»*

*м. Дніпро, Україна*

*д.т.н., професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Моделювання процесів розливу хімічних речовин є одним із ключових етапів у системах оцінки ризику та прогнозування наслідків аварійних ситуацій. Вибір адекватної моделі джерела забруднення визначає точність подальших розрахунків щодо поширення токсичних речовин у повітрі, ґрунті чи воді. Програмні комплекси, такі як ALOHA, використовують різні підходи до опису джерела, що дозволяє враховувати фізико-хімічні властивості речовини, умови середовища та характер аварії. У науковій практиці виділяють чотири базові моделі: розливу, випаровування пряме джерело, струменя та витікання з резервуара. Кожна з них має власні переваги та обмеження, що визначають сферу застосування.

Модель розливу описує утворення рідинної плями на поверхні після розливу. Її параметрами є площа розливу, температура поверхні, тепловий баланс та властивості речовини. Такий підхід застосовується у випадках аварійних розливів на ґрунті чи бетоні, а також на промислових майданчиках. Перевагою моделі є простота розрахунків та зрозуміла фізична інтерпретація процесу, проте вона не враховує складні явища, такі як розбризкування чи багатоконпонентність рідини.

Модель випаровування описує процес переходу рідини у газо-подібний стан з відкритої поверхні. Основними параметрами є тиск насиченої пари, температура, швидкість вітру та коефіцієнти масообміну. Цей підхід використовується для летких органічних сполук та токсичних рідин, що швидко утворюють пари. Перевагою моделі є висока точність у визначенні швидкості утворення парів, однак вона значною мірою залежить від метеорологічних умов і потребує точних вихідних даних.

Модель струменя описує викид речовини під тиском у вигляді струменя газу чи рідини. Її параметрами є тиск у резервуарі, діаметр отвору, швидкість потоку та напрям струменя. Такий підхід застосовується у випадках аварій з трубопроводами, балонами та високонапірними системами. Перевагою моделі є можливість врахування динаміки високошвидкісних потоків і моделювання миттєвих викидів, проте її математичний опис є складним і часто потребує використання CFD-моделювання.

Модель витікання з резервуара описує процес витікання рідини через отвір чи тріщину у резервуарі або трубопроводі. Основними параметрами є об'єм резервуара, рівень рідини, гідростатичний тиск та площа отвору. Цей підхід застосовується у випадках аварій на складах, сховищах та системах зберігання хімікатів. Перевагою моделі є адекватне відображення тривалих витоків та врахування зміни рівня рідини, однак вона не описує миттєві викиди чи розбризкування.

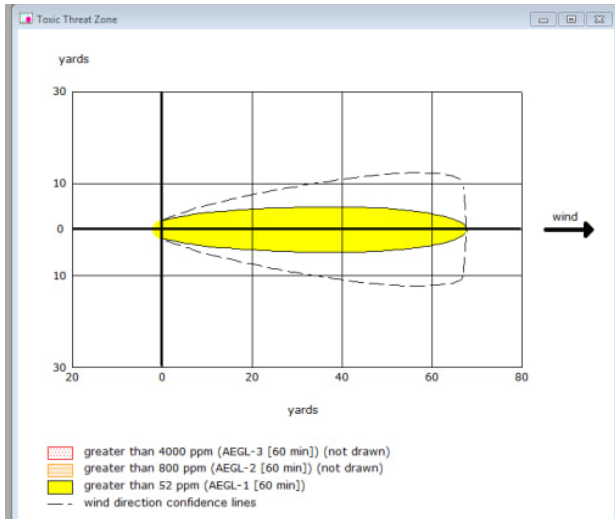
Порівняння цих чотирьох моделей демонструє, що кожна з них відповідає певному сценарію аварії. Розлив використовується для розливів на поверхні, випаровування – для летких речовин, струмів – для високого тиску, а резервуар – для тривалих витоків. Точність прогнозу поширення забруднення залежить від правильного вибору моделі, адже використання невідповідного підходу може призвести до суттєвих похибок у визначенні концентрацій та зон ураження. Водночас моделі не є взаємовиключними, а навпаки – взаємодоповнюють одна одну. У реальних аваріях часто спостерігається комбінація процесів: витікання з резервуара призводить до утворення розливу, яка

згодом випаровується, а у випадку високого тиску може утворюватися струмінь.

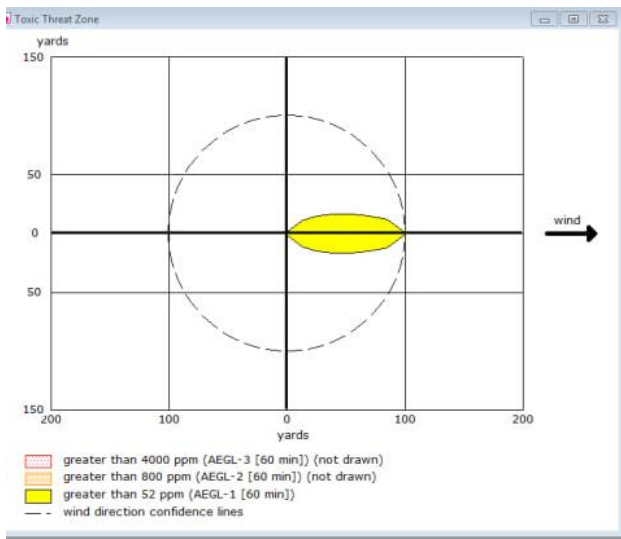
Програмний комплекс АЛОНА інтегрує ці моделі як базові блоки для розрахунку сили джерела, що є ключовим параметром у прогнозуванні поширення хмари забруднення. Наукова та практична цінність моделей полягає у можливості швидко оцінити масштаби аварії та прийняти рішення щодо захисних заходів. Їх комплексне використання забезпечує більш точне та надійне прогнозування наслідків аварійних ситуацій, що дозволяє підвищити ефективність заходів з охорони довкілля та безпеки праці, а також сприяє розвитку цифрових інструментів у природоохоронній діяльності.

Точне розуміння моделей є ключовим для правильного прогнозування процесів поширення забруднень. Кожна з них враховує низку специфічних параметрів – площу чи об'єм розливу, тиск, температуру, а також фізико-хімічні характеристики речовини. Саме ці дані дозволяють визначити швидкість випаровування або витікання із джерела. Коректне відтворення сили джерела має вирішальне значення, адже воно формує основний вхідний показник для подальших етапів моделювання забруднення атмосфери та прогнозування його розповсюдження. Усвідомлення принципів роботи таких моделей допомагає більш ефективно інтерпретувати результати, отримані за допомогою програмного комплексу АЛОНА, та застосовувати їх у практичних розрахунках.

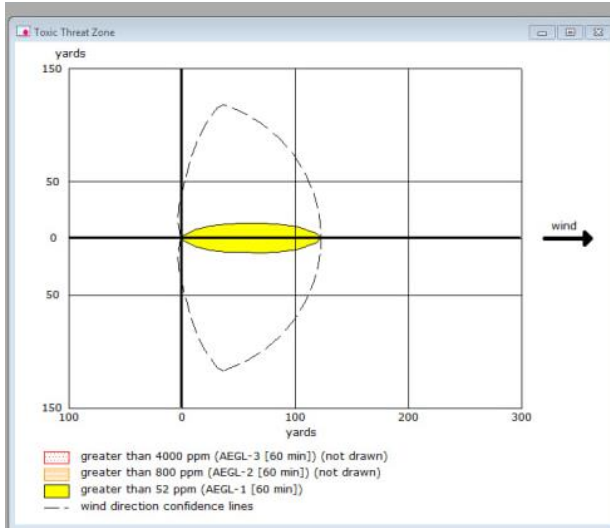
Таким чином, порівняння моделей розливу хімічних речовин підтверджує, що кожна з них має власну сферу застосування та обмеження. Їх правильне поєднання у практичних розрахунках дозволяє отримати найбільш достовірні результати, що є критично важливим для систем екологічної безпеки та управління ризиками.



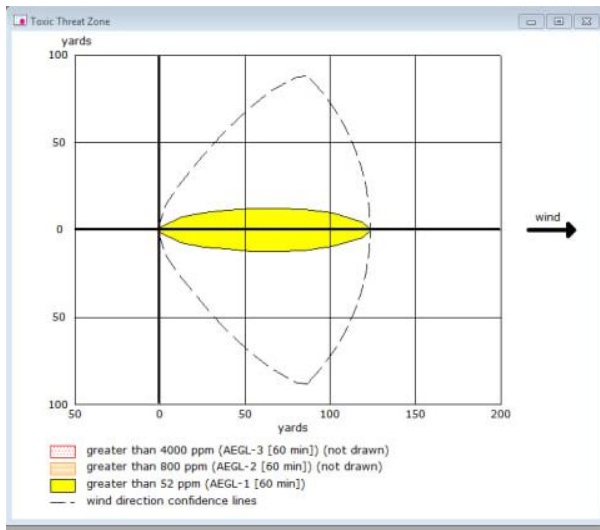
**Рис. 1. Модель випаровування розливу**



**Рис. 2. Модель випаровування з поверхні**



**Рис. 3. Модель струменя**



**Рис. 4. Модель витікання з резервуара**

**Перелік використаних джерел**

1. ALOHA Software | US EPA. URL: <https://www.epa.gov/comeo/alo-ha-software> (дата звернення: 16.11.2025).
2. Чеберячко Ю. І. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни Диджиталізація у природозахисній діяльності. URL: [https://learning.mipolytech.education/md/pluginfile.php/115101/mod\\_resource/content/0/%D0%92%D0%B8%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%83%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B8%20ALOHA.pdf](https://learning.mipolytech.education/md/pluginfile.php/115101/mod_resource/content/0/%D0%92%D0%B8%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%83%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B8%20ALOHA.pdf) (дата звернення: 16.11.2025).

## **ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ МІННОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНОГО КАЛЬКУЛЯТОРА ДЛЯ ОЦІНКИ БЕЗПЕЧНОЇ ДИСТАНЦІЇ**

**Моїсєєв Є. О.**

*студент групи ЦБМ-25-1П  
НТУ «Дніпровська політехніка»  
м. Дніпро, Україна*

**Чеберячко С. І.**

*д.т.н., професор кафедри ОП та ЦБ, науковий керівник  
НТУ «Дніпровська політехніка»  
м. Дніпро, Україна  
професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна*

**Чеберячко Ю. І.**

*д.т.н., професор кафедри ОП та ЦБ, науковий керівник  
НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна  
професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
м. Запоріжжя, Україна*

Застосунок являє собою інтерактивний вебінструмент для оцінки ризиків при роботі з вибухонебезпечними предметами. Його основною метою є методика розрахунку EOD (Explosive Ordnance Disposal)[1,2] рівня загрози, радіусів ураження вибухом, а також формування звіту у PDF-форматі для подальшого аналізу або документування ситуації.

Застосунок реалізований у вигляді однієї HTML-сторінки з вбудованою логікою на JavaScript та стилями Tailwind CSS.

На рис. 1 [3] видно що користувач може задати: масу вибухової речовини (TNT-еквівалент), відстань до об'єкта, тип вибухонебезпечного предмета, візуальні ознаки об'єкта, контекст (місцевість та обставини), описовий ярлик сценарію. Ці дані впливають на обчислення загального ризикового балу.



Рис. 1. Загальний вигляд онлайн-канкулятора

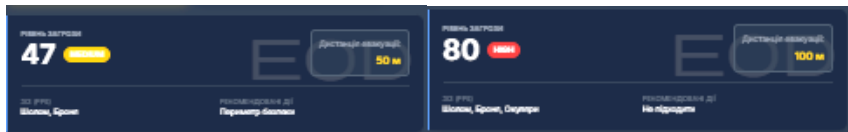


Рис. 2. Порівняння рівня загрози

Після введення даних система обчислює: загальний ризик у балах, категорію ризику [3] (LOW, MEDIUM, HIGH, CRITICAL), рекомендовані ЗІЗ, рекомендовану дистанцію евакуації, рекомендовані дії персоналу. Система використовує шкалу балів, яка формується за рахунок суми факторів об'єкта, його стану, контексту та близькості.

Програма визначає та виводить п'ять критичних зон впливу вибуху: смертельна зона, зона пошкодження легень, зона баротравми, зона небезпечних осколків, умовна межа безпеки.

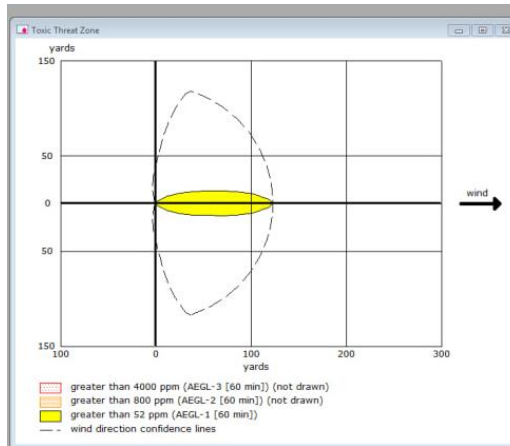
Розрахунок виконується за формулою Гопкінсона – Кранца [1, 2]:

$$R = Z \times W^{1/3}, \quad (1),$$

де  $W$  – маса TNT;  $Z$  – коефіцієнт тиску.

Також застосунок має візуалізація зон ураження у 2D та складається з: епіцентр вибуху, п'ять зон ураження різних кольорів, підписи радіусів, автоматичне масштабування під розмір екрана. Це дозволяє візуально оцінити масштаби потенційного вибуху.

У застосунку можна порівнювати різні сценарії розрахунку рис. 3.



**Рис. 3. Порівняння результатів розрахунку**

Застосунок підтримує: додавання результатів до «історії» (до 20 записів), формування таблиці попередніх розрахунків, видалення окремих записів або очищення всієї історії, автоматичне формування графіка для порівняння зон ураження між сценаріями. Графік створюється через Chart.js у вигляді стовпчастої діаграми.

Передбачено поле, де оператор може записати коментарі чи висновки щодо ситуації.

Система автоматично формує професійний PDF-звіт, який включає: заголовок і дату, деталі сценарію, таблицю факторів,

таблицю розрахованих зон, графічні порівняння, підсумкові висновки оператора, місця для підписів. PDF генерується через вбудоване вікно друку браузера.

Переваги застосунку: Повноцінна система оцінки ризику EOD з широким набором параметрів. Візуально привабливий та інтуїтивний інтерфейс завдяки Tailwind CSS. Розрахунок одразу 5 критичних зон ураження, що наближено до реальних стандартів EOD. Наявність інтерактивної історії та порівняння сценаріїв. Професійний PDF-звіт, придатний для документування навчальних ситуацій. Повністю автономна робота у браузері – не потребує встановлення чи сервера. Легко адаптувати, редагувати або перенести на інші платформи.

Сфери можливого застосування: Навчання та тренування EOD-фахівців ДСНС, військових, поліції. Навчальні симуляції для навчальних центрів, університетів, інженерних факультетів. Аналіз небезпечних ситуацій під час навчальних операцій. Підготовка протоколів та звітів у тренувальних умовах. Візуалізація небезпеки для персоналу, який працює поблизу потенційних вибухових об'єктів. Демонстрації та презентації під час курсів з інженерної справи.

Міні-застосунок є потужним та функціонально насиченим інструментом, здатним виконувати повноцінну оцінку ризиків вибухонебезпечних предметів. Він поєднує: розрахункові формули, візуалізацію, підсумкову аналітику, документування результатів. Завдяки простоті використання та широкому набору функцій застосунок ідеально підходить для навчання та тренувальних сценаріїв, забезпечуючи користувача глибокою аналітикою та наочністю.

### **Перелік використаних джерел**

1. IMAS, IMAS 09.60: Underwater Survey and Clearance of Explosive Ordnance, вид. 1. 2014. URL: [https://www.mineactionstandards.org/fileadmin/uploads/imas/Standards/English/IMAS\\_09.60\\_Ed.1.pdf](https://www.mineactionstandards.org/fileadmin/uploads/imas/Standards/English/IMAS_09.60_Ed.1.pdf) (дата перегляду: 03.03.2025).
2. GICHD, Technology Demonstration Report (TDR) for Underwater SurveyEquipment in Support of Explosive Remnants of War (ERW)

TechnicalSurvey Operations. 2015. URL: <https://www.gichd.org/publications-resources/publications/technology-demonstration-report-for-underwater-survey-equipment/> (дата перегляду: 03.03.2025).

3. Канкулятор розахунку URL: <https://do.nmu.org.ua/mod/resource/view.php?id=179769>

## **ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ ЗАМКНЕНИМ ЦИКЛОМ ВОДОПОСТАЧАННЯ**

***Савенко К. Р.***

*студентка гр. ТЗ-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Накемій О. К.***

*ст. викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Металургійні підприємства належать до найбільш водомістких галузей промисловості, адже у процесі виробництва вони споживають значні обсяги водних ресурсів. Зокрема, добове водоспоживання таких підприємств досягає близько 2,5 млн м<sup>3</sup>, що становить 15–20 % загального промислового водокористування країни. Структурний аналіз показує, що найбільша частка витрат води припадає на системи охолодження обладнання – близько 48 %, оскільки технологічні агрегати металургійного виробництва працюють при високих теплових навантаженнях. Близько 26 % води використовується для очистки та фільтрування газових викидів, що є критично важливим для зниження рівня забруднення атмосфери. Ще 12 % становлять витрати на підготовку та обробку металу, включно з термічною та хімічною

обробкою, тоді як 11 % води витрачається на транспортування продуктів та матеріалів у межах підприємства. На інші технологічні та господарські потреби припадає приблизно 3 % загального водоспоживання [1]. Не менш важливо відзначити, що частина води безповоротно втрачається внаслідок особливостей технологічних процесів і функціонування систем оборотного водопостачання. Сумарно безповоротні утрати становлять 6–8 % від загального об'єму використаної води. Крім того, певна частина води після виконання технологічних функцій перетворюється на стічні води й скидається у природні водойми, що потребує належного очищення для зниження негативного впливу на довкілля.

Аналіз структури стічних вод металургійних підприємств свідчить, що значну їх частину – 60–70 % – становлять так звані «умовно-чисті» стоки, основною особливістю яких є підвищена температура, тоді як хімічний склад залишається відносно стабільним і менш забрудненим. Решта 30–40 % води містить різноманітні домішки: завислі частинки, продукти корозії, нафтопродукти, іони важких металів, флокулянти, поверхнево-активні речовини та інші технологічні забруднювачі. Такі стоки потребують багатоступеневої системи очищення, оскільки їх пряме скидання становить екологічну загрозу. Деталізований розрахунок використання водних ресурсів залежно від виду металургійного виробництва представлено у табл. 1, що дозволяє оцінити специфіку водоспоживання на різних технологічних етапах та визначити ключові напрями оптимізації водогосподарської діяльності підприємства.

Аналіз даних таблиці 1 показує суттєву відмінність у водоспоживанні між технологічними етапами металургійного виробництва. Найбільші витрати характерні для прокатного ( $96 \text{ м}^3/\text{т}$ ) та доменного ( $60 \text{ м}^3/\text{т}$ ) переділів, а також сталеплавного виробництва ( $52 \text{ м}^3/\text{т}$ ), де вода необхідна для охолодження та промивки обладнання. Натомість агломераційне й коксохімічне виробництва мають нижчу водомісткість. Загальна питома витрата –  $240 \text{ м}^3/\text{т}$  – підкреслює значне водогосподарське навантаження та потребу в замкнених системах водопостачання.

Таблиця 1

**Розрахунок використання води залежно від виду виробництва**

Вид виробництва	Продукція, що виготовляється	Питома витрата води, м <sup>3</sup> /т		Відсотковий вміст у питомому розрахунку, %
		всього	у т. ч. свіжої	
Гірничорудне	руда	12	4,5	5,0
Агломераційне	агломерат	7,5	0,6	3,1
Коксо-хімічне	кокс	12,5	1,0	5,2
Доменне	чугун	60	4,5	25
Сталеплавне	сталь	52	3,5	21,7
Прокатне	прокат	96	5,5	40
Всього		240	20	100

Обсяг свіжої води (20 м<sup>3</sup>/т), що становить близько 8 % загальної потреби, свідчить про високий рівень обороту, одночасно вказуючи на необхідність подальшої оптимізації, зокрема зменшення втрат на випаровування та підвищення ефективності очищення.

Організація зворотного водопостачання в металургійному виробництві неможлива без високоефективних систем очищення, що забезпечують якісне видалення як механічних, так і хімічних забруднень. У типовій схемі очищення стічної води виділяють декілька ключових етапів.

Початковою та найпоширенішою ланкою є механічне очищення (решітки, пісколовки, відстійники, шламонакопичувачі). Цей етап дозволяє знизити концентрацію зважених речовин до 60–70 %, створюючи умови для ефективної роботи наступних стадій. На другому етапі здійснюється глибше очищення води, спрямоване на видалення важких металів, тонкодисперсних частинок, нафтопродуктів і колоїдів. Поєднання цих технологій забезпечує очищення до нормативних показників оборотної води та дозволяє зменшити концентрації важких металів на 70–90 % [2].

Екологічна оцінка ефективності очищення стічних вод підприємств чорної металургії визначає ступінь зниження концентрацій забруднювачів та вплив на водні екосистеми. Використання замкнених систем водопостачання дозволяє значно скоротити

споживання свіжої води та обсяг скидів у природні водойми (на 70–90 %), знижуючи гідрохімічне навантаження та ризики накопичення токсичних речовин. Особливу увагу приділено видаленню важких металів, нафтопродуктів і завислих речовин, які після механічного, фізико-хімічного та мембранного очищення зменшуються у 2–10 разів, досягаючи нормативних показників для повторного використання. Важливим є також контроль вторинних екологічних ризиків, пов'язаних із накопиченням шламів, та забезпечення дотримання гранично допустимих концентрацій забруднювачів. Такий комплексний підхід дозволяє оцінити екологічну безпеку виробництва та обґрунтувати модернізацію систем очищення для підвищення ефективності водоохоронних заходів [3].

Проведений аналіз свідчить, що металургійні підприємства є одними з найбільш водомістких виробництв, при цьому найбільші витрати води спостерігаються на прокатному, доменному та сталеплавильному переділах. Загальна питома витрата води – 240 м<sup>3</sup>/т, що підтверджує високий рівень обороту води та ефективність замкнених систем водопостачання. Застосування замкненого циклу водопостачання дозволяє скоротити обсяг скидів у природні водойми на 70–90 %, зменшити гідрохімічне навантаження та ризики накопичення токсичних речовин, а також контролювати вторинні екологічні ризики, пов'язані з накопиченням шламів. Таким чином, впровадження комплексних систем очищення стічних вод та замкнених циклів водопостачання є ефективним інструментом підвищення екологічної безпеки металургійних підприємств, оптимізації водоресурсів і зменшення негативного впливу виробництва на довкілля.

### **Перелік використаних джерел**

1. Шульга І. В., Мірошніченко Д. В., Богоявленська О. В. Основи технології коксування вугілля : посібник. Харків – Тернопіль : НТУ «ХПІ» ; Видавництво «Крок», 2022. 128 с.
2. Айрапетян Т. С. Технологія очистки стічних вод : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 120 с.

3. Зеленін Ю. Екологізація розвитку металургії. *Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку* : зб. матеріалів Х Міжнар. наук.-практ. конф., 28 берез. 2025 р. Київ : КНЕУ, 2025. С. 163–166.

**ПЕРСОНІФІКОВАНА ПРЕВЕНЦІЯ:  
НОВІТНІЙ ПІДХІД У ЗАПОБІГАННІ  
ПРОФЕСІЙНИМ ЗАХВОРЮВАННЯМ**

***Сердюк О. С.***

*студентка гр. БП-23-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

***Шароватова О. П.***

*к.п.н., доцент, науковий керівник, доцент кафедри підвищення кваліфікації*

*та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту*

*Національного університету цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

*доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Оскільки праця є ключовим чинником буття для значної частини населення, професійне здоров'я є важливою складовою загального суспільного здоров'я. Величезна кількість працівників піддається впливу різноманітних шкідливих виробничих факторів, а традиційні підходи організації безпечного робочого середовища часто не дають змоги гарантувати безпеку і здоров'я всім [1].

Аналіз даних свідчить, що частка «втраченого здоров'я» (років життя, що прожиті з інвалідністю через професійні чинники) є доволі значною, що підкреслює соціальну та економічну значущість проблеми професійних захворювань. На жаль, традиційні,

«масові» підходи до охорони праці вже не завжди є достатніми, щоб вирішувати нові, дедалі зростаючі виклики [2].

Сучасна профілактика професійних захворювань передбачає локалізацію процесів у закритих камерах, високоефективні системи фільтрації, індивідуальний моніторинг впливів на працівника. Новітні тенденції спрямовані на раннє виявлення та попередження ризиків, цифрову трансформацію безпеки, захист від нових технологічних факторів, інтеграцію психологічного добробуту у систему безпеки праці. Головною метою стає створення виробничого середовища, де здоров'я працівника є центральною цінністю, а захворювання попереджаються ще до моменту виникнення.

Підхід, за якого профілактичні заходи формуються з урахуванням індивідуальних особливостей конкретного працівника, а не лише виробничих умов, – це персоніфікована превенція. Вона базується на аналізі стану здоров'я та медичної історії працівника, його генетичної схильності до певних хвороб, рівня індивідуальної чутливості до шкідливих факторів, психофізіологічних характеристик, поведінкових моделей (сон, стрес, навантаження). Таким чином профілактика перестає бути «масовою» і стає точною, адаптованою і проактивною.

Персоніфікована профілактика стає трендом майбутнього. Найближчими роками очікується інтеграція генетичних тестів у медогляди, тотальна цифровізація профілактичних програм, персональні цифрові «паспорти ризику», ШІ-моделі, що прогнозують ризики для конкретного працівника, поєднання виробничої безпеки, медицини та способу життя.

Персоніфікована профілактика стає фундаментом сучасної медицини праці, оскільки дозволяє попереджувати новітні професійні захворювання точніше, швидше й ефективніше, ніж будь-коли раніше. У межах динамічних фізіологічних показників використовуються рівень втоми, стан серцево-судинної системи, рівень стресу (варіабельність серцевого ритму), реакція організму на температуру, фізичні навантаження чи вібрацію. Психологічні та поведінкові детермінанти відображають стресостійкість,

толерантність до монотонної роботи, рівень уважності та швидкість реакції, ризик емоційного вигорання. Це важливо у професіях, де людський фактор є критичним, а такі дані дозволяють створювати персональні профілі ризику.

Перевагами персоніфікованої профілактики можна вважати: максимальну ефективність (профілактичні заходи відповідають реальним ризикам конкретної людини); можливість ідентифікувати і зменшити ризики саме для конкретної людини (враховуючи стан здоров'я, вразливості, специфіку праці); адаптацію умов праці до реальних потреб працівника (режим, захист, психологічна підтримка, санітарно-гігієнічні заходи); раннє виявлення патологічних змін ще до появи симптомів; цільове використання ресурсів (ЗІЗ, медичний нагляд, технічні рішення); зменшення кількості професійних хвороб, особливо хронічних; підвищення продуктивності праці завдяки індивідуальним рекомендаціям; формування культури відповідального ставлення до власного здоров'я; підвищення ефективності системи безпеки праці (не просто формальна перевірка, а справжня турбота про здоров'я); сприяння сталому розвитку держави (здорові працівники – ресурс для зростання економіки, якісного життя та безпеки суспільства).

Отже, перехід до персоніфікованої превенції – не просто модна ідея, а реальна відповідь на виклики сучасності (нові види ризиків, змінений характер праці, технологічні можливості, психоемоційне навантаження, соціально-економічна відповідальність). Якщо ігнорувати ці зміни, ризики професійних захворювань залишаться високими, а негативні наслідки – масштабними. Персоніфікована превенція дає шанс змінити підхід від «всім однакові норми» до «безпека, здоров'я і турбота про кожного».

### **Перелік використаних джерел**

1. Постанова КМУ від 08.11.2000 р. № 1662 «Про затвердження переліку професійних захворювань». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1662-2000-%D0%BF#Text>.
2. Проданчук М. Г., Басанець А. В., Кравчук О. П., Гашинова К. Ю., Гвоздецький В. А. Аналіз динаміки професійної захворюваності

та її наслідків в Україні порівняно з країнами світу. *Медичні перспективи*. 2023. Т. 28, No 3. С. 137–152. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2023.3.289217>

## **ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ**

***Халепа Ю. В.***

*студент гр. ОПс-22*

*Національний університет цивільного захисту України  
м. Черкаси, Україна*

***Цимбал Б. М.***

*д.н.держ.упр., доцент, професор кафедри підвищення кваліфікації та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту,  
науковий керівник*

*Національний університет цивільного захисту України  
м. Черкаси, Україна*

Експлуатація компресорних установок є одним із критичних аспектів промислової безпеки, оскільки відмови такого обладнання можуть призводити до серйозних аварій, технологічних втрат і загроз для життя та здоров'я персоналу. Надійність компресорних систем визначається не лише якістю виробництва обладнання, а й правильністю експлуатації, регулярністю технічного обслуговування та умовами навколишнього середовища [1].

Систематичний збір статистичних даних про відмови, ремонти та умови роботи дозволяє аналізувати тенденції експлуатації, прогнозувати майбутні несправності та визначати вузькі місця у системі. Такі дані забезпечують основу для прийняття управлінських рішень та планування профілактичних заходів, спрямованих на зниження ризику аварій [1].

Методології обслуговування, орієнтовані на ризик (Risk-Based Maintenance, RBM), та методики, центровані на надійності (Reliability-Centered Maintenance, RCM), є ключовими інструментами у сучасному підході до управління експлуатаційними ризиками. Вони дозволяють визначати пріоритетність технічних операцій за критичністю компонентів, оптимізувати інтервали обслуговування та мінімізувати ймовірність непередбачених простоїв [2].

Для оцінки ризику використовуються журнали експлуатації, ремонтні звіти, системи моніторингу стану обладнання, а також великі бази даних надійності галузевого та міжнародного рівня. Порівняння локальних показників із нормативними значеннями дозволяє виявляти приховані дефекти та системні проблеми, пов'язані як із проектуванням, так і з експлуатацією [2].

Типові механізми відмов компресорних установок включають зношування підшипників, деградацію мастила, імпульсні або гідравлічні нестабільності у центробіжних компресорах, а також перевантаження у режимах запуску і зупинки. Ці фактори призводять до підвищеної вібрації, термічних навантажень і прискореного зносу компонентів [3].

Важливу роль відіграють умови навколишнього середовища та експлуатаційні режими. Наприклад, часті зміни навантаження або циклічні пуски-зупинки створюють приховані вібраційні навантаження, що поступово погіршують стан обладнання. Найбільш критичні моменти – запуск компресора, вихід на пікове навантаження та аварійні зупинки, коли ризик відмови максимально високий [4]. Застосування цифрових технологій та предиктивної аналітики значно підвищує ефективність управління ризиками. Це дає змогу впроваджувати предиктивне технічне обслуговування, що поєднує статистичний аналіз, моделювання відмов і машинне навчання [5].

Аналіз моделювання показує, що частина відмов має латентний характер – несправності накопичуються поступово і проявляються лише при критичних навантаженнях. Тому важливо поєднувати кількісні та якісні методи оцінки ризиків: ідентифікацію

сценаріїв відмов, багаторівневі бар'єри безпеки, моніторинг стану обладнання та регулярні технічні перевірки [1–5].

Інтеграція процедур кількісного та якісного аналізу ризику створює системний підхід до управління компресорними установками. Це дозволяє не лише оцінювати рівень небезпеки, але й розробляти конкретні заходи: перегляд інтервалів технічного обслуговування, впровадження систем моніторингу, заміну зношених компонентів, оптимізацію запасів та підвищення кваліфікації персоналу.

Таким чином, системне використання статистичних даних і сучасних методик обслуговування забезпечує підвищення надійності, безпеки та ефективності експлуатації компресорних установок, що є важливим фактором безперебійної роботи промислових підприємств.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Надійність компресора : електрон. ресурс. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/compressor-reliability>
2. Чи може правильний план технічного обслуговування підвищити продуктивність компресора : електрон. ресурс. URL: <https://surl.li/xnfcgu>
3. Evaluating Compressor Reliability – An Operator’s Perspective of Assessing Vibration Risk Across the Operating Envelope : електрон. ресурс. URL: <https://surl.li/ауууqv>
4. Обслуговування промислових повітряних компресорів : електрон. ресурс. URL: <https://surl.lt/glogmo>
5. Прогнозоване технічне обслуговування компресора : електрон. ресурс. URL: <https://surl.li/cuatzx>

## **ОГЛЯД ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ЗДІЙСНЕННЯ МАСОВИХ ВИБУХІВ ТА ЗАХОДІВ ПО ЗНИЖЕННЮ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН**

**Чиж А. А.**

*студентка гр. ТЗ-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Максимова Н. М.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Добуток залізної руди відкритим способом передбачає проведення масових вибухів, вплив яких на довкілля є суттєвим і повинен розглядатись комплексно.

Всі суб'єкти господарювання, які ведуть вибухові роботи на денній поверхні, повинні дотримуватись Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні, затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 № 469 [1]. Ці Технічні правила встановлюють основні технічні вимоги безпечного ведення вибухових робіт на об'єктах, розташованих на денній поверхні [1]. Вимоги цих Технічних правил є обов'язковими для виконання суб'єктами господарювання, які займаються проведенням вибухових робіт на об'єктах, розташованих на денній поверхні, а також проектних організацій і тих, які організують і контролюють роботу з промислової безпеки та охорони праці [1]. При цьому вживається термін «денна поверхня» в наступному значенні: поверхня землі, на якій та з якої проводяться вибухові роботи з використанням енергії вибуху, які пов'язані з видобуванням корисних копалин відкритим способом, у будівництві, при проведенні робіт з подрібнення бетонних і залізобетонних конструкцій, у разі обвалення будівель, споруд і комунікацій, у тому числі на свою основу, при руйнуванні ємностей

гідропідриванням, при руйнуванні металокопункцій, при зварюванні вибухом, при штампуванні вибухом, у разі подрібнення криги на водоймах, при корчуванні пнів і звалюванні дерев, під час застосування вибухового плантажу, при підводних роботах, при роботах у глибоких свердловинах тощо [1].

Дослідженню екологічних проблем, що виникають, та їх попередженню за рахунок впровадження природоохоронних заходів присвячено багато робіт як вітчизняних, так і закордонних науковців та практиків [2–5].

Під час масових вибухів у кар'єрах зародження і формування пилогазової хмари являє собою високоенергетичний, складний і швидкоплинний процес, який умовно можна поділити на три етапи [2]:

- перший етап тривалістю до 180 мс з моменту початку процесу детонації, під час якого в атмосферу надходять сипкі речовини забійок, що виштовхуються зі свердловин високим тиском, і частково продукти детонації вибухових речовин, що фільтруються через пористий матеріал забійки;

- другий етап зародження і формування пилогазової хмари тривалістю від 180 до 800 мс, що настає після розлому гірничого масиву та характеризується інтенсивним виходом в атмосферу газоподібних продуктів детонації та вибуху, а також пилу по всій межі роздробленого масиву. Відбувається найбільш інтенсивний розвиток пилогазової хмари за рахунок його підживлення з осередку вибуху;

- третій етап тривалістю від 800 мс до 30 с характеризується початком самостійної теплової еволюції хмари вибуху, її гальмування і розсіювання в атмосфері.

Найважливішими параметрами пилогазової хмари є висота підйому від поверхні землі та дальність її поширення в приземному шарі атмосфери, оскільки вони визначають ступінь забруднення довкілля викинутими в атмосферу продуктами вибуху.

Буропідривні роботи на гірничих підприємствах ведуться із застосуванням вибухових речовин. Сучасний етап розвитку вибухової справи характеризується заміною дорогих і небезпечних

в обігу тротиловмісних дрібнодисперсних вибухових речовин на вибухові речовини: гранульовані, водовмісні, емульсійні та суспензійні суміші типу «окислювач-пальне» на основі нітрату амонію [3–4].

Залишки продуктів детонації, що виходять зі свердловини, мають високу початкову швидкість руху (динамічний фактор) і температуру, що перевищує температуру навколишнього середовища (тепловий фактор).

Початкова швидкість і температура залишків продуктів вибуху формують пилогазову хмару певної висоти. Час дії динамічного фактора обчислюється частками секунди, а теплового – хвилинами.

Приблизно через 1 хвилину пилогазова хмара починає втрачати свої чіткі обриси і за кілька хвилин швидкість розвитку стає мінімальною і відповідає швидкості вітру на поверхні кар'єра.

Основні небезпечні домішки, які виділяються під час виконання масових вибухів, – це пил та небезпечні гази. Небезпечні домішки виділяються в атмосферу кар'єрів у вигляді пилогазової хмари. Частина небезпечних газів (близько третини) залишається в гірничій масі і потім виділяється до атмосфери, забруднюючи район підірваного блоку та прилеглі до нього ділянки. Пил, який виділився, випадаючи з пилогазової хмари, осідає на уступах, біля кар'єрних майданчиків, та в прилеглих населених пунктах, являючись в подальшому джерелом пиловиділення.

Аналіз джерел [2, 4] щодо параметрів пилогазової хмари (її висоти та радіусу розповсюдження) виявляє значні розбіжності в оцінках науковців. Зокрема, в роботах Колесника В. Є. та Юрченко А. А. відзначено наступне: під час масштабних вибухів хмара може підніматися до 1,6 км, а її поширення сягає 8–12 км і більше. При цьому крупні частинки пилу осідають вже через 1–2 хв після детонації, тоді як гази та дрібнодисперсний пил, залежно від швидкості вітру, можуть переноситися на значно більші відстані від 2–3 км і далі від епіцентру.

Наразі поширення набули наступні технологічні заходи, спрямовані на зниження забруднення атмосфери кар'єрів:

використання емульсійних безтритилових вибухівок, які за своїми властивостями не вносять суттєвих змін до обсягу викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря; зволоження забійки водою; зрошування підірваної гірничої маси в екскаваторних забоях та на перевантажувальних майданчиках і дегазація блоків після вибуху поливо-зрошувальною технікою. Наприклад, поширення набуває застосування гуматового реагенту, який показав добру ефективність з пилопригнічення і дегазації при проведенні масових вибухів у кар'єрі гірничозбагачувального комбінату [5].

Для розгляду в подальшому питань пилопригнічення пилогазової хмари, зокрема за рахунок зрошення, або для прогнозування розсіювання пилу під дією вітру, важливо знати дисперсний розподіл частинок пилу по висоті хмари. Тому необхідно оцінити висоту підйому частинок різного розміру під дією теплового фактору, що потребує подальших аналітичних досліджень.

### **Перелік використаних джерел**

1. Про затвердження Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 № 469. *Верховна Рада України* : офіційний вебсайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1320-13#top> (дата звернення: 04.11.2025).
2. Юрченко А. А. Підвищення екологічної безпеки масових вибухів в залізорудних кар'єрах за пиловим чинником : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. ДВНЗ «Нац. гірничий ун-т». Дніпропетровськ, 2012. 19 с. URI: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/198> (дата звернення: 04.11.2025).
3. Тверда О. Я. Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню західного регіону України : дис. ... д-р. техн. наук : 21.06.01. Сумський державний університет. Суми, 2018. 365 с. URI: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/dd3ba1cf-1d00-4689-8be4-b2a14958b747/content> (дата звернення: 04.11.2025).
4. Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В. Спеціальні вибухові технології в геоінженерії : монографія / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 316 с.

5. Щокін В. П., Щокіна О. В. Застосування гуматового реагенту для пилопригнічення і дегазації при масових вибухах. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2021. № 1. С. 132–136. URI: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/61c85094-cf68-4ba0-96e2-f9db2b1d268f/content> (дата звернення: 04.11.2025).

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРГОНОМІЧНИХ АСПЕКТІВ ПРОЄКТУВАННЯ РОБОЧИХ МІСЦЬ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ**

**Чуприна Н. А.**

*здобувач вищої освіти гр. ОПс-23(22)*

*Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

**Цимбал Б. М.**

*д.н.держ.упр., доцент, професор кафедри підвищення кваліфікації  
та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту,  
науковий керівник*

*Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

Ергономічне проектування робочих місць є ключовим аспектом забезпечення безпеки праці та зниження професійних ризиків. Правильна організація робочого середовища, яка враховує антропометричні, фізіологічні та психологічні особливості працівників, дозволяє зменшити статичні та динамічні навантаження на опорно-руховий апарат, знизити рівень стресу та підвищити загальне самопочуття працівників.

Оптимізація робочих місць включає корекцію висоти робочих столів та стільців, правильне розташування обладнання та інструментів, а також забезпечення зручного доступу до робочих зон. Такий підхід сприяє зменшенню ризику розвитку м'язово-скелетних розладів, покращує фізичний комфорт та сприяє

ефективності виконання робочих завдань. Крім того, увага до освітлення, шумового середовища та планування простору може значно впливати на психологічне благополуччя працівників, знижуючи ризик професійного вигорання та підвищуючи рівень задоволеності роботою [1].

Впровадження сучасних ергономічних технологій дозволяє здійснювати постійний моніторинг стану працівників. Використання датчиків руху, вібраційних сенсорів та інтелектуальних носимих пристроїв дає змогу вчасно виявляти перевантаження працівників, оцінювати ризики та коригувати робочі процеси для уникнення травм. Аналіз даних, отриманих від таких систем, дозволяє створювати індивідуальні профілі ризику та розробляти превентивні заходи, що враховують фізичний стан та особливості конкретного працівника.

Структурування процесу управління професійними та ергономічними ризиками передбачає послідовність етапів: підготовчий, основний та документований, що забезпечує системний підхід до безпеки на робочому місці [2].

Важливою складовою є впровадження принципу “Prevention through Design” (PtD), який передбачає зниження травматизму та профзахворювань ще на етапі проектування робочих процесів та середовища. Інтеграція ергономічних принципів на ранніх стадіях проектування дозволяє зменшити частоту травм та знизити професійні ризики. Наприклад, оптимізація висоти робочих поверхонь, правильне розташування обладнання та зон руху дозволяють зменшити фізичне напруження працівників та підвищити продуктивність.

Додатково, врахування ергономіки при розробці робочих інтерфейсів, інструментів та обладнання сприяє підвищенню точності виконання завдань, скороченню часу простоїв та зменшенню ймовірності помилок [3].

Особливу увагу слід приділяти комплексному підходу до ергономічного проектування, який включає оцінку фізичного навантаження, психоемоційного стану працівників, організацію робочого простору та забезпечення оптимальних умов праці.

Впровадження принципів ергономіки в гнучкі та віддалені робочі схеми, а також у виробничі процеси з високою інтенсивністю праці, дозволяє значно знизити ймовірність професійних травм та покращити загальний стан здоров'я працівників.

У цьому контексті важливим є використання симуляційних моделей та віртуальної реальності для відпрацювання потенційно небезпечних ситуацій без ризику для життя та здоров'я працівників.

Таким чином, дослідження ергономічних аспектів проектування робочих місць є невід'ємною складовою сучасної системи безпеки праці. Використання даних моніторингу, впровадження PtD, цифровізація робочих процесів та інтеграція психологічних та фізіологічних характеристик працівників дозволяють створити безпечне та комфортне робоче середовище, зменшити професійні ризики та підвищити ефективність виробничих процесів.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Zadem, A., Chettouh, S., Saadi, S. The Role of Ergonomics and Workplace Design in Enhancing Well-being at Work [Електронний ресурс]. *Journal of Prevention & Ergonomics*. 18 (2), 2024. URL: [https://www.researchgate.net/publication/386985758\\_The\\_Role\\_Of\\_Ergonomics\\_And\\_Workplace\\_Design\\_In\\_Enhancing\\_Well-being\\_At\\_Work](https://www.researchgate.net/publication/386985758_The_Role_Of_Ergonomics_And_Workplace_Design_In_Enhancing_Well-being_At_Work)
2. Bazaluk, O. Ergonomic risk management process for safety and health in the workplace [Електронний ресурс]. *Frontiers in Public Health*. 2023. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2023.1253141/full>
3. Lyon, B. K., Popov, G. Prevention through ergonomics: Integrating human factors into a prevention through design approach [Електронний ресурс]. *Professional Safety*. 68 (6), 24–33, 2023. URL: [https://www.assp.org/docs/default-source/psj-articles/f1lyonpopov\\_0623.pdf](https://www.assp.org/docs/default-source/psj-articles/f1lyonpopov_0623.pdf)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ РОЗСІЮВАННЯ**

**Шапошникова К. С.**

*студентка гр. ЦБ-25-1 ІП*

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*

*м. Дніпро, Україна*

**Каракай М. С.**

*к.н.держ.упр., в. о. завідувача кафедри безпеки праці та охорони  
довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Чеберячко Ю. І.**

*д.т.н., професор, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки*

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*

*м. Дніпро, Україна*

*професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Для аналізу було взято декілька моделей дослідження: HYSPLIT, FLEXPART, NAME, CALPUFF, STILT.

Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT) – це комп'ютерна модель, розроблена Лабораторією повітряних ресурсів Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) спільно з Науково-дослідним центром Австралійського бюро метеорології у 1998 році. HYSPLIT використовується для обчислення траєкторій руху повітряних частинок, що дозволяє прогнозувати, куди і як далеко перемістяться забруднювачі, радіоактивні речовини чи аерозолі. Модель поєднує лагранжевий підхід (відстеження окремих частинок) та ейлерів підхід (розрахунок концентрацій на сітці), що дало їй назву «гібридна». Окрім траєкторій, HYSPLIT здатна моделювати розсіювання, хімічні перетворення, сухе та вологе осадження, а також турбулентну дифузію. Модель

працює з різними метеовхідними даними (GFS, ECMWF, WRF) і широко застосовується для оперативного реагування на аварії (Чорнобиль, Фукусіма), прогнозування вулканічного попелу та аналізу джерел забруднення.

FLEXPART (Flexible Particle dispersion model) – це гнучка Лагранжева модель, розроблена для роботи з високоякісними метеоданими ECMWF. Вона призначена для моделювання міжконтинентального перенесення, вулканічного попелу, радіонуклідів та парникових газів. FLEXPART використовує Рунге-Куту 4-го порядку для інтегрування траєкторій і підтримує мільйони частинок, що дозволяє детально відтворювати хмари забруднень. Модель враховує турбулентність, конвекцію, вологе осадження та суху депозицію, а також має режим зворотних траєкторій для визначення джерел викидів.

NAME (Numerical Atmospheric-dispersion Modelling Environment) – це оперативна модель, розроблена Метеорологічним управлінням Великої Британії (Met Office). Вона використовується для аварійного реагування на хімічні, біологічні, радіологічні та ядерні (СБРН) інциденти. NAME моделює дисперсію, транспорт і осадження забруднень у реальному часі, використовуючи дані УКМО. Модель підтримує як лагранжевий, так і ейлерів підходи, має високу роздільну здатність поблизу землі та широко застосовується в Європі для прогнозування поширення вулканічного попелу (наприклад, під час виверження Ейяф'ятлайокудль 2010 року).

CALPUFF – це гібридна ейлеріво-лагранжева модель, розроблена для оцінки локального та регіонального впливу викидів (промислові димові труби, транспорт). На відміну від інших, вона більше орієнтована на стаціонарні джерела і використовує  $Z+\sigma$  гібридну систему координат, що робить її менш точною над складним рельєфом. CALPUFF враховує хімічні реакції, вологе осадження та суху депозицію, але лагранжева компонента менш розвинена. Модель затверджена EPA (США) для регуляторних розрахунків.

Таблиця 1

**Основні відмінності моделей розсіювання**

Модель	Розробник	Основне призначення	Метод інтегрування	Вертикальна система	Крок часу $\Delta t$	Застосування
HYSPLIT	NOAA + Австралія	Траєкторії + дисперсія (оперативно)	Рунге-Кутта (1-й)	$\sigma$ (геометрична)	Динамічний ( $< 0,75 \Delta x$ )	Аварії, попіл, радіонукліди
FLEXPART	ECMWF / NILU	Моделювання переносу та перетворення речовин	Рунге-Кутта (3-й)	$\sigma/p$ (тискова)	Адаптивний (CFL $< 0,8$ )	Вулканічний попіл, CO <sub>2</sub>
NAME	Met Office (UK)	CBRN-аварії, оперативне реагування	Модиф. Ейлер (2-й)	$\sigma/p$	Динамічний ( $< 0,5 \Delta x$ )	Хімічні викиди, Європа
CALPUFF	EPA (США)	Локальні промислові викиди	Ейлерів (гібрид)	$Z + \sigma$	Фіксований	Регуляторні оцінки
STILT	Harvard / NOAA	Зворотні траєкторії, вуглецевий цикл	Рунге-Кутта (4-й)	$\sigma$ (геометрична)	Адаптивний (CFL $< 1,0$ )	Джерела CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>

STILT (Stochastic Time-Inverted Lagrangian Transport) – це спеціалізована модель для зворотного моделювання (backward trajectories), розроблена для вивчення вуглецевого циклу та джерел CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>. STILT використовує Runge-Kutta 4-го порядку і працює з високою просторовою роздільною здатністю поблизу землі. Модель враховує турбулентність і поверхневі потоки, що дозволяє точно визначати, звідки прийшло повітря, яке вимірюється на станціях.

Аналіз порівняльної таблиці моделі HYSPLIT, FLEXPART, NAME, CALPUFF, STILT та дозволяє виділити ключові відмінності в їх розробці, призначенні, методах інтегрування та системах координат, що робить кожну з них оптимальною для конкретних задач атмосферного моделювання. Загалом, таблиця підкреслює, що оперативні моделі (HYSPLIT, NAME) базуються на модифікованому методі Ейлера з динамічним кроком часу для швидкого реагування, тоді як наукові (FLEXPART, STILT) використовують метод Рунге-Кутта високого порядку для вищої точності.  $\sigma$ -система (геометрична чи тискова) є обов'язковою для всіх моделей, крім частково CALPUFF, забезпечуючи адаптацію до рельєфу; вибір

моделі залежить від масштабу, точності та застосування – від оперативного прогнозування до глибоких досліджень.

### Перелік використаних джерел

1. Stein, AF, Draxler, RR, Rolph, GD, Stunder, BJB, Cohen, MD, та Ngan, F, (2015). Система моделювання атмосферного переносу та розсіювання HYSPLIT NOAA. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059–2077. URL: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>
2. Rolph, G., Stein, A., та Stunder, B., (2017). Застосування та система відображення даних про навколишнє середовище в режимі реального часу: READY. *Environmental Modelling & Software*, 95, 210–228. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025>.
3. Bakels, L., Tatsii, D., Tipka, A., Thompson, R., Dütsch, M., Blaschek, M., Seibert, P., Baier, K., Bucci, S., Cassiani, M., Eckhardt, S., Groot Zwaaftink, C., Henne, S., Kaufmann, P., Lechner, V., Maurer, C., Mulder, M. D., Pisso, I., Plach, A., Subramanian, R., Vojta, M., and Stohl, A.: FLEXPART version 11: improved accuracy, efficiency, and flexibility. *Geosci. Model Dev.*, 17, 7595–7627, 2024 URL: <https://doi.org/10.5194/gmd-17-7595-2024>
4. Baier, K., Duetsch, M., Mayer, M., Bakels, L., Haimberger, L., Stohl, A.: The Role of Atmospheric Transport for El Niño-Southern Oscillation Teleconnections, *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL100906, 2022. URL: <https://doi.org/10.1029/2022GL100906>
5. Bakels, L., Duetsch, M., Tatsii, D., Tipka, A., Seibert, P., Thompson, R., Blaschek, M., Plach, A., Bucci, S., Vojta, M., Cassiani, M., Henne, S., Marie D., M., Maurer, C., Lechner, V., Eckhardt, S., Groot-Zwaaftink, C., Kaufmann, P., Baier, K., Pisso, I., Subramanian, R., and Stohl, A.: FLEXPART-v11, Zenodo 2024. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12706632>
6. Bergamaschi, P., Segers, A., Brunner, D., Haussaire, J.-M., Henne, S., Ramonet, M., Arnold, T., Biermann, T., Chen, H., Conil, S., Delmotte, M., Forster, G., Frumau, A., Kubistin, D., Lan, X., Leuenberger, M., Lindauer, M., Lopez, M., Manca, G., Müller-Williams, J., O'Doherty, S., Scheeren, B., Steinbacher, M., Trisolino, P., Vítková, G., and Yver Kwok, C.: High-resolution inverse modelling of European CH<sub>4</sub> emissions using the novel FLEXPART-COSMO TM5 4DVAR inverse modelling system. *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 13243–13268, 2022 URL: <https://doi.org/10.5194/acp-22-13243-2022>
7. Bucci, S., Richon, C., and Bakels, L.: Exploring the Transport Path of Oceanic Microplastics in the Atmosphere. *Environ. Sci. Technol.*, 58, 14338–14347, 2024. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c03216>

## **ПСИХОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРАЦІВНИКІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ**

***Штукіна В. В.***

*здобувач вищої освіти гр. ОПс-22*

*Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

***Цимбал Б. М.***

*д.н.держ.упр., доцент, професор кафедри підвищення кваліфікації*

*та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту,*

*науковий керівник*

*Національний університет цивільного захисту України*

*м. Черкаси, Україна*

Сьогодні українське суспільство перебуває у стані війни, що визначає його як сильну, стійку та сміливу націю. На початку повномасштабного вторгнення РФ виникла необхідність адаптації до непередбачуваних змін у соціальному, освітньому та економічному середовищі [1].

Умови воєнного стану призводять до підвищення загрози терористичних актів та надзвичайних ситуацій, що робить психологічну безпеку на робочому місці критично важливою. Забезпечення безпеки та добробуту працівників потребує системного підходу з боку керівництва та перегляду організаційних моделей управління трудовими відносинами для підтримки стабільності підприємств і уникнення кадрового дефіциту [2].

В умовах воєнного стану застосування звичайних норм трудового законодавства, що регулюють стандартні трудові відносини, призупинено. Натомість діє спеціальний нормативно-правовий акт, який набув чинності 24 березня 2022 року та регулює трудові відносини під час воєнного стану. Акт встановлює специфічні умови праці, оплату, режим робочого часу, відпустки та інші питання, що враховують особливості воєнного стану та гарантують захист прав працівників [3].

Психологічна мотивація визначається як комплекс заходів, що стимулюють працівників до ефективного виконання своїх обов'язків. У сучасних умовах воєнного стану мотиваційні пакети підприємств включають матеріальні та нематеріальні стимули, що сприяють збереженню продуктивності та розвитку особистісного потенціалу співробітників [1].

Забезпечення психологічної безпеки включає створення умов, які знижують рівень стресу, невизначеності та тривожності. До ключових заходів відносяться організація робочого простору, що сприяє спокою, комфортна освітленість та вентиляція, регулярне інформування працівників про поточну ситуацію та заходи безпеки, надання доступу до психологічних консультацій, груп підтримки та тренінгів з управління стресом, а також соціальна підтримка сімей співробітників [2, 4].

Упровадження таких заходів забезпечує створення безпечного та стабільного середовища на робочому місці, що сприяє збереженню фізичного та психологічного благополуччя працівників. Особливу увагу приділяють нематеріальній мотивації, зокрема психологічній підтримці, гарантіям стабільності та подальшої роботи, а також забезпеченню дистанційного або гібридного формату праці та медичного страхування [2, 3].

Таким чином, забезпечення психологічної безпеки в умовах воєнного стану передбачає комплекс заходів, спрямованих на підтримку стабільності, зниження стресових навантажень та розвитку особистісного потенціалу працівників. В умовах війни пріоритетними стають психологічна підтримка, безпека та стабільність, що забезпечує ефективність роботи та мотивацію персоналу.

### **Перелік використаних джерел**

1. Котковський В. О., Самородов Б. В., Чхеайло А. А. Управління людськими ресурсами в умовах війни: мотивація, шляхи і способи ефективного застосування особистісного потенціалу. *Сталий розвиток економіки*. 2024. № 3 (50). С. 228–231. URL: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-50-34>

2. Балакірева А., Михайлова Є. О. Психологічна безпека на робочому місці під час воєнного стану. С. 85–86. URL: <https://repository.hneu.edu.ua/bitstream.pdf>
3. Про організацію трудових відносин в умовах воєнного стану : Закон України від 01 липня 2022 р. № 2352-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2136-20#Text>
4. Що означає поняття «психологічна безпека» на робочому місці? / Північно-Східне міжрегіональне управління Державної служби з питань праці. URL: <https://pl.dsp.gov.ua/news/shcho-oznachaie-poniattia-psykholohichna-bezpeka-na-robochomumistsi/>

=====  
СЕКЦІЯ  
ПРИРОДНИЧО-НАУКОВИХ  
ТА ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН  
=====

**METHOD OF EXPONENTIAL ESTIMATION  
OF ASINCHROMOUS MOTOR PARAMETERS**

***Horb I. O.***

*student of group 10- CB-25  
Kramatorsk Vocational College of Industry, IT and Business  
Kramatorsk, Ukraine*

***Dmytryshyn I. S.***

*teacher of 1-st specialist qualification category  
Kramatorsk Vocational College of Industry, IT and Business  
Kramatorsk, Ukraine*

Induction motors are widely used in industrial and automated systems due to their reliability and efficiency. Accurate parameter estimation remains a challenge because some internal states cannot be directly measured. This work focuses on developing a nonlinear observer capable of reconstructing such parameters with exponential accuracy. The study uses a nonlinear model of a two-phase induction motor in the stator reference frame. The system is extended using a master-slave approach. A nonlinear observer is developed based on invariant transformations, allowing unknown variables to be represented as algebraic combinations of measurable quantities, dynamic extensions, and deviation terms.

The observer ensures exponential convergence of estimation errors. It accurately reconstructs rotor flux linkages, electromagnetic torque, and rotor speed. The extended master-slave structure enhances system observability, creating a strong basis for advanced motor control strategies. The proposed method provides a robust mechanism for estimating key induction motor parameters. The observer design guarantees stability and fast convergence. Future work may involve experimental validation, and integration into real-time control systems.

Let us consider the mathematical model of a two-phase AC, written in a coordinate system tied to the stator [1, 2].

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = -a_0 y_1 + a_2 U_1 + a_1 \mu x_1 + a_1 y_3 x_2 \\ \dot{y}_2 = -a_0 y_2 + a_2 U_2 - a_1 y_3 x_1 + a_1 \mu x_2 \\ \dot{y}_3 = a_3 y_2 x_1 - a_1 y_1 x_2 - x_3 \\ \dot{x}_1 = a_4 y_1 - \mu x_1 - y_3 x_2 \\ \dot{x}_2 = a_4 y_2 + y_3 x_1 - \mu x_2 \\ \dot{x}_3 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

The following notations are introduced in the model under study:

$$x = \left( \lambda_a, \lambda_b, \frac{n_p \cdot \tau_L}{I_m} \right)^T, y = (i_a, i_b, n_p \cdot \omega)^T,$$

where  $i_a, i_b$  describe the stator currents;  $\lambda_a, \lambda_b$  – rotor fluxes;  $\omega$  – rotor rotation speed;  $U_1, U_2$  – stator voltage;  $n_p$  – number of pole pairs;  $I_m$  – moment of inertia and  $\tau_L$  – rotor torque;  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4; \mu > 0$  – some constants.

In order to study the state of this system (1), it is expanded with a controlled prototype of the type leading-known body. In this case, it is assumed that the known body has control that depends on its own state and on the state of the leading body. In the work, a nonlinear observer is constructed for the unknown components  $x_3, y_3$ . The construction of such an observer is carried out using the method of invariant transformations. According to this method, the unknown quantities  $x_3, y_3$  are represented as an algebraic sum of functions that depend on the known quantities:

$$\begin{cases} x_3 = \Phi_1(x_1, x_2, y_1, y_2) + \delta_1(t) + \varepsilon_1 \\ y_3 = \Phi_2(x_1, x_2, y_1, y_2) + \delta_2(t) + \varepsilon_2. \end{cases} \quad (2)$$

where  $\Phi_1(\cdot), \Phi_2(\cdot)$  are unknown functions that depend on known quantities,

$$\begin{cases} \dot{\delta}_1(t) = \rho_1 \left( x_1, x_2, y_1, y_2, \Phi_1, \Phi_2, \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_1}, \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_2}, \frac{\partial \Phi_1}{\partial y_1}, \frac{\partial \Phi_1}{\partial y_2}, \delta_1(t), \delta_2(t) \right) \\ \dot{\delta}_2(t) = \rho_2 \left( x_1, x_2, y_1, y_2, \Phi_1, \Phi_2, \frac{\partial \Phi_2}{\partial x_1}, \frac{\partial \Phi_2}{\partial x_2}, \frac{\partial \Phi_2}{\partial y_1}, \frac{\partial \Phi_2}{\partial y_2}, \delta_1(t), \delta_2(t) \right) \end{cases} \quad (3)$$

and  $\delta_1(t)$ ,  $\delta_2(t)$  are dynamic expansions of the original system (1), and  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  are deviations from this state. The free functions  $\Phi_1(\cdot)$ ,  $\Phi_2(\cdot)$ ,  $\delta_1(t)$ ,  $\delta_2(t)$  are chosen in such a way that  $\varepsilon_1 \rightarrow 0$ ,  $\varepsilon_2 \rightarrow 0$ , while providing an algebraic estimate of the unknowns.

Using a nonlinear observer constructed using the method of invariant relations, exponential decay of the deviations  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  is ensured. Questions about whether such “approximate” control will solve the original problem were considered in stabilization theory, for example, in the work [1, 2], where the corresponding separation principle was formulated.

The paper shows that a nonlinear observer constructed by the method of invariant transformations provides exponential damping of deviations  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ .

### References

1. Freeman R. Global internal stabilizability does not imply global external stabilizability for small sensor disturbances. *IEEE Transactions and Automatic Control*. 1995. V.40. № 12. P. 2119–2122.
2. Zhogoleva N. V., Shcherbak V. F. Synthesis of additional relations in inverse control problems. *Proceedings of the Institute of Mathematical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2015. Vol. 29. P. 69–76.

## **ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЛОГІЧНОГО МИСЛЕННЯ**

**Дряглін О. О.**

*студент гр. 25МСО(1)*

*ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»*

*м. Слов'янськ, Україна*

**Величко В. Є.**

*д.п.н., професор, завідувач кафедри методики навчання математики,  
фізики та інформатики, науковий керівник*

*ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»*

*м. Слов'янськ, Україна*

Цифровізація освіти є одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасної педагогічної системи. Серед ключових тенденцій цифрової освіти виділяють: персоналізоване навчання, гібридні форми організації освітнього процесу, гейміфікацію, мікронавчання та активне впровадження інтерактивних технологій.

Сучасна професійна освіта знаходиться на етапі активної трансформації, що обумовленої не лише потребами ринку праці, а й необхідності адаптації до нових реалій. В умовах коли в Україні станом на 2024 рік понад 500 тисяч школярів навчаються дистанційно, а 40 % українських дітей використовують онлайн або змішаний формат навчання, традиційні методи розвитку мислення потребують інтеграції з цифровими інструментами.

Інноваційні методи навчання стають ключовим інструментом для підвищення ефективності освітнього процесу, розвитку професійних компетентностей та формування здобувачів освіти, здатних адаптуватися до швидкозмінних умов сучасного світу. Особливої актуальності набуває проблема розвитку системного логічного мислення, яке в умовах кліпового сприйняття інформації потребує спеціалізованого тренування через звичні для молоді інструменти – мобільні пристрої.

Основою для впровадження цифрових інструментів виступає мобільне навчання (m-learning) яке передбачає використання

мобільних пристроїв – смартфонів, планшетів, електронних книжок – для організації освітнього процесу незалежно від місця і часу. Технологія набирає популярності завдяки доступності та повсюдному поширенню мобільних пристроїв серед учнів та студентів.

До переваг використання мобільних пристроїв відносять: доступність і мобільність (навчання в будь-який час і в будь-якому місці з доступом до Інтернету); інтерактивність (організація активної взаємодії учасників навчального процесу); персоналізація (можливість налаштування індивідуальної траєкторії навчання); наочність (використання мультимедійних елементів для кращого засвоєння матеріалу); зменшення витрат (економія на технічному оснащенні лабораторій); моделювання (можливість створення віртуальних виробничих ситуацій); зворотний зв'язок (швидка комунікація між учнями, вчителями та батьками).

При цьому до недоліків відносять: технічні обмеження (малий розмір екрану та клавіш, що може ускладнювати тривале використання); відволікання уваги (ризик використання не за призначенням під час навчального процесу); академічна недоброчесність (можливість несанкціонованого використання для списування); психомоторний розвиток (надмірне використання може негативно впливати на розвиток дрібної моторики у дітей); вплив на здоров'я (можливий негативний вплив випромінювання на здоров'я при тривалому використанні).

Окремим перспективним шляхом впровадження мобільного навчання є технологія BYOD (Bring Your Own Device) – «принеси свій пристрій». Суть технології полягає в використанні учнями власних мобільних пристроїв для навчальних цілей під керівництвом педагога. Хоча такий підхід має певні недоліки, як-от ризик відволікання уваги чи академічна недоброчесність, технологія BYOD дозволяє їх зменшити через встановлення чітких правил доступу та безпеки. Використання власних пристроїв зменшує витрати на технічне оснащення та забезпечує психологічний комфорт учнів під час роботи зі знайомим інтерфейсом.

Окрім того, технологія BYOD надає можливість використання різноманітних електронних освітніх ресурсів, зокрема, мобільні сайти та адаптовані вебресурси, спеціалізовані навчальні додатки, адаптовані електронні засоби навчального призначення, авторський контент створений викладачем, інтерактивні завдання та тести, доповнена реальність (AR) для візуалізації навчального матеріалу. Адаптовані електронні освітні ресурси найбільше розкривають переваги мобільного навчання через мобільні додатки, бо саме з їх допомогою можна використовувати такі технології навчання як: гейміфікація та підвищення мотивації, адаптивність та персоналізація, системність та доступність, багатоаспектний розвиток, інтерактивність.

Використання мобільних додатків допомагає учням розвивати креативність, критичне мислення і здатність до аналізу, формувати вміння висловлювати судження, будувати логічні ланцюжки та виконувати інші логічні операції. Серед позитивних практик використання мобільних додатків варто згадати додаток Lumosity (<https://app.lumosity.com>) – один із найпопулярніших додатків для розвитку когнітивних здібностей. Який пропонує інтерактивні завдання які розвивають пам'ять, концентрацію, увагу, логічне та креативне мислення. Користувачі можуть відстежувати власний прогрес та отримувати віртуальні нагороди за досягнення.

Peak (<https://www.peak.net>) – набір мініігор для тренування пам'яті, швидкості мислення, логіки й уважності. Додаток розроблений експертами у сфері нейропсихології, когнітивної науки та освіти. Автоматично визначає рівень користувача та пропонує головоломки відповідної складності.

Brain Wars (<https://translimit.co.jp/services>) – додаток, що дозволяє користувачам у реальному часі позмагатися в інтелектуальних турнірах з іншими користувачами з усього світу. Короткі ігри націлені на розвиток пам'яті, логіки та уважності. На виконання кожного завдання дається лише тридцять секунд. Продовженням цієї гри є Brain Dots.

«Слова зі слова» (<https://games.ua-play.com>) – українськомовна пізнавальна гра-головоломка, що стимулює розвиток логічного мислення та сприяє розширенню словникового запасу.

Успішна реалізація цих підходів вимагає балансу між технологічними інноваціями та педагогічною доцільністю, пам'ятаючи, що мобільні додатки є лише інструментом, а не заміною повноцінного освітнього процесу. Їх використання має відбуватися під супроводом учителя, який інтегрує цифрову активність у загальну структуру уроку та забезпечує осмислення отриманих навичок. Водночас подальша інтеграція в освітній процес технологій штучного інтелекту, віртуальної та доповненої реальності відкриває нові горизонти для створення ще більш адаптивного навчального середовища. Такий комплексний підхід дозволить не лише підвищити рівень логічного мислення здобувачів, а й сформувати навички самостійного навчання, необхідні для ефективного розв'язання складних професійних завдань та конкурентоспроможності на сучасному ринку праці.

### Перелік використаних джерел

1. Сафонов Ю. М., Коротун О. П. Цифровізація освіти в Україні: технології та методики навчання. *Трансформаційна економіка*. 2024. № 2 (07). С. 89–94. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2024-7-15>.
2. Величко В. Є., Федоренко О. Г., Кайдан Н. В., Стюпкін А. В., Топольник Я. В. Технології електронного навчання як сучасний засіб навчальної діяльності. *Технології електронного навчання*. 2022. № 6. С. 25–36. DOI: <https://doi.org/10.31865/2709-840062022270252>.
3. Величко В. Є., Федоренко О. Г., Рожков С. І. Професійна підготовка майбутніх учителів фізики із залученням технології BYOD. *Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції FOSS Lviv-2019* (19–20 квітня 2019 р.). Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2019. С. 66–68.

## **ВИКОРИСТАННЯ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON ДЛЯ РОБОТИ З ЧИСЛОВИМИ РЯДАМИ**

***Кайдан Є. В.***

*студентка гр. ІКМ-М2256*

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут»*

*м. Харків, Україна*

Числові ряди широко застосовуються в багатьох сферах, де важливо враховувати не лише значення показників, а й момент їх фіксації. До таких сфер належать економіка, торгівля, екологія та, зокрема, дослідження кліматичних та техногенних змін [1].

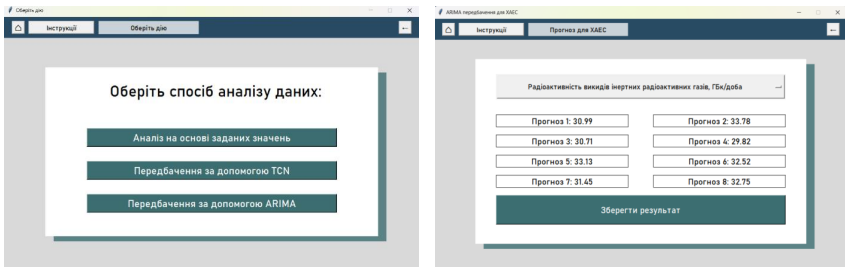
Актуальність аналізу числових рядів у контексті екологічного моніторингу, зокрема контролю викидів на атомних електростанціях, полягає у необхідності своєчасного виявлення аномалій. Саме часові ряди дають змогу простежити сезонні, циклічні та трендові зміни [2], що дозволяє не лише фіксувати факт відхилення, а й прогнозувати можливе перевищення нормативів. Для критично важливих об'єктів, таких як АЕС, це має прямий вплив на оперативність і точність прийняття рішень.

Потреба у створенні спеціалізованого інструменту для роботи з такими даними зумовлена тим, що наявні програмні рішення або занадто загальні, або не адаптовані до специфічних форматів екологічних вимірювань. Фахівці потребують інтерфейсу, який дозволяє гнучко налаштовувати аналіз, підключати нові моделі прогнозування та працювати з великими масивами даних, що регулярно оновлюються.

Доцільність використання мови програмування Python зумовлена необхідністю підлаштування створеної програми для оцінки даних, що зберігаються у певному вигляді, до такого, який може обчислити програма, а також розробки інтерфейсу для виведення специфічних даних на екран. Python є доволі популярною та простою у використанні, і завдяки цьому є багато готових до застосування прогнозуючих моделей, що адаптовані спеціально під цю мову програмування.

Розроблювана програма має забезпечити аналіз даних, отриманих з українських атомних електростанцій, зокрема показників зареєстрованих викидів. Передбачено перетворення табличних даних у різні типи часових рядів, їх фільтрування та сортування відповідно до потреб користувача, заповнення пропущених значень та побудову прогнозів на основі різних моделей (рис. 1).

Використання кількох моделей прогнозування дозволяє отримувати результати з різним рівнем точності та продуктивності. Оскільки деякі моделі, наприклад нейронні мережі, потребують значних обчислювальних ресурсів, їх застосування не завжди є доцільним, особливо коли допустима похибка не впливає суттєво на подальші рішення. У таких випадках перевагу можуть надавати класичним статистичним методам чи спрощеним машинно-навчальним моделям [3].



**Рис. 1. Фрагмент інтерфейсу програми**

Візуалізація результатів відіграє важливу роль у процесі прийняття рішень. Графічне подання трендів, сезонних коливань, прогнозів та аномалій у даних сприяє створенню інформативних звітів та полегшує оперативне реагування у разі перевищення нормативів.

Забезпечення екологічних фахівців таким програмним інструментом сприятиме своєчасному виявленню потенційних ризиків, підвищить точність прогнозування та оптимізує процес аналізу даних, що є важливим для гарантування екологічної безпеки.

### **Перелік використаних джерел**

1. Виявлення аномалій для аналізу часових рядів. Data Life UA. URL: <https://data-life-ua.com/analyst/vyivlennia-anomaliy-dlia-analizu-chasovykh-riadiv/> (дата звернення: 30.11.2025).
2. Томенко Н. Д. Застосування нейромережевих алгоритмів для прогнозу часових рядів. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ce5bee8a-e9bb-4d3f-ae37-1fa08d6a8207/content> (дата звернення: 30.11.2025).
3. Філь Б. М., Кайдан Є. В. Проект організації системи для визначення екологічної обстановки в зоні розташування атомних електростанцій. *MININGMETALTECH 2024 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти* : Міжнародна науково-технічна конференція (28–29 листопада 2024 року). 2024, с. 273–276.

## **МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРИКЛАДІ ДИНАМІКИ СТУДЕНТСЬКОЇ ЧИСЕЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ**

**Колесников Д. О.**

*студент гр. КН-24-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Грудкіна Н. С.**

*д.т.н., доцент, професор кафедри природничо-наукових*

*та загальноінженерних дисциплін, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Математичне прогнозування виступає фундаментальним інструментом кількісного аналізу даних та передбачення майбутніх значень на основі попередніх значень. Вибір конкретної формули або моделі залежить від типу даних, наявності трендів та сезонності, кількості доступних історичних даних, вимог до

точності прогнозування та інших факторів. Часто для кращого прогнозування використовують комбінації різних методів.

У навчальному процесі доречно використовувати наступні типи математичних формул та моделей прогнозування: «Моделі часових рядів», «Регресійний аналіз» та інші. Важливо не лише реалізувати прогноз, але й оцінити його точність за допомогою різних моделі оцінки помилок.

Розглянемо модель для прогнозування, де об'єктом аналізу виступають статистичні дані щодо чисельності студентів закладів вищої освіти України за період 2015–2024 навчальних років. Джерелом інформації є офіційна державна статистика, що відображає динаміку загальної кількості здобувачів освіти, а також чисельність за статевою ознакою (табл. 1). Ці дані є репрезентативними, послідовними за роками та придатними для математичного моделювання [1, 2].

Таблиця 1

**Динаміка кількості здобувачів закладів вищої освіти в Україні**

Показ- ники	2015 / 2016	2016 / 2017	2017 / 2018	2018 / 2019	2019 / 2020	202 / 2021	2021 / 2022	2022 / 2023	2023 / 2024
Всього	1597681	1584144	1537743	1522250	1439706	1141889	1046669	1053770	1148658

Аналізуючи загальну чисельність здобувачів освіти, спостерігаємо суттєву тенденцію до зменшення, при цьому ця динаміка значною мірою зумовлена скороченням внутрішніх міграційних потоків, повномасштабним вторгненням та масштабним виїздом молоді за кордон, що особливо стосується останніх років [1, 2]. Такий контекст створює підґрунтя для застосування математичних моделей з метою побудови прогнозів і формування стратегії розвитку вищої освіти в Україні попри наявні виклики.

Метод простого експонентного згладжування є одним із найпоширеніших інструментів короткострокового прогнозування в економіці, зокрема у випадку відсутності вираженої сезонності або циклічності. Цей метод передбачає адаптацію моделі до нових даних, надаючи більшої ваги саме останнім спостереженням, що забезпечує швидке реагування на зміни в структурі динаміки для нестабільного середовища, яким є сучасна вітчизняна вища освіта.

Суть методу полягає в обчисленні зваженого середнього, де ваги залежать від «давності» спостережень спадним чином, а рекурентна формула розрахунку прогнозованого значення набуває вигляду [1, 2]:

$$S_{t+1} = (1 - \alpha) \cdot Y_t + \alpha \cdot S_t,$$

де  $S_{t+1}$  – згладжене значення (прогноз) для наступного значення часу  $t + 1$ ;  $Y_t$  – фактичне спостереження (дані) в періоді  $t$ ;  $S_t$  – згладжене значення (прогноз) для періоду  $t$ ;  $\alpha$  – параметр згладжування ( $0 < \alpha < 1$ ).

Проведено розрахунки для значень  $\alpha$  в межах 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 з метою визначення оптимального параметру згладжування.

При значенні  $\alpha = 0,1$  модель надає прогнозоване значення на 2024 рік у розмірі 1 054 500 осіб, що дає абсолютну похибку 94 157 осіб та відносну похибку 8,2 %. Подальше збільшення  $\alpha$  до 0,2, 0,3 та 0,4 демонструє відповідне зменшення похибки до 7,9 %, 7,3 % та 6,47 % відповідно. Найменшу відносну похибку спостерігаємо при  $\alpha = 0,4$ , що свідчить про високу чутливість моделі до останніх змін у динаміці чисельності здобувачів вищої освіти. Для прогнозування на 2025 рік рекомендовано обрати модель при  $\alpha = 0,4$ , що дозволило отримати прогнозоване значення:

$$y_{2025} = y(9) = (1 - 0,4) \cdot 1\,148\,658 + 0,4 \cdot 1\,074\,365,084 = 1\,118\,940,8.$$

Таким чином, можна стверджувати, що метод простого експонентного згладжування є придатним для застосування в умовах нестабільності та може бути рекомендований для подальшого використання в системі прогнозування освітніх показників.

### **Перелік використаних джерел**

1. Галушак М. П., Галушак О. Я., Кужда Т. І. Прогнозування соціально економічних процесів : навчальний посібник для економічних спеціальностей. Тернопіль : ФОП Паляниця. 2021. 160 с.

2. Пілецька, С., Колесников, С., Грудкіна, Н., & Коритько, Т. (2025). Математичне прогнозування соціально-економічних процесів на прикладі динаміки студентської чисельності в Україні. *Адаптивне управління: теорія і практика. Серія Економіка*. № 20 (40). DOI: [https://doi.org/10.33296/2707-0654-20\(40\)-18](https://doi.org/10.33296/2707-0654-20(40)-18).

**ІНТЕРАКТИВНА АНАЛІТИКА В EXCEL:  
ПРАКТИЧНІ НАВИЧКИ СТУДЕНТІВ У ДИСЦИПЛІНІ  
«ПРОДУКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ОФІСНИХ СИСТЕМ»**

**Овдієнко М. Є.**

*студентка гр. ЕК-24-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кайдан Н. В.**

*к.ф.-м.н., доцент, завідувач кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Дисципліна «Продуктивність використання офісних систем» посідає важливе місце у підготовці здобувачів технічних, економічних та інженерних спеціальностей, оскільки саме вона формує фундаментальні навички роботи з цифровими інструментами, що широко застосовуються у сучасних організаціях. В умовах цифровізації економіки, поширення аналітики даних та автоматизації бізнес-процесів вміння працювати з офісними системами давно вийшло за межі базової комп'ютерної грамотності й перетворилося на один із ключових елементів професійної компетентності. Тому навчальний курс спрямований не лише на ознайомлення зі стандартними функціями Microsoft Office, а на глибоке розуміння того, як ці інструменти можуть підсилювати аналітичну, управлінську та дослідницьку діяльність.

Особлива увага в дисципліні приділяється роботі з великими масивами інформації й розвитку аналітичного мислення. Здобувачі вчать визначати структуру даних, виконувати базову та розширену обробку, перевіряти коректність, очищувати інформацію, застосовувати логічні правила та фільтри. Такий підхід не лише покращує технічні навички, але й формує здатність критично оцінювати вихідні дані, розуміти природу показників, виявляти тенденції та взаємозв'язки, тобто опановувати те, що становить основу сучасного дата-менеджменту.

Одним із найбільш практично орієнтованих блоків курсу є модуль «Графічні можливості MS Excel», у межах якого студенти виконують комплексне завдання зі створення інтерактивного дашборду. Це завдання виходить далеко за рамки стандартних діаграм, адже передбачає цілісний цикл аналітичної роботи. На першому етапі здобувачі готують дані: здійснюють форматування, структурування, створюють атрибутивні стовпці (місто, регіон, рік, показники виручки), перевіряють валідність значень, приводять дані до єдиного стилю. Така підготовка формує розуміння того, що якість аналітичного продукту залежить насамперед від якості вихідної інформації.

Другий етап – побудова зведених таблиць. Саме вони виступають ядром майбутніх графічних візуалізацій і забезпечують швидку обробку великих наборів даних. Студенти навчаються використовувати різні типи агрегування, створювати ієрархії, формувати динамічні діапазони, працювати з обчислюваними полями. Одночасно відбувається знайомство з принципами аналітичного моделювання, такими як групування, сегментація та порівняння показників між різними категоріями.

На третьому етапі формується набір діаграм та візуальних компонентів. До роботи залучаються стовпчикові, лінійні та комбіновані графіки, картограми, гістограми та індикаторні елементи. Під час побудови візуалізацій здобувачі вчать застосовувати принципи «читаємості» графіків: уникати перевантаженості, правильно розташовувати легенди, вибирати оптимальні шкали, підкреслювати ключові зміни та тренди. Завдяки цьому вони

опановують основи візуальної аналітики, що є однією з найбільш затребуваних сучасних навичок.

Четвертий етап – інтеграція всіх побудованих елементів у єдиний дашборд, який слугує завершеним аналітичним продуктом. Студенти розміщують графіки на робочому аркуші, додають зрізи, часові шкали, інтерактивні кнопки, текстові описи та заголовки. Важливо, що дашборд працює в режимі миттєвої взаємодії: вибір року або міста автоматично оновлює всю систему графіків. Такий підхід моделює роботу сучасних бізнес-аналітичних платформ, де користувачі отримують можливість швидко приймати рішення на основі оновлюваних даних.

Завдання зі створення дашборду не лише розвиває технічні навички, а й формує глибоке системне розуміння процесу аналітичної діяльності. Студенти вчать будувати логіку аналітичного інтерфейсу, опрацьовувати сценарії користувача, визначати, які показники є ключовими, які допоміжними, а які варто подати у вигляді графіка чи числового індикатора. Таке вміння особливо цінне для спеціалістів, що працюватимуть у сфері менеджменту, маркетингу, економічного аналізу, інженерії даних та інформаційних технологій.

Важливою частиною методики викладання є інтеграція Microsoft PowerPoint як засобу презентації результатів роботи. Після завершення дашборду студенти готують коротку презентацію, у якій не тільки демонструють інтерактивність побудованої системи, а й коментують вибір візуалізацій, структурування даних та логіку аналітичного рішення. Таким чином формується здатність до візуальної комунікації, вміння пояснити складні аналітичні процеси простими та зрозумілими засобами, адаптувати інформацію до цільової аудиторії, робити акценти на ключових висновках.

Microsoft Word слугує інструментом оформлення аналітичного звіту. У звіті студенти пояснюють методи підготовки даних, описують використані інструменти Excel, обґрунтовують вибір побудованих графіків, формулюють висновки та вставляють візуальні матеріали. Це сприяє розвитку академічного письма,

логічного та структурованого викладу думок, формує навички підготовки документів, які відповідають професійним та освітнім стандартам.

Таким чином, комплексне використання офісних систем у межах дисципліни не лише підвищує технічну грамотність здобувачів, а й формує у них цілісне розуміння повного циклу роботи з даними, від їх підготовки й аналітичної обробки до візуального подання та презентації результатів. Інтерактивні дашборди, створені в Excel, розвивають уміння працювати з багатовимірними наборами даних, застосовувати інструменти гнучкої візуалізації та приймати рішення на основі змінних параметрів. Залучення PowerPoint сприяє формуванню навичок ефективної комунікації, презентації аналітичних висновків і побудови логічно структурованих візуальних матеріалів. Робота в Microsoft Word забезпечує важливий компонент академічної підготовки, уміння грамотно оформлювати звіти, аргументувати використані методи та створювати повноцінну аналітичну документацію.

У результаті студент отримує не просто набір технічних умінь, а здатність мислити як аналітик: системно, логічно, критично та візуально. Такий інтегрований підхід значно підвищує якість підготовки фахівців технічного, економічного й управлінського профілю, адже моделює реальні професійні умови, у яких інструменти Excel, PowerPoint і Word працюють як єдина екосистема для прийняття рішень. Завдяки цьому здобувачі готові до виконання реальних аналітичних завдань, ефективної комунікації результатів та створення якісних інформаційних продуктів, що є ключовими вимогами сучасного цифрового ринку праці.

### **Перелік використаних джерел**

1. Датамайнінг в Excel. Розвідувальний аналіз даних та прогнозування з використанням надбудови Analytic Solver Data Mining. Київ : Видавництво Ліра К, 2023. 240 с.
2. Кайдан Н. В., Пофаліт А. В. Моделювання даних в математичних дисциплінах за допомогою Microsoft Excel. *MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education* :

- International scientific conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 2. С. 263–265. URL: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/2241>
3. Microsoft Office 365: A Skills Approach / Triad Interactive, Inc. McGraw-Hill, 2022. URL: <https://read.kortext.com/library/books/2019466>.

## **РОЛЬ ОНЛАЙН-СИМУЛЯЦІЙ З ФІЗИКИ У ФОРМУВАННІ АЛГОРИТМІЧНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ»**

***Рачук Б. С.***

*студентка гр. ІПЗ-11*

*Університет економіки і підприємництва  
м. Хмельницький, Україна*

***Кайдан В. П.***

*старший викладач кафедри математики та інформаційних  
технологій, науковий керівник*

*Університет економіки і підприємництва  
м. Хмельницький, Україна*

Сучасна підготовка фахівців з інженерії програмного забезпечення вимагає розвитку не лише теоретичних знань з алгоритмізації, але й уміння мислити моделями, системами та процесами. Алгоритмічне мислення формується тоді, коли є розуміння змін станів системи, бачення причинно-наслідкових зв'язків й здатність подати поведінку об'єкта або явища у вигляді послідовності обчислювальних дій. Онлайн-симуляції працюють за принципом дискретного оновлення стану системи, коли кожне нове значення змінних обчислюється на основі попереднього. Такий механізм повністю відповідає ключовим алгоритмічним конструкціям програмування: циклам, умовам, рекурсивним залежностям, обробці подій. У цьому контексті фізичний параметр виконує роль змінної,

ітерація симуляції – це крок алгоритму, динаміка моделі – реалізація алгоритму в реальному часі. Здобувач освіти наочно бачить, як математична залежність перетворюється на алгоритмічне правило зміни стану.

Важливою перевагою симуляцій є можливість експериментувати з початковими умовами й параметрами. Це формує уміння знаходити залежності, виявляти закономірності, тестувати гіпотези й перевіряти коректність моделі – компетентності, безпосередньо пов'язані з алгоритмічним мисленням. Онлайн-симуляції також зменшують абстрактність, властиву традиційному вивченню алгоритмів. Студент не просто знайомиться з формулою чи псевдокодом – він бачить їхню роботу «в дії» та може відтворити цей процес у програмному коді.

Одним із ключових результатів використання онлайн-симуляцій є формування розуміння структури «стан → дія → новий стан» – основного принципу будь-якого алгоритму. У симуляції це відбувається безпосередньо: зміна однієї змінної веде до перебудови всієї системи.

Також симуляції сприяють розвитку декомпозиції (вміння розбивати складну систему на окремі модулі, аналогічні до компонентів програмного проекту), структурного мислення (побудова моделей у вигляді функцій, об'єктів, структур даних), аналітичних компетентностей (робота з масивами, графіками, статистикою та результатами вимірювань), чисельного мислення (розуміння дискретизації, наближених методів, симуляційних циклів).

Як приклад можна розглянути симуляцію PhET “Moving Man”, яка демонструє рух об'єкта, у якого можна змінювати положення, швидкість і прискорення. З погляду алгоритмічного мислення це типовий симуляційний цикл, який постійно оновлює стан системи. На кожному кроці модель «перераховує» нове положення на основі того, якою була його швидкість та як вона змінилася під дією прискорення. Система безперервно проходить через послідовність «поточний стан → обчислення → новий стан». Це повторюється багато разів, створюючи плавний рух. Ця симуляція є прямим аналогом роботи ігрових рушіїв або чисельних моделей

у програмуванні. Вона показує як працює циклічне оновлення стану, як змінні впливають одна на одну, як комп'ютер «крок за кроком» моделює поведінку системи, як зміну параметра можна одразу побачити у результаті.

Онлайн-симуляції є ефективним інструментом формування алгоритмічного мислення здобувачів освіти спеціальності «Інженерія програмного забезпечення», оскільки забезпечують природне розуміння циклів, умов, обробки подій і чисельних методів, дозволяють будувати причинно-наслідкові зв'язки на основі реальної динаміки системи, сприяють формуванню навичок декомпозиції, моделювання та аналізу даних, допомагають переносити фізичні моделі у програмний код та створювати власні симуляції. Їх інтеграція в навчальний процес формує технічну грамотність, аналітичне мислення та здатність працювати з моделями – компетентності, що є основою інженерії програмного забезпечення.

#### **Перелік використаних джерел**

2. Ben Boumediane, M., Azzi, O., Janati-Idrissi, R. (2025). Enhancing Physics Education: The Impact of Computer Simulators on Student Performance and Conceptual Understanding. *Conhecimento & Diversidade* 17, 608–629 <https://doi.org/10.18316/rcd.v17i45.12486>.
3. Kaidan, N., Velychko, V., Fedorenko, E. & Kaidan, V. (2024). The use of computer modeling in the educational process based on the example of studying Coulomb's law. *Journal of Physics: Conference Series, Volume 2871, XVI International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2024)* 15/05/2024-17/05/2024 Kryvyi Rih, Ukraine. doi:10.1088/1742-6596/2871/1/012014.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ФІЗИЧНОЇ РЕЧОВИНИ РЕАЛЬНИЙ ГАЗ З ТЕОРЕТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ

**Селянський О. О.**

*студент гр. ЕІ-24-16*

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

*м. Запоріжжя, Україна*

**Колесников С. О.**

*к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри природничо-наукових*

*та загальноінженерних дисциплін, науковий керівник*

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

*м. Запоріжжя, Україна*

Ключові відмінності між ідеальним газом (теоретична модель) та реальним газом (фізична речовина) полягають у двох основних припущеннях молекулярно-кінетичної теорії, які застосовуються до ідеального газу, але не відповідають дійсності для реального [1, 2]:

1. Молекули ідеального газу вважаються матеріальними точками і їх власний об'єм нехтується порівняно з об'ємом посудини. Молекули реального газу мають кінцевий (власний) об'єм, який займає простір і стає суттєвим за певних умов.

2. Сили притягання та відштовхування між молекулами ідеального газу відсутні (крім моменту абсолютно пружного зіткнення). Між молекулами реального газу діють сили міжмолекулярної взаємодії (сили Ван-дер-Ваальса), які впливають на їхній рух та енергію.

3. Параметри ідеального газу за будь-яких умов підпорядковуються рівнянню Менделєєва – Клапейрона:

$$P_{\text{ід}} V = \nu RT. \quad (1)$$

Стан реального газу описується складнішими рівняннями, наприклад, рівнянням Ван-дер-Ваальса:

$$\left( P_{\text{реал}} + \frac{a \cdot \nu^2}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT, \quad (2)$$

яке враховує поправки на власний об'єм та взаємодію.

4. Реальний газ відхиляється від ідеальної поведінки, особливо при високому тиску та низькій температурі, коли молекули знаходяться близько одна до одної і взаємодія стає значущою.

5. Реальний газ можливо зрідлити шляхом охолодження та стиснення. Оскільки в ідеальному газу відсутні сили притягання його неможливо зрідлити шляхом охолодження або стиснення.

Фактично, реальні гази поведуться подібно до ідеальних лише за умов низького тиску та високої температури, коли відстані між молекулами великі, а кінетична енергія значна, що мінімізує вплив власного об'єму та міжмолекулярних сил.

Для наочного розуміння відмінностей параметрів стану між ідеальним і реальним газом розглянемо числовий приклад обчислення тиску при фіксуванні інших параметрів моделі [1, 2]. Припустимо, що 1 кмоль вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) знаходиться при температурі  $100\text{ }^\circ\text{C}$  в об'ємі  $1\text{ м}^3$ . Знайти тиск газу, вважаючи його:

а) ідеальним;

б) реальним.

Сталі Ван-дер-Ваальса для  $\text{CO}_2$ :  $a = 0,364\text{ Па} \cdot \text{м}^6 / \text{моль}^2$ ,  
 $b = 4,26 \times 10^{-5}\text{ м}^3 / \text{моль}$ .

Розв'язання.

Дано:

$$\nu = 1\text{ кмоль} = 1000\text{ моль};$$

$$T(\text{K}) = 100 + 273,15 = 373,15\text{ K};$$

$$V = 1\text{ м}^3;$$

$$a = 0,364\text{ Па} \cdot \text{м}^6 / \text{моль}^2;$$

$$b = 4,26 \times 10^{-5}\text{ м}^3 / \text{моль};$$

$$R \approx 8,314\text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K}).$$

а) Ідеальний газ (рівняння Клапейрона – Менделєєва). З рівняння (1) отримаємо:

$$P_{\text{ід}} V = \nu RT \cdot P_{\text{ід}} = \frac{\nu RT}{V};$$

$$P_{\text{ід}} = \frac{1000 \text{ моль} \cdot 8,314 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 373,15 \text{ К}}{1 \text{ м}^3} \approx \\ \approx 3,102,500 \text{ Па} \approx 3,1 \text{ Мпа.}$$

б) Реальний газ (рівняння Ван-дер-Ваальса). З рівняння (2) отримаємо:

$$P_{\text{реал}} = \frac{\nu RT}{V - \nu b} - \frac{a \cdot \nu^2}{V^2}.$$

Обчислюємо проміжні значення:

$$\nu b = 1000 \text{ моль} \cdot 4,26 \times 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{моль} = 0,0426 \text{ м}^3;$$

$$V - \nu b = 1 \text{ м}^3 - 0,0426 \text{ м}^3 = 0,9574 \text{ м}^3;$$

$$\frac{a \cdot \nu^2}{V^2} = \frac{0,364 \text{ Па} \cdot \text{м}^6 / \text{моль}^2 \cdot (1000 \text{ моль})^2}{(1 \text{ м}^3)^2} = \\ = \frac{0,364 \cdot 1,000,000}{1} = 364,000 \text{ Па.}$$

Підставляємо у формулу для  $P_{\text{реал}}$ :

$$P_{\text{реал}} = \frac{1000 \text{ моль} \cdot 8,314 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 373,15 \text{ К}}{0,9574 \text{ м}^3} - 364,000 \text{ Па};$$

$$P_{\text{реал}} \approx \frac{3,102,500 \text{ Па} \cdot \text{м}^3}{0,9574 \text{ м}^3} - 364,000 \text{ Па};$$

$$P_{\text{реал}} \approx 3,240,650 \text{ Па} - 364,000 \text{ Па} \approx 2,876,650 \text{ Па} \approx 2,88 \text{ Мпа.}$$

Відповідь:

а) Тиск ідеального газу становить близько 3,1 МПа;

б) Тиск реального газу становить близько 2,88 МПа.

У цьому прикладі різниця між тисками ідеального та реального газу є помітною (близько 7%). Тиск реального газу нижчий, в основному через дію сил міжмолекулярного притягання.

**Висновки:**

1. Різниця між результатами показує, що для реальних газів при значних тисках і помірних температурах рівняння ідеального газу дає помітну похибку.
2. Фактично, реальні гази поведуться подібно до ідеальних лише за умов низького тиску та високої температури, коли відстані між молекулами великі, а кінетична енергія значна, що мінімізує вплив власного об'єму та міжмолекулярних сил.
3. Реальні умови зберігання в балоні ( $\text{CO}_2$ ): газ зазвичай знаходиться під високим тиском (наприклад, близько 50–60 атмосфер при кімнатній температурі, а іноді зберігається як рідина), і поведінка газу значно відхиляється від ідеальної. Тому для точного розрахунку потрібне використання рівняння стану реального газу або конкретних таблиць властивостей.

**Перелік використаних джерел**

1. Халатов, А. А. Термодинаміка газового потоку: навчальний посібник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / А. А. Халатов, А. В. Гільчук, Л. М. Кохтич ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 219 с.
2. Золотовська О. В. Курс лекцій з теплотехніки : навч. посіб. / О. В. Золотовська, А. М. Пугач, Г. В. Теслюк . Дніпро : ДДАЕУ, 2022. 274 с.

## ВИКОРИСТАННЯ ПОХІДНИХ У РОЗВ'ЯЗАННІ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ МЕТАЛУРГІЇ

**Софронов С. В.**

*студент гр. МЕ-25-1ф*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Щенсевич О. В.**

*викладач вищої кваліфікаційної категорії, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

У металургійному виробництві технологічні процеси змінюються в часі, тому їхнє дослідження спирається на аналіз похідних. Під час безперервного лиття сталі, прокатування, кування та охолодження металу важливо не тільки знати кількісні характеристики, а й оцінювати швидкість та характер їх зміни. Похідна є базовим інструментом для визначення швидкості витягування зливка, темпу теплових змін і швидкості деформації, що безпосередньо впливає на формування структури та якість готового металу.

Положення зливка при безперервному литті залежить від часу та описується функцією  $s(t)$ . Будь-які нерівномірності руху спричиняють порушення фронту кристалізації, появу усадочних раковин і тріщин. Для контролю руху використовують першу похідну  $s'(t)$ , що визначає швидкість витягування, і другу похідну  $s''(t)$ , яка показує характер зміни швидкості та дозволяє виявляти моменти нестабільності. Таким чином, аналіз похідних забезпечує рівномірність витягування зливка й стійкість роботи машини безперервного лиття.

У контролі температури важливо відстежувати швидкість зміни теплового режиму металу. Часова похідна температури  $dT/dt$  дозволяє визначити, чи не відбувається охолодження надто швидко або повільно. Обидві крайнощі призводять до дефектів структури. Стабільний тепловий режим – необхідна умова однорідного тверднення й правильного формування зернової будови.

У процесах пластичної обробки функція деформації  $\varepsilon(t)$  описує зміну форми металу під дією навантажень. Похідна  $\varepsilon'(t)$  визначає швидкість деформації. Надмірно великі значення цієї величини свідчать про можливе утворення мікротріщин або локальних напружень у металі. Аналіз похідних дозволяє встановлювати безпечні діапазони швидкостей і підбирати режими деформації, що забезпечують рівномірність структури.

Практичне застосування можна продемонструвати на математичній моделі руху зливка, де його положення задано функцією

$$s(t) = 0,4t^2 + 1,2t.$$

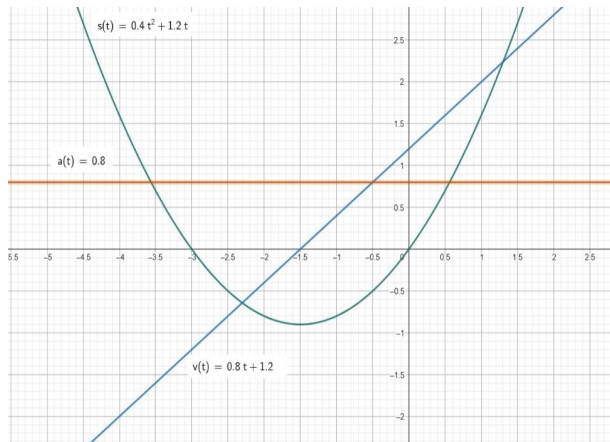
Похідні мають вигляд:

$$s'(t) = 0,8t + 1,2, \quad s''(t) = 0,8.$$

При  $t = 5$  швидкість витягування становить:

$$v(5) = 5,2 \text{ м/с.}$$

скільки прискорення додатне й не змінюється, швидкість зливка зростає рівномірно. Це відображено на графіку (рис. 1), де видно параболічне зростання траєкторії положення зливка, лінійний



**Рис. 1.** Параболічна траєкторія  $s(t)$ , лінійна швидкість  $s'(t)$  та стає прискорення  $s''(t)$  у моделі руху зливка

характер швидкості та сталу прискореність. Наведена модель демонструє, що аналіз похідних є ефективним засобом оцінювання динаміки технологічного процесу.

Таким чином, використання похідних у металургійних процесах забезпечує математичну точність оцінювання процесів лиття, охолодження та деформації. Диференційний аналіз дозволяє виявляти відхилення, стабілізувати роботу агрегатів і зменшувати кількість дефектів металопродукції.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Alizadeh, Mehdi & Edris, Hossein & Shafyei, Ali. (2006). Mathematical Modeling of Heat Transfer for Steel Continuous Casting Process. *International Journal of ISSI*, 3.
2. Mihailov, Emil & Petkov, Venko. (2010). Cooling Parameters and Heat Quantity of the Metal During Continuous Casting of Blooms. *International Review of Mechanical Engineering*, 4, 176–184.
3. Kholiavik O., Nogovitsyn, O., Kravchuk, O., Samoilenko, O., & Boris, R. (2021). Rheological characteristics of steel in continuous roll casting-rolling. *Mechanics and Advanced Technologies*, 5 (3), 381–387. DOI: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2021.5.3.250182>.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ МЕТОДОМ КВАЙНА-МАК-КЛАСКІ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ

**Сулова І. П.**

*студентка гр. 1КСМ23*

*Слов'янський фаховий коледж*

*Державного некомерційного підприємства*

*«Державний університет «Київський авіаційний інститут»*

*м. Кропивницький, Україна*

**Щенсневич О. В.**

*викладач вищої кваліфікаційної категорії, науковий керівник*

*Слов'янський фаховий коледж*

*Державного некомерційного підприємства*

*«Державний університет «Київський авіаційний інститут»*

*м. Кропивницький, Україна*

У 2025 році метод Квайна-Мак-Класкі зберігає актуальність у задачах, де потрібна гарантована мінімальність логічної функції та передбачуваність результату синтезу. Це є критично важливим для авіоники, медичної апаратури та радіаційно-стійких цифрових систем, де автоматичні оптимізатори FPGA не завжди забезпечують мінімальне покриття. Метод Квайна-Мак-Класкі залишається єдиним класичним рішенням, яке знаходить всі прості імпліканти та всі мінімальні покриття, а не одне з локально оптимальних. Його обмеженням є експоненційний ріст складності для великих наборів мінтермів.

Об'єктом дослідження є сегмент “*a*” семисегментного індикатора:

$$f(a) = \sum m(0, 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9) + \sum d(4, 7, 10-15),$$

де 4, 7, 10–15 – невживані комбінації.

Мінімізацію виконано вручну з використанням стандартної процедури методу Квайна-Мак-Класкі. Коректність результату додатково перевірено шляхом порівняння отриманої форми з канонічною ДДНФ. Отримано:

$$f = C + B\bar{D} + \bar{A}D + A\bar{B} \text{ (4 добутки, 9 літералів).}$$

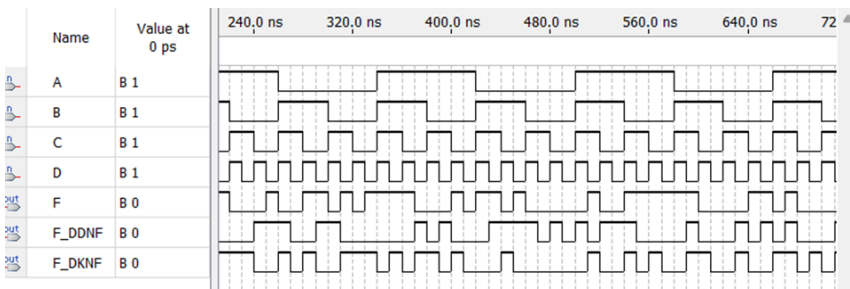
Для перевірки створено три варіанти VHDL-реалізації: повна ДДНФ, мінімізована форма Квайна-Мак-Класкі та мінімальна ДКНФ. Функціональна симуляція Quartus II Web Edition 13.1 показала повну еквівалентність для всіх 16 комбінацій вхідних змінних.

Для остаточної верифікації правильності отриманої мінімальної форми було створено три паралельні VHDL-реалізації одного й того самого вузла:

F – пряма реалізація повної ДДНФ (8 мінтермів);

F\_DDNF – ручна мінімізована форма за Квайном-Мак-Класкі (4 добутки);

F\_DKNF – мінімальна сума диз'юнкцій (ДКНФ).



**Рис. 1. Функціональна симуляція в Quartus II Web Edition 13.1: повне співпадіння сигналів F, F\_DDNF та F\_DKNF**

Далі проведено синтез на ПЛІС Cyclone V.

Таблиця 1

**Результати синтезу на ПЛІС Cyclone V**

Реалізація	LE	F <sub>max</sub> (MHz)	Power (mW, тип.)	Критичний шлях (ns)
Повна ДДНФ (8 мінтермів)	14	289	4,8	3,46
Автооптимізація Quartus (Balanced)	9	378	3,1	2,64
Ручна Квайном-Мак-Класкі (4 добутки)	6	412	2,4	2,43
Ручна ДКНФ	7	395	2,7	2,53

Метод Квайна–Мак–Класкі забезпечив зменшення кількості логічних елементів на 33 % порівняно з автоматичною оптимізацією Quartus та на 57 % порівняно з немінімізованою реалізацією. Максимальна робоча частота зросла на 34 МГц. Метод Квайна–Мак–Класкі з урахуванням невживаних комбінацій і багатовихідних схем забезпечує значне скорочення логічних елементів (на 28–47 %) у задачах середньої складності. Це особливо важливо для недорогих ПЛІС Cyclone V та MAX 10, де критичними є площа, енерговитрати та простота реалізації. Незважаючи на потужні засоби автоматичного синтезу, точні методи мінімізації залишаються актуальними для систем, де потрібна повна передбачуваність структури логічної функції.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Nelson R.J. W. V. Quine. The problem of simplifying truth functions. The American mathematical monthly, vol. 59 (1952), pp. 521–531. (Offprint 1952, on sale by the Mathematical Association of America.). *Journal of Symbolic Logic*. 1953. № 18 (3). P. 280–282. DOI: 10.2307/2267441.
2. McNaughton R. E. J. McCluskey Jr. Minimization of Boolean functions. *The Bell System technical journal*. № 35 (1956). P. 1417–1444; *Journal of Symbolic Logic*. 1958. 23 (2). P. 235–235. DOI: 10.2307/2964443.

## **MAPLE ЯК ІНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНО-МАТЕМАТИЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ**

**Чередник С. М.**

*студент гр. МЕч-24-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Грудкіна Н. С.**

*д.т.н., доцент, професор кафедри природничо-наукових  
та загальноінженерних дисциплін, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

В умовах повномасштабної війни вітчизняна система вищої освіти зіткнулася з викликом фактичної неможливості реалізації освітнього процесу в класичному офлайн форматі. Для ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», який функціонує в умовах постійних обстрілів та перебоїв з інтернетом, критично важливою стала не лише організація доступу до навчальних матеріалів, а й пошук сучасних платформ та методичних надбань, здатних підвищити ефективність навчання дисциплін з математичною складовою [1, 2]. Відповіддю на ці системні виклики стало активне залучення інноваційних систем комп'ютерної математики (СКМ), однією з яких є Maple (розробник Waterloo Maple, Inc., Канада). В рамках підтримки української освіти, компанія-розробник надала університету безкоштовні ліцензії, що зробило цей потужний інструмент вирішення математичних задач практично будь-якої складності доступним для викладачів та здобувачів освіти. Основною перевагою СКМ Maple можна вважати широкий спектр функціональних можливостей, необхідних для сучасного інженера-дослідника: від математичного моделювання та символічного обчислення до чисельного аналізу та візуалізації даних. Для користувачів доступний як зручний графічний інтерфейс для введення виразів та взаємодії з результатами, так і консольний інтерфейс для тих, хто

впевнений у навичках програмування. Крім того, СКМ містить спеціалізовані пакети підпрограм для вирішення завдань з математичного аналізу, теорії ймовірностей, математичної статистики, векторної алгебри та аналітичної геометрії та інших критично важливих розділів вищої математики.

Знайти середнє значення витрат при обмеженні виробництва двох видів товарів від 0 до 6 ум.одиниць для 1 типу та від 2 до 5 ум.од. для другого типу, якщо витрати визначаються функцією  $P(x,y)=0.3x+0.5y+2$ .

Розв'язання.

*restart;*

>  $P := (x,y) \rightarrow 0.3 \cdot x + 0.5 \cdot y + 2;$

$P := (x,y) \rightarrow 0.3 \cdot x + 0.5 \cdot y + 2$  (1)

>  $x\_min := 0;$   
 $x\_max := 6;$   
 $y\_min := 2;$   
 $y\_max := 5;$

$x\_min := 0$   
 $x\_max := 6$   
 $y\_min := 2$   
 $y\_max := 5$  (2)

>  $avg\_cost := \left( \frac{1}{(x\_max - x\_min) \cdot (y\_max - y\_min)} \right) \cdot \text{int}(\text{int}(P(x,y), x=x\_min..x\_max), y=y\_min..y\_max);$

$avg\_cost := 4.650000000$  (3)

>  $avg\_cost;$

4.650000000 (4)

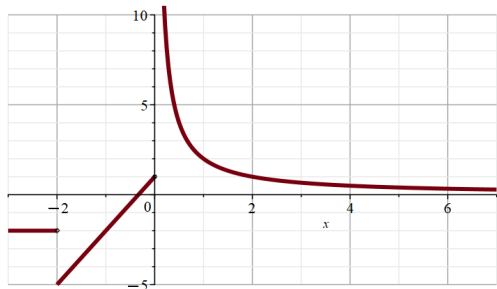
а)

Приклад 3. Дослідження на неперервність функції.

$f := x \rightarrow \text{piecewise} \left( x \leq -2, -2, -2 < x \text{ and } x \leq 0, 3 \cdot x + 1, \frac{2}{x} \right);$

$f := x \rightarrow \begin{cases} -2 & x \leq -2 \\ 3 \cdot x + 1 & -2 < x \leq 0 \\ \frac{2}{x} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{plot}(f(x), x = -3..7, \text{discont} = \text{true});$



б)

**Рис. 1. Приклади шаблонів автоматизованого розрахунку в СКМ Maple**

СКМ Maple широко застосовується при опануванні матеріалу змістовних тем «Диференціальне числення функції однієї та багатьох змінних», «Інтегральне числення та диференціальні рівняння», «Алгебра подій», «Дискретні та неперервні випадкові величини», що дозволяє розглянути широкий спектр задач прикладного спрямування, що моделюють процеси механіки, фізики, економіки та інших галузей [2, 3]. Для задач, які містять потужну дослідницьку складову, використання СКМ Maple забезпечує правильність розрахунків поряд з економією часу на обчислення, що дозволяє зосередитись саме на побудові математичної моделі та аналізі результатів та сприяє більш глибокому розумінню та критичному осмисленню теорій та методів у сфері професійної діяльності. Приклади шаблонів автоматизованого розрахунку при вирішенні різних типів та рівня складності задач представлено нижче (рис. 1) [2].

Таким чином, СКМ Maple може скласти конкуренцію іншим програмним продуктам і стати потужним інструментом для виконання математичних обчислень і досліджень, що дозволяє суттєво підвищити ефективність навчання в непростих умовах сьогодення.

### **Перелік використаних джерел**

1. Грудкіна, Н. С., Кайдан, Н. В., Колесников, С. О., & Дмитришин, І. С. (2024). Використання СКМ Maple при розв'язанні задач з обчислення геометричної ймовірності. *Педагогічна Академія: наукові записки*, (9). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13326522>.
2. Жучок Ю. В. Досвід впровадження дистанційного навчання математики в закладах вищої освіти. *Фізико-математична освіта*. 2020. Вип. 3 (25). Ч. 2. С. 34–37.
3. Monagan M. B., Geddes K. O., Heal K. M., Labahn G., Vorkoetter S. M., McCarron J., DeMarco P. *Maple Advanced Programming Guide Maplesoft (15 version)*, a division of Waterloo Maple Inc. 2009. 452 p.

**СТИМУЛЮВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ  
ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ  
ПРОФЕСІЙНО-ОРІЄНТОВАНИХ ЗАДАЧ ТА СИСТЕМ  
КОМП'ЮТЕРНОЇ МАТЕМАТИКИ**

**Чехута О. В.**

*студентка гр. МЕч-23-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Грудкіна Н. С.**

*д.т.н., доцент, професор кафедри природничо-наукових та  
загальноінженерних дисциплін, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Сучасний ринок праці висуває кардинально нові вимоги до випускників технічних закладів вищої освіти (ЗВО), бо потребує фахівців, здатних не просто виконувати задачі за відомим алгоритмом, але й самостійно ідентифікувати проблеми, проводити аналіз нетипових ситуацій та пропонувати обґрунтовані інноваційні рішення. Ці вимоги виводять на перший план необхідність цілеспрямованого формування дослідницької компетентності здобувачів освіти. Фундаментом для розвитку цієї компетентності у майбутніх інженерів є математична підготовка [1–3]. Однак, традиційне викладання математичних дисциплін зазвичай зосереджене на репродуктивному засвоєнні стандартних методів та алгоритмів, що не повною мірою сприяє розвитку навичок самостійного наукового пошуку. Таким чином, виникає гостра навчально-методична проблема, яка полягає в удосконаленні змісту та методів викладання математичних освітніх компонентів [2].

Метою даної роботи є обґрунтування методичного підходу до формування дослідницьких навичок здобувачів освіти через інтеграцію професійно спрямованих задач з дослідницькою складовою та активне залучення систем комп'ютерної математики (СКМ) у процес вивчення математичних освітніх компонент.

Методологічну основу дослідження складав аналіз та узагальнення провідних педагогічних практик, таких як проблемно-орієнтоване навчання, метод проєктів та метод «кейс-стаді» [1, 3]. На основі узагальнення цих прийомів запропонована комплексна методика, адаптована до викладання математичних дисциплін в технічному ЗВО, що поєднує два ключові компоненти:

1. Впровадження професійно спрямованих задач з дослідницькою складовою. Ці задачі, на відміну від стандартних вправ, характеризуються відкритістю, тобто відсутністю єдиного правильного шляху розв'язання, контекстуальністю, тобто відповідністю реальним професійним проблемам у металургії, логістиці, матеріалознавстві тощо та багатоетапністю. Розв'язання таких завдань вимагає проходження повного циклу дослідження від формалізації проблеми, вибору адекватних методів до глибокого аналізу та професійної інтерпретації отриманих рішень.

2. Використання систем комп'ютерної математики. Сучасне програмне забезпечення, наприклад, Maple, MATLAB, Mathcad, Python, розглядається як стрижневий інструмент дослідження. Зазначимо, що СКМ дозволяють змістити фокус з рутинних обчислень на концептуальні аспекти, автоматизувати розв'язання формалізованих задач та фактично створюють середовище для проведення обчислювальних експериментів, що дозволяє проводити аналіз впливу зміни вхідних параметрів, дослідження стійкості моделі.

Наприклад, здобувачам було запропоновано провести розрахунок надійності основної системи, використовуючи СКМ Maple для розробки модулів автоматизованого розрахунку та подальшого аналізу надійності удосконаленої системи [2]. Для стимуляції саме дослідницької складової розширення даного завдання запропоновано додатково самостійно розширити формулювання основної умови та запропонувати геометричну інтерпретацію та реалізацію автоматизованого розрахунку. Первинні результати впровадження свідчать про значне підвищення мотивації здобувачів. Головним стимулом та позитивним враженням для студентів є те, що вони бачать прямий зв'язок між абстрактним

математичним апаратом та майбутніми професійними задачами. Водночас, впровадження відкритих та багатоетапних професійних задач створює певні складнощі. Ці труднощі пов'язані насамперед з необхідністю самостійної формалізації проблеми та вибору адекватних методів розв'язання, що вимагає від здобувачів освіти навичок, які не розвиваються під час вирішення стандартних алгоритмічних вправ [3]. Проте саме подолання цих складнощів є потужним стимулом для розвитку навичок формалізації, критичного аналізу та вміння обґрунтовувати прийняті рішення.

Таким чином, інтеграція професійно спрямованих задач з дослідницькою складовою, підкріплена СКМ, є ефективним шляхом модернізації математичної підготовки у технічному ЗВО. Цей підхід дозволяє змістити акценти з репродуктивного засвоєння знань на їх творче застосування, формуючи у здобувачів освіти цілісну дослідницьку компетентність та міцний фундамент для успішного вирішення складних професійних завдань у майбутній діяльності.

### **Перелік використаних джерел**

1. Борозенець Н. С. Формування дослідницької компетентності бакалаврів з аграрних наук засобами професійно спрямованих завдань з вищої математики. *Гуманізація навчально-виховного процесу*. Харків : ТОВ «Видавництво НТМТ», 2018. № 3 (89). С. 41–58.
2. Грудкіна, Н. С., Костіков, О. А., & Ровенська, О. Г. (2024). До питання формування дослідницької компетентності здобувачів вищої освіти в процесі розв'язання задач з теорії ймовірності. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13891974>.
3. Організація дослідницької діяльності з математичного аналізу : монографія / О. Г. Ровенська. Краматорськ : ДДМА, 2021. 153 с.

## **СУЧАСНІ ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ НА УРОКАХ ІНФОРМАТИКИ В НОВІЙ УКРАЇНСЬКІЙ ШКОЛІ**

**Шапошник А. С.**

*студент гр. 25МСО(І)д*

*ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»*

*м. Дніпро, Україна*

**Глазова В. В.**

*кандидат педагогічних наук, доцент, науковий керівник*

*ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»*

*м. Дніпро, Україна*

Сучасні цифрові технології відіграють ключову роль у трансформації освітнього процесу, що відбувається в межах реалізації концепції Нової української школи. Інформатика як навчальний предмет стає основою формування інформаційно-цифрової компетентності, яка є однією з найважливіших для успішної професійної та соціальної діяльності в ХХІ столітті. У НУШ цифрові технології не лише доповнюють традиційне навчання, а й змінюють його формат, роблячи уроки більш інтерактивними, гнучкими та орієнтованими на потреби кожного учня. Використання сучасних цифрових інструментів створює умови для персоналізації навчання, коли учень може рухатися у власному темпі та отримувати матеріал у зручних формах: інтерактивних вправах, відеолекціях, симуляціях чи віртуальних лабораторіях. Хмарні сервіси, такі як Google Workspace чи Microsoft 365, забезпечують можливість спільної роботи над проектами, зберігання та обміну навчальними матеріалами, що сприяє розвитку комунікативних умінь і формує навички співпраці.

Особливе місце в сучасному курсі інформатики займають онлайн платформи та середовища для навчання програмування, такі як Scratch, Code.org та різноманітні тренажери з алгоритмізації. Вони дозволяють учням у доступній формі опановувати складні поняття та створювати власні ігри, анімації чи проекти. Такі інструменти роблять навчання цікавим

і водночас розвивають логічне, алгоритмічне та критичне мислення. Поширення інтерактивних дошок, мультимедійних панелей, VR- і AR-технологій відкриває нові можливості для візуалізації матеріалу. За допомогою віртуальної реальності учні можуть «побачити» принципи роботи комп'ютерних мереж чи внутрішню будову комп'ютера, а доповнена реальність дозволяє оживляти плакати, схеми та навчальні моделі. Такий підхід підвищує рівень мотивації та полегшує засвоєння складних абстрактних тем [1].

Набори робототехніки, такі як micro:bit, Lego Mindstorms та Arduino, забезпечують практичне застосування знань, формуючи навички інженерного мислення. Вони поєднують теоретичні знання з інформатики, фізики та математики, забезпечуючи їх практичне застосування. Робототехнічні проекти сприяють розвитку креативності, вміння працювати в команді, аналізувати складні завдання та шукати оптимальні рішення. Учні проходять повний цикл розробки від ідеї до її втілення в робочому прототипі. Вони органічно поєднують предмети STEM напряму та дають можливість учням відчувати себе справжніми розробниками та інженерами. Це підвищує їхню самооцінку та мотивацію до вивчення точних наук [2].

Окрему увагу в сучасній школі приділяють технологіям штучного інтелекту, які стають важливою частиною цифрового середовища. Інструменти аналізу даних, генератори зображень чи текстів, освітні чат-боти допомагають урізноманітнювати навчальний процес, створювати індивідуалізовані матеріали чи тренувальні завдання. Разом із тим важливо навчати дітей відповідальному використанню ШІ, розумінню етичних аспектів і загроз, пов'язаних з цифровим світом [3].

Запровадження цифрових технологій на уроках інформатики активно сприяє розвитку ключових компетентностей учнів, зокрема комунікативної, соціальної та інформаційно-цифрової. Виконуючи проекти, школярі вчаться презентувати ідеї, аналізувати інформацію та створювати власний контент, отримуючи важливий досвід творчої діяльності. Разом із перевагами виникають і виклики: необхідність підвищення цифрової компетентності

педагогів, оновлення матеріально-технічної бази шкіл, забезпечення рівного доступу до технологій, а також навчання основам кібербезпеки та академічної доброчесності.

Сучасні цифрові технології перетворюють інформатику з предмета про комп'ютери на середовище, де учні вчать мислити, досліджувати та відповідально користуватися цифровими інструментами. Саме тому вони є ключовим чинником у підготовці молоді до викликів цифрової епохи. Цифровізація освіти стимулює інтеграцію міжпредметних зв'язків, розширює можливості для самостійного навчання та формує готовність учнів до майбутніх професій.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Глазова В. В. Використання диджитал-технологій під час уроків інформатики. *Академічні візії*. 2024. Вип. 29. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/949>
2. Кошовий В. Особливості впровадження STEM-проектів робототехніки на базі контролера Arduino на уроках інформатики. *Вересень*. 2024. Т. 2. №. 101. С. 53–65.
3. Морзе Н. В., Варченко-Троценко Л. О., Терлецька Т. С., Смирнова-Трибульська Є. М. Штучний інтелект у ролі асистента вчителя початкової школи. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету* : Електронне наукове фахове видання. 2023. № 15. С. 97–115.

## **ОНЛАЙН-СИМУЛЯЦІЇ ЯК ЗАСІБ ПОДОЛАННЯ АБСТРАКТНОСТІ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ У СТУДЕНТІВ**

**Яценко С. В.**

*студентка гр. ГСз-25-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Кайдан В. П.**

*старший викладач кафедри гірничої справи, науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Фізика часто сприймається студентами як складна й абстрактна дисципліна, оскільки значна частина її понять ґрунтується на математичних моделях, невидимих процесах та ідеалізованих умовах. Багато явищ неможливо безпосередньо спостерігати й це створює бар'єр між теоретичними знаннями та реальними механізмами, що нерідко ускладнює засвоєння матеріалу й знижує навчальну мотивацію. Одним із найбільш ефективних сучасних засобів подолання цієї абстрактності є онлайн-симуляції – інтерактивні віртуальні моделі, що дозволяють студентам спостерігати та досліджувати фізичні процеси у наочній формі.

Онлайн-симуляції створюють навчальне середовище, у якому абстрактні моделі набувають вигляду інтуїтивно зрозумілих динамічних процесів. Студент може змінювати умови експерименту, регулювати параметри, зупиняти процес, повертатися до попередніх стадій – тобто безпосередньо взаємодіяти з моделлю. Такий формат забезпечує рівень наочності та гнучкості, який у традиційній лекції часто недосяжний.

Важливо, що симуляції дають змогу вивчати явища на різних рівнях: макроскопічному, мікроскопічному та концептуальному. Наприклад, моделювання руху молекул у газі дозволяє побачити хаотичну поведінку частинок, яка зазвичай залишається недоступною для прямого спостереження. Аналогічно, симуляції електричних кіл дають можливість простежити напрям руху

електронів і вплив зміни напруги чи опору – процеси, що у традиційному викладанні часто залишаються лише уявними.

Однією з ключових переваг онлайн-симуляцій є можливість керування фізичними параметрами. Можна змінювати масу, силу, жорсткість пружини, коефіцієнт тертя, частоту коливань, довжину хвилі та інші характеристики і одразу бачити, як це впливає на поведінку системи: «живий експеримент» перетворює абстрактні закономірності на конкретні візуальні залежності.

Онлайн-симуляції також сприяють індивідуалізації навчання. Студент працює у власному темпі, може повторювати експерименти необмежену кількість разів, зупинитися на складних моментах та обирати власну траєкторію пізнання. Це зменшує психологічний бар'єр перед складними темами й сприяє більш глибокому розумінню матеріалу.

Психолого-дидактичний ефект онлайн-симуляцій ґрунтується на кількох важливих механізмах. Візуалізація замінює словесно-абстрактний опис конкретною моделлю: студент не просто чує про закон, він бачить його дію. Інтерактивність перетворює пасивного слухача на активного дослідника: маніпулювання моделлю сприяє кращому зосередженню та запам'ятовуванню. Можливість багаторазового повторення експериментів дозволяє перевіряти гіпотези та спостерігати наслідки зміни параметрів. Зміна масштабів (від макро- до мікрорівня) робить доступними ті процеси, які в реальності залишаються невидимими. Нарешті, безпеність і доступність моделювання дозволяють вивчати явища, що у реальному експерименті є небезпечними або технічно складними.

Приклади таких можливостей зустрічаються у різних тематичних симуляціях. Моделювання руху тіл дозволяє спостерігати зміну положення, швидкості та прискорення у реальному часі, графіки перестають бути абстракцією та пов'язуються з конкретним рухом. Мікроскопічні симуляції демонструють динаміку частинок у газах, особливості їх зіткнень і зміни енергії. Симуляції електричних кіл роблять зрозумілими поняття напруги, струму та розгалуження, оскільки студент бачить зміну режимів роботи при модифікації схеми.

Таким чином, онлайн-симуляції є потужним дидактичним інструментом, що дозволяє значною мірою подолати абстрактність фізичних явищ. Завдяки наочності, інтерактивності та можливості багаторазового експериментування вони забезпечують глибше розуміння закономірностей, активізують навчальну діяльність і підвищують інтерес до предмета. Використання віртуальних моделей трансформує фізику у доступну систему причинно-наслідкових зв'язків, зменшує когнітивне навантаження та створює умови для індивідуалізованого навчання. У результаті симуляції сприяють формуванню наукового мислення та фундаментального розуміння фізичних процесів серед студентської молоді.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Dy, A. U., Lagura, J. C., & Baluyos, G. R. (2024). Using PhET Interactive Simulations to Improve the Learners' Performance in Science. *EduLine: Journal of Education and Learning Innovation*, 4 (4), 520–530. DOI: <https://doi.org/10.35877/454RI.eduline2981>.
2. Kaidan, N., Velychko, V., Fedorenko, E. & Kaidan, V. (2024). The use of computer modeling in the educational process based on the example of studying Coulomb's law. *Journal of Physics : Conference Series*, Volume 2871, XVI International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2024) 15/05/2024-17/05/2024 Kryvyi Rih, Ukraine. DOI: 10.1088/1742-6596/2871/1/012014.

*Наукове видання*

## **Start in Science**

### **Студентська науково-технічна конференція**

**Збірник тез і анотацій наукових доповідей**

Дизайн обкладинки *В. Савельєва*

Технічний редактор *О. Гринюк*

Верстка *Ю. Семенченко*



Формат 60x84/16.  
Гарнітура Cambria.  
Ум. друк. арк. 20,34.  
Замовлення № 1225-112.

Видавництво та друк: Олді+  
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
тел.: +38 (095) 559-45-45, e-mail: office@oldiplus.ua  
Свідоцтво ДК № 7642 від 29.07.2022 р.

Замовлення книг:  
тел.: +38 (050) 915-34-54, +38 (068) 517-50-33  
e-mail: book@oldiplus.ua

