

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**



**ЕКОНОМІЧНІ Й ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОМПЛЕКСНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ
ТА УТИЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНИХ
І ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ**

Монографія

Під загальною редакцією академіка НАН України Г.Г. Півняка

Дніпропетровськ
НГУ
2013

УДК 621.311.6
ББК 33
Е 45

Рекомендовано до видання вченою радою Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (протокол № 3 від 26 березня 2013).

Рецензенти:

Четверик М.С., д-р техн. наук, проф., завідувач відділу геомеханічних основ технологій розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки НАН України;

Кроїк Г.А., д-р геол. наук, проф., професор кафедри зоології та екології Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Авторський колектив:

Г.Г. Півняк, О.С. Бешта, П.І. Пілов, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський, В.І. Голінько, К.М. Бас, О.В. Балахонцев, А.І. Горова, А.В. Павличенко, А.С. Авдющенко, О.Ю. Чуріканова, П.Б. Саїк, В.Г. Лозинський.

Економічні й екологічні аспекти комплексної генерації та утилізації енергії в умовах урбанізованих і промислових територій: монографія / Під заг. ред. Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 176 с.

ISBN 978 – 966 – 350 – 403 – 2

У монографії розглянуто проблеми енергетичного забезпечення урбанізованих і промислових територій України, з огляду на його екологічну й економічну компоненти. Створено наукові засади системного моніторингу енергогенерувальних систем і споживачів енергії. Подано рекомендації щодо зниження витрат умовного палива на постачання зазначених територій. Описано енергозбережні системи в застосуванні до технологій підземної газифікації вугілля, а також розроблено наукові основи гібридизації вітчизняного автомобіля бюджетного класу. Науково обґрунтовано методи біоіндикації при оцінюванні рівнів забрудненості ґрунтів важкими металами. Наведено рекомендації щодо формування системи показників для оцінювання економічного розвитку промислових підприємств.

Для широкого кола інженерно-технічних працівників вугільної та енергетичної галузей промисловості, науково-дослідних і проектних організацій. Може стати в пригоді студентам вищих навчальних та учням середніх професійних закладів при вивченні гірничих спеціалізованих дисциплін.

Під загальною редакцією академіка НАН України Г.Г. Півняка.

Видано за редакцією авторів.

УДК 621.311.6
ББК 33

© Г.Г. Півняк, О.С. Бешта, П.І. Пілов,
М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський,
В.С. Фальштинський, В.І. Голінько, К.М. Бас,
О.В. Балахонцев, А.І. Горова, А.В. Павличенко,
А.С. Авдющенко, О.Ю. Чуріканова, П.Б. Саїк,
В.Г. Лозинський, 2013

ISBN 978 – 966 – 350 – 403 – 2

© Державний ВНЗ «НГУ», 2013

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ.....	10
1.1 Сучасний стан світової енергетики.....	10
1.2 Рекомендації щодо енергетичного забезпечення урбанізованих та промислових територій України з урахуванням екологічної складової.....	15
1.3 Удосконалена методика енергетичного забезпечення урбанізованих та промислових територій України.....	23
1.3.1 Новітні принципи когенераційних і теплонасосних енергетичних технологій.....	23
1.3.2 Методика оцінки високоефективного використання когенераційних технологій.....	24
1.3.3 Енергетична ефективність роботи системи “когенераційна установка – ґрунтовий акумулятор – тепловий насос”.....	28
1.3.4 Потенціал виробництва штучного газу при газифікації вугільних пластів.....	30
1.3.5 Оцінка когенераційних технологій енергетичного забезпечення урбанізованих та промислових територій.....	32
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКИ ЩОДО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ.....	36
2.1 Методика проведення випробувань на стендовій експериментальній установці з підземної газифікації вугілля.....	36
2.1.1 Конструкція стендової установки.....	37
2.1.2 Моделювання робочих параметрів процесу СПГВ по критеріях подібності до натурних умов.....	41
2.1.3 Монтаж експериментальної стендової установки.....	45
2.1.4 Інструкція з експлуатації установки.....	54
2.1.5 Інструкція з техніки безпеки.....	56
2.2 Методика гібридизації вітчизняного автомобіля бюджетного класу...	69
2.2.1 Програма випробування витрати палива автомобілем на холостому ходу.....	69
2.2.2 Програма випробування витрати палива автомобілем залежно від швидкості руху.....	71
2.2.3 Установлення апаратури для проведення досліджень.....	72
2.2.4 Дослідження базового зразка автомобіля.....	75
2.2.4.1 Результати дослідження витрати палива автомобілем на холостому ході.....	75
2.2.4.2 Результати дослідження витрати палива автомобілем під час руху на різних швидкостях.....	76
2.2.5 Техніко-економічні аспекти гібридизації вітчизняного автомобіля бюджетного класу.....	77

2.2.6 Оптимальна топологія гібридного приводу і вимоги до системи керування автомобіля ЗАЗ «Сенс».....	78
2.2.7 Експериментальні дослідження динамічних і енергетичних показників автомобіля ЗАЗ «Сенс» в міському циклі. Формування закону керування станом заряду накопичувача.....	82
РОЗДІЛ 3 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ.....	86
3.1 Загальна оцінка впливу об'єктів енергозабезпечення на стан довкілля урбанізованих та промислових територій України.....	86
3.2 Екологічні наслідки видобутку вугілля.....	89
3.3 Соціально-економічні наслідки видобутку енергоносіїв у складних гірничо-геологічних умовах.....	98
3.4 Економічна оцінка аварійності та небезпек, що притаманні процесам енергозабезпечення.....	100
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТА ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ БІОІНДИКАЦІЇ.....	107
4.1 Характеристика екологічної ситуації на гірничодобувних територіях та підходи до її оцінки.....	107
4.2 Біоіндикаційна оцінка екологічного стану гірничопромислових центрів Дніпропетровської області.....	108
4.3 Оцінка ступеня забрудненості ґрунтів важкими металами.....	110
4.4 Обґрунтування можливості використання методів біоіндикації для оцінки рівнів забрудненості ґрунтів важкими металами.....	117
4.4.1 Кореляційний аналіз вмісту рухомих форм важких металів у ґрунтах і рівнів ушкодженості біоіндикаторів.....	117
4.4.2 Побудова моделей прямолінійної регресії між відгуками біоіндикаторів та вмістом у ґрунті рухомих форм важких металів.....	119
4.5 Удосконалення методики оцінки ступеня небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами.....	128
РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ, ЯКІ ФУНКЦІОНУЮТЬ НА ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЯХ УКРАЇНИ.....	131
5.1 Оптимізація використання енергетичного потенціалу регіону засобами економіко-математичного моделювання.....	131
5.2 Побудова економіко-математичної моделі визначення оптимальних обсягів видобутку вугілля.....	135
5.3 Метод динамічного програмування для вирішення оптимізаційних задач.....	140
5.4 Концептуальні засади запровадження системи показників для оцінки рівня економічного розвитку підприємств.....	147

5.5 Формування системи показників для оцінки рівня економічного розвитку підприємств, які функціонують на промислових територіях України.....	152
5.6 Врахування показників операційної діяльності промислових підприємств при оцінці рівня економічного розвитку.....	154
5.7 Врахування показників обсягу та структури капіталу промислових підприємств при оцінці рівня економічного розвитку.....	163
ВИСНОВКИ.....	170
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	174

ВСТУП

Економічна криза, яка спіткала Україну, велика залежність народного господарства від імпорту первинних паливно–енергетичних ресурсів гостро ставить питання про їх економічне і раціональне використання. Енергоощадливі технології стають одним із основних чинників виходу держави із створеної ситуації.

Державна політика України з енергоресурсозбереження передбачає суттєве розширення обсягів використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії з урахуванням екологічної складової. Вже в найближчі роки повинна бути забезпечена економія традиційних паливно – енергетичних ресурсів на рівні 8 – 10% від їх загального споживання [1]. Завдяки цьому можуть бути зекономлені значні обсяги традиційних енергоносіїв і коштів із державного бюджету на їх одержання за імпортом.

Виробництво теплової та електричної енергії в державі не відповідає сучасному технічному рівню. Основне теплоелектрогенеруюче оснащення теплових станцій (ТЕС) має високий рівень відпрацювання. За даними [2] у 2010 р. 95% енергоблоків відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. год), а 53,9% енергоблоків знаходяться в експлуатації понад 100 тис. год, що перевершило межу фізичного зносу і морального старіння. До 2012 р. термін експлуатації 35 років і більше перевищить біля 80% обладнання.

Перспектива стійкого розвитку України в деякій мірі залежить від правильного вибору курсу. Тому у 2006 році Кабінет Міністрів України затвердив “Енергетичну стратегію України на період до 2030 р.”. Крім виробництва енергії традиційними методами в Енергетичній стратегії приділяється важлива увага нетрадиційним і відновлюваним джерелам енергії. У порівнянні з 2005 р. видобуток шахтного метану зросте з 0,5 до 5,8 млн т у.п.; біоенергетика з 1,3 до 2,3; сонячна енергетика з 0,12 до 1,13; геотермальна енергетика з 0,002 до 0,7; вітроенергетика з 0,18 до 0,7 і енергія навколишнього середовища (низькопотенціальне тепло відходів, землі та ін.) з 0,2 до 22,7 млн т у.п. В Україні з 2030 р. планується мати енергію від теплових насосів у 15,9 разів більше ніж 15 держав Європи.

У даний час у всьому світі велика увага приділяється процесам когенерації, що забезпечить комбіноване (сумісне) виробництво електричної, механічної і теплової енергії від одного джерела палива (наприклад, вугілля, природного та штучного газу) та ін. і створення на їх базі систем акумулювання енергії.

Наприклад, в Україні пропонується використовувати штучний генераторний газ, який утворюється в процесі підземної газифікації кам’яних і бурих вугільних пластів.

Ця технологія розроблена в Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) на основі принципів і економічно ефективних технологічних схем газотурбінної, комбінованої системи вільно – поршневого двигунів і акумуляторів теплової енергії.

Раніше розроблена нами «Методика оцінки і високоефективного використання енергетичного потенціалу геотехнічних видобувних систем України» [3] має деякі недоліки, а саме: вона виконана для традиційних методів виробництва енергії і частково щодо одержання енергії від геотермальних ресурсів України.

Розробка удосконалення методики та рекомендацій щодо енергетичного забезпечення урбанізованих та промислових територій України дозволяє не лише комплексно вирішити проблему виробництва теплової і електричної енергії зі значним зменшенням витрат палива, але і забезпечувати надійне функціонування енергетичної системи України.

Дана робота виконана в рамках реалізації проекту: «Комплексна генерація та утилізація енергії в умовах урбанізованих та промислових територій України» Науково-навчального центру Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет»: «Проблеми високоефективного використання енергетичного потенціалу геотехнічних систем України» на виконання заходів Міністерства освіти і науки України Державної цільової науково-технічної та соціальної програми «Наука в університетах».

Вклад авторів у роботу:

Г.Г. Півняк, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський, П.І. Пілов – загальне керівництво, вступ, розділи 1, 2;

О.С. Бешта, К.М. Бас, О.В. Балахонцев, П.Б. Саїк, В.Г. Лозинський – розділ 2;

В.І. Голінько – розділ 3;

А.І. Горова, А.В. Павличенко – розділ 4;

А.С. Авдющенко, О.Ю. Чуріканова – розділ 5.

Автори висловлюють щирю вдячність усім учасникам даного проекту за надані результати досліджень та консультації щодо підготовки цієї роботи та особисто Є.В. Тимошенку та Л.С. Шломіній за внесок у систематизацію матеріалів, комп'ютерну верстку та графічне оформлення монографії.

РОЗДІЛ 1 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

1.1 Сучасний стан світової енергетики

Світові тенденції до визначених пріоритетів в концепції подальшого розвитку енергетики відносять розвиток її традиційного і альтернативного сектора. Мова йде про теплову й електричну енергетику, яка сьогодні в якості енергоносіїв використовує вугілля, мазут і газ. Ядерна енергетика через невирішеність питань захоронення радіоактивних відходів ядерного циклу на нинішньому етапі не може відноситись до пріоритетів.

Для більшості країн світу очевидно, що вибраний для подальшого розвитку шлях повинен забезпечити при мінімальних витратах необхідні енергетичні потреби країни, гармонізувати функціонування всього паливно-енергетичного комплексу, вписати його в реально існуючу в країні екологічну ситуацію і забезпечити енергетиці перспективу її стійкого розвитку.

Світова енергетика в значній мірі формується під впливом двох аспектів. По-перше, це безперервне зростання потреб в енергоносіях з одночасним подорожчанням їх первинних джерел (природного газу, нафти, вугілля), запаси яких обмежені. В цій ситуації багато країн почали форсування видобутку газу і нафти (за наявності розвіданих запасів), а також прискореними темпами почали розвивати енергетику на базі твердого палива і альтернативної енергії у вигляді відновлюваних джерел енергії (сонячна енергія, вітрова, гідравлічна, геотермальна, низькопотенційне тепло землі, води, повітря), нетрадиційні технології (воднева енергетика, газифікація і піроліз, теплонасосні системи, паливні елементи, фотоелектричні перетворювачі, термоелектричні генератори, термоємні установки і енергоресурсоощадження).

По-друге, останніми роками особливе загострення викликала проблема охорони навколишнього середовища.

Зростаючі шкідливі викиди в атмосферу, тверді і рідкі відходи гірничого виробництва, які утворюються від спалювання органічного палива, вимагають розробляти новітні безвідходні й екологічно чисті технології в промисловості й енергетиці. Особливу актуальність набувають пошуки шляхів виробництва енергії з відновлюваних і енергоресурсоощадливих джерел. Кожна тисяча кВт/год електроенергії, яка виробляється з відновлюваних джерел, в середньому відвертає викиди в атмосферу 4,2 кг твердих частинок, 5,65 кг оксидів сірки, 1,76 кг оксидів азоту, а кожна вироблена Гкал тепла – 0,2 кг твердих частинок, понад 3 кг оксидів сірки і біля 1 кг оксидів азоту.

Необхідність вирішення цих проблем призвела до створення в Національному гірничому університеті прогресивної і екологічно ощадливої технології, яка може вирішувати ці й інші завдання одночасно. Ця технологія називається свердловинною підземною газифікацією вугілля (СПГВ). СПГВ – це термохімічний процес взаємодії органічної маси (вуглецю) твердих горючих копалин з окислювачем (повітрям, водяною парою, киснем, діоксидом вуглецю

чи їх сумішами при температурі 800 – 1300 °С) на місці залягання пластів, внаслідок чого частина палива трансформується у горючі гази, які видають на поверхню по свердловинах. Технологічна концепція СПГВ принадна своєю простотою. По суті, система газифікації вугільних пластів має декілька бурових свердловин, які містять нагнітальну свердловину, через яку з поверхні землі у вугільний пласт подають дуттьові реагенти. В межах пласта високотемпературні хімічні реакції перетворюють вугілля у горючі гази. Далі ці гази поступають через газовідвідну свердловину до поверхневих установок, де вугільний газ можна використовувати як енергоносіє (газоподібне паливо) при його спалюванні, або для виробництва продуктів для хімічної промисловості.

Високого розвитку за кордоном одержали відновлювані джерела енергії. Сонячна енергетика володіє самим найбільшим потенціалом із відновлюваних джерел. В сонячній енергетиці виділяють три напрямки: сонячні водонагрівальні установки, сонячні електростанції і фотоелектричні перетворювачі. Сонячні водонагрівальні установки звичайно мають плоский сонячний колектор, в якому нагрівається вода, повітря чи інший теплоносіє. Ці пристрої характеризуються величиною площі нагріву. Сумарна площа сонячних колекторів у світі досягає 50 – 60 млн м², що еквівалентно 5 – 7 млн т у.п. В Україні їх використання незначне. Найбільш ефективні сонячні колектори з підземними акумуляторами тепла.

Сонячні електростанції (СЕС) використовують зазвичай паросиловий цикл, але для цього необхідно будувати концентратори сонячної енергії. Так, в США діють сім СЕС загальною потужністю 354 МВт.

Відносно фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), то сьогодні у світі спостерігається справжній бум у цій області. У 2000 році в світі було вироблено ФЕП загальною потужністю 260 МВт. Найбільше всього у Японії – 80 МВт. ККД ФЕП досягають 24% для монокристалічних перетворювачів, 17% – для полікристалічних і 11% – для аморфних. Основним матеріалом є кремній. На жаль, фотоелектрика сьогодні є самим дорогим способом одержання електроенергії. Ціна модулів ФЕП досягає 4000 дол./кВт, а установок на їх основі – навіть до 10 тис. доларів. Найдорожчою є і вартість виробленої електроенергії: 15 – 40 центів/кВт. В області фотоелектрики найбільш перспективними вважаються такі напрямки: ФЕП з концентратами сонячної енергії; ФЕП на основі арсеніда галля – арсеніда алюмінія; тонкоплівкові сонячні елементи.

До вітрової енергії як до відновлюваного джерела енергії найбільший інтерес проявляється в Німеччині, США, Данії. В 2002 році сумарна потужність вітроенергетичних установок у світі склала 31,1 ГВт. Це досить велика величина, і чекається подальше суттєве зростання у майбутньому, хоча є низка екологічних проблем, пов'язаних з сильним шумом від установок і великою площею відчуження земель. В Україні використання вітру в енергетиці незначне.

Використання іншого виду відновлюваних джерел енергії в Україні може бути досить суттєвим, оскільки Україна має високий потенціал геотермальної енергії, а Крим і Карпатський регіон є самими багатими

районами країни за її запасами. Вважається, що якщо температура геотермальних джерел (гаряча вода, підземні гарячі породи) перевищує 100°C, то вигідніша генерація електричної енергії на ГеоЕС. Якщо температура трохи менша від 100°C, то гаряча вода може бути використана для теплопостачання, при занижених температурах необхідно використовувати теплові насоси. Слід відзначити, що в Росії вже є досвід використання геотермальної енергії в енергетиці. В 1970 році була споруджена на Камчатці Партунська ГеоЕС, на якій вперше в світі була використана фреонова турбіна потужністю 815 кВт, вона працювала на гарячій воді з температурою всього 80°C. Зараз у світі загальна потужність систем геотермального теплопостачання складає 17 ГВт, а потужність ГеоЕС – 10 ГВт.

Із вторинних джерел енергії особливу увагу звернемо на горючі тверді побутові відходи (ТПВ). Побутові та інші відходи – це одна із крупних екологічних проблем сучасного суспільства. Особливістю ТПВ є те, що їх можна використовувати для одержання теплової й електричної енергії. Найбільшу кількість ТПВ виробляють у США – 250 млн тонн на рік. При цьому 10% відходів спалюються і виробляється тепла й електрична енергія. Кількість сміттєспалювальних заводів США складає 125 одиниць (1993 рік). В Японії функціонують 1800 сміттєспалювальних установок, на яких спалюється 72% побутових відходів. У багатьох країнах прийняті національні програми з переробки відходів і одержання з них значної кількості теплової і електричної енергії. Із ТПВ можна одержувати і біологічний газ, який є продуктом анаеробного збродження у звалищах з виробленням газів: метану і вуглекислого газу. Далі біогаз піддається очищенню і використовується для спалювання в різних установках.

До нетрадиційних технологій в першу чергу необхідно віднести водневу (H₂) енергетику. Вона цікава тим, що використовується водень, який має теплотворну здатність в 2,5 рази вищу, ніж природний газ, а запаси його необмежені, він екологічно чистий, а продуктом спалювання є вода. І дуже важливо, що його можна використовувати в паливних елементах, де відбувається пряме перетворення хімічної енергії в електричну.

До водневої енергетики також можна віднести:

- крупномасштабне виробництво водню з викопних і відновлюваних джерел енергії;
- виробництво паливних елементів і енергоустановок на їх основі;
- зберігання і транспортування водню;
- використання водню для одержання енергії у промисловості, на транспорті і в побуті.
- водневу безпеку.

Існує новий підхід до використання водню в енергетиці. Він полягає в доспалюванні водню разом з парою. Внаслідок цього досягаються більш високі параметри пари і, відповідно, більш високі параметри пари: більш високий ККД турбіни – до 55%.

Невеликі гідроелектростанції (НГЕС потужністю до 10 МВт) є самими економічними методами виробництва електроенергії. Вони характеризуються

досить тривалим терміном служби і низькою вартістю експлуатації і технічного обслуговування; можуть виробляти електроенергію з низькою собівартістю і такі системи звичайно служать 50 років і більше. В 2005 році вони забезпечили в Європі 10% від загального енергоспоживання і 67% від загального обсягу електроенергії, виробленими відновлюваними джерелами. Обороти Європейського сектора малої гідроенергетики складає біля 120 – 180 млн євро. На теперішній день в Європі в цій галузі задіяно біля 20 тис. людей і їх кількість може досягти 28 тис. людей до 2020 року. Обороти європейських турбін для ГЕС (малих і великих) складає близько 3,5 млрд євро. До 2020 року ця цифра може зрости до 5,5 млрд євро.

На ринку малих ГЕС вже представлені нові конструкції генераторів, такі як високополюсні синхронні генератори зі збудженням від постійних магнітів, які призначені для прямого підключення до електромережі чи у комбінації з перетворювачем частоти для роботи із змінною швидкістю. Такі генератори дозволяють уникати завищення обертів і роблять можливим створення досить компактних занурювальних у воду турбін.

На шахтах України видобування метану проводять в основному дегазаційним методом за допомогою свердловин, проведених з гірничих виробок до перерізу з вугільним пластом. З 200 млн м³ газу, який вилучається зі свердловин, утилізується тільки 80 млн м³ на рік як паливо котелень, інша частина не використовується з причин вибухонебезпечності і викидається в атмосферу, забруднюючи її. Всього шахтами України викидається в атмосферу близько 3 млрд м³ газу на рік.

На даний момент в Україні є науково-технічні розробки ІГТМ НАН України і АДІ ДВНЗ “ДонНТУ” (м. Горлівка) електророзрядної та гідродинамічної дії. Ці розробки можуть бути використані для інтенсифікації видобутку шахтного метану з свердловин, пробурених із гірничих виробок і з поверхні землі.

Навчені гірким досвідом першої енергетичної кризи 1973–1978 рр. уряди більшості розвинутих країн вже давно проводять заходи з підготовки своєї економіки до існування в епоху закінчення запасів нафти і газу. Одним із напрямів цієї політики є широкомасштабне впровадження теплонасосних установок (ТНУ), які використовують природні відновлювані джерела енергії чи утилізацію низкопотенційного викидного тепла промислових і комунально-побутових підприємств для одержання тепла більш високого потенціалу, яке з успіхом може бути використано, наприклад, в житлово-комунальному секторі економіки, в якому використовується велика кількість дорогого і дефіцитного органічного палива. В Америці понад 50 крупних фірм займаються виробництвом і продажем теплових насосів [4]. В Австрії 105 тис. теплонасосних станцій знаходяться в експлуатації і забезпечують щорічну економію мазуту в кількості 116 тис. т. У Швеції до 50% тепла для опалення виробляється на базі енергоефективної й екологічно чистої теплонасосної технології і до 2020 року намічають повністю відмовитись від спалювання органічного палива для цілей теплопостачання. У Китаї кількість впроваджених

теплових насосів тільки за останні 10 років виросла до 18 млн шт., що вивело цю країну по кількості працюючих ТНУ на друге місце у світі після США.

На жаль, якщо в розвинутих країнах кількість працюючих ТНУ досягає сотень тисяч і мільйонів, в Україні працюють лише одиничні установки. Тому нашу державу необхідно переорієнтувати на енергетично перспективні теплонасосні установки із терміном окупності 3 – 5 років і строком служби до першого капітального ремонту – 25 – 35 років.

Тепловий насос дозволяє на кожну 1 кВт/год витраченої енергії передати тепловому споживачу 3 – 4 кВт·год і більше теплової енергії. На кожну вироблену Гкал тепла тепловий насос дозволяє економити до 268 кг вугілля, 84 кг мазуту чи 58 м³ природного газу. Теплові насоси приблизно в 3 рази економічніші класичних електронагрівачів. ТНУ характеризується екологічною чистотою, високою надійністю, можливістю комбінованого виробництва теплоти і холоду в одній установці, пожежобезпечністю і повною автоматизацією режиму роботи.

ТНУ використовуються в основному на джерелах низькопотенційної теплоти і на відновлюваних джерелах енергії (атмосферне повітря, вода, природні водойми, ґрунт, ґрунтові і підземні води, сонячна радіація) чи вторинні енергетичні ресурси, які утворюються під дією людини (скидні повітряні і водяні потоки систем охолодження обладнання чи технологічних процесів, скидне повітря систем вентиляції, очищені води станцій аерації, та ін.).

У теперішній час розпочалось широкомасштабне впровадження когенераційних технологій в енергетиці. Такі технології дають можливість реалізувати одну із самих простих і в той же час радикальних ідей збільшення ефективності використання одного і того ж палива для вироблення електричної, теплової і механічної енергії в установках з тепловим двигуном шляхом корисного використання теплоти, що скидається двигуном в навколишнє середовище.

Як відомо, комунальні когенераційні теплоелектростанції у порівнянні з установками, які виробляють тільки електроенергію, мають великий коефіцієнт використання енергії палива (мазуту, вугілля чи природного газу) і мають багато додаткових переваг [5].

Однак після закінчення опалювального сезону, в зв'язку із суттєвим зниженням теплопотреб, виникають проблеми раціонального використання теплоти, що виробляється. Цю проблему можна вирішити в межах комунального теплопостачання, виконавши міжсезонне акумулювання теплоти з подальшим її використанням в опалювальний сезон. При використанні теплоти із акумулятора підтримання необхідного температурного режиму покладається на теплові насоси. Таким чином, виникає взаємодіючий технологічний ланцюг: “когенераційна установка – акумулятор – тепловий насос”. Тепловий акумулятор можна створити у ґрунтовому чи породному масиві. Мала теплопровідність землі дозволяє створити акумулятор і тепло землі забити через ґрунтові теплообмінники.

Система вертикальних теплообмінників з робочою висотою Z розміщується на прямокутній площині з кроком L в бурових свердловинах радіусом R_0 (рис.1). Система теплообмінників створює основну область акумулювання об'ємом

$$V_0 = L^2 (m - 1) (n - 1) = \text{const}, \quad (1.1)$$

де m, n – кількість теплообмінників по боках прямокутної площадки.

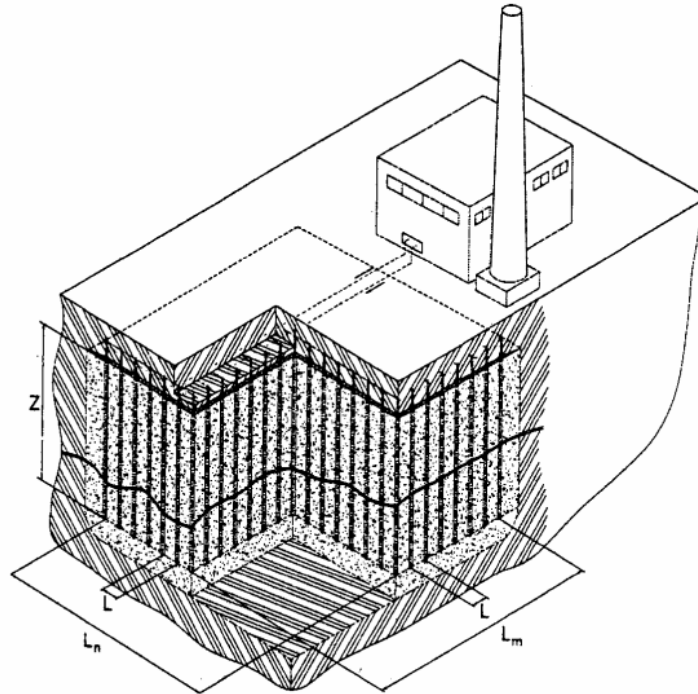


Рисунок 1.1 – Схема вертикальних трубчатих теплообмінників, розміщених в бурових свердловинах

Робота теплообмінників організується таким чином, щоб забезпечити рівномірне розподілення температури по всьому об'єму. Після розрядження акумулятора периферійні теплообмінники відключаються. Розрядка акумулятора закінчується при повному витягуванні закумульованої теплоти.

Оскільки закумульована теплота має низьку температуру, то після акумулятора вона поступає на тепловий насос. Ця теплота називається проміжним теплоносієм і подається у випарник теплонасоса. Далі пара проміжного теплоносія проходить через конденсатор і віддає тепло основному теплоносію, який подається споживачу.

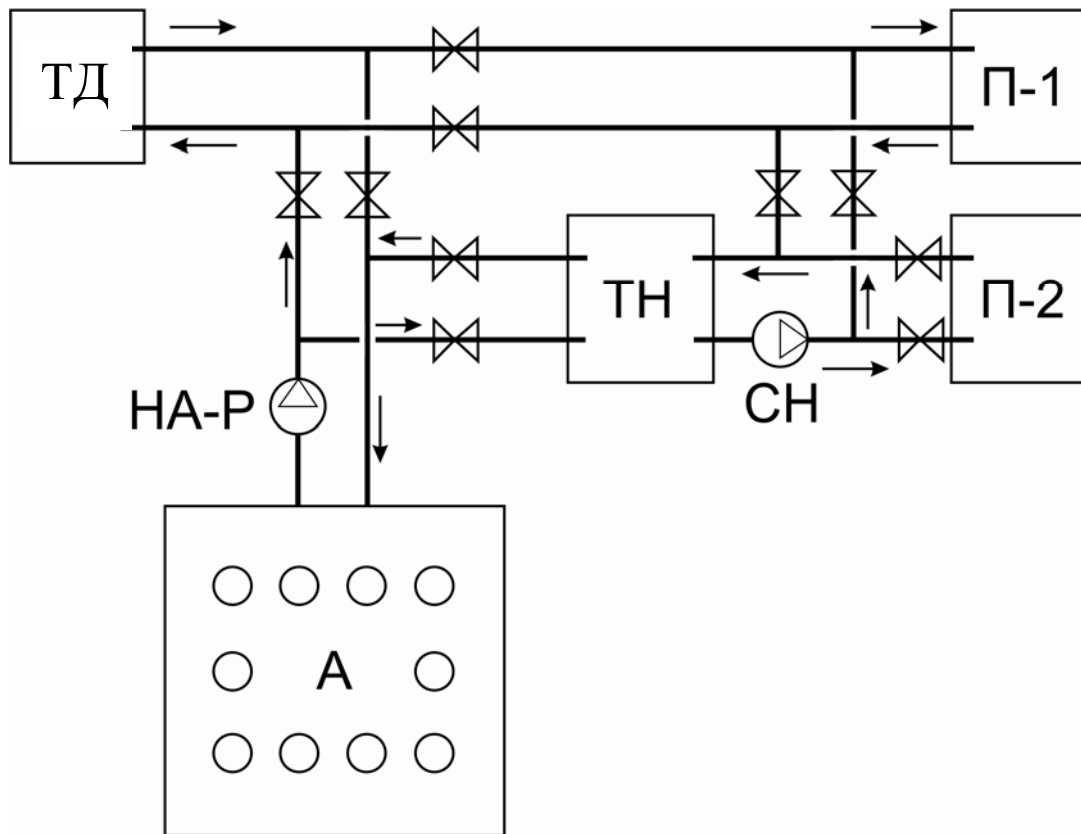


Рисунок 1.2 – Технологічна схема одержання низькопотенційної теплової енергії при використанні когенерації, акумулювання і теплових насосів: ТД – теплові джерела; П-1 і П-2 – споживачі теплоти; А – акумулятор; ТН – тепловий насос; СН – насос у трубопровідній мережі; НА-Р – насос акумулювання і розрядження

Реалізація проекту “когенерація – акумулювання – тепловий насос” (рис. 1.2) дозволить майже вдвічі збільшити теплову потужність когенераційних установок. У ролі акумулятора необхідно орієнтуватись на природний ґрунтовий чи породний масив, обладнаний системою вертикальних теплообмінників. За своїми характеристиками найбільше підходять для ґрунтових теплообмінників теплові насоси з поршневими компресорами. Здійснення вищезгаданого проекту бездоганне в екологічному відношенні, оскільки не використовуються ні геологічні, ні атмосферні природні джерела енергії. Роль і важливість проекту буде зростати у міру подорожчання виробництва традиційної енергії.

1.2 Рекомендації щодо енергетичного забезпечення урбанізованих та промислових територій України з урахуванням екологічної складової

У теперішній час в зарубіжних країнах набули широкого розвитку нові системи комбінованого (когенераційного) виробництва електричної, механічної і теплової енергії.

З урахуванням цих технологічних особливостей схеми і цикли когенераційних чи теплофікаційних установок можна охарактеризувати таким чином:

Когенерація – комбіноване виробництво електроенергії і теплоти з використанням в термодинамічному циклі робочого тіла з більш високою середньою початковою температурою і утилізацією теплоти робочого тіла у високотемпературній частині термодинамічного циклу.

Теплофікація – комбіноване виробництво теплоти і електроенергії при утилізації теплоти робочого тіла в низькотемпературній частині термодинамічного циклу.

Нам вбачається, що в термодинамічному аспекті Україна зможе також реалізувати когенераційні технології з використанням різних теплових двигунів.

Особливістю когенераційної технології є те, що в її основі лежить вироблення електричної і теплової енергії, тобто ці види енергії є базовими, а механічна – допоміжною і її виробництво покращує показники виробництва енергоносіїв.

Когенераційна технологія може бути реалізована на діючих шахтах, де тепло зараз виробляється у звичайних котельнях з газовим чи вугільним паливом. Для цього в котельні, топці, пічі монтується допоміжний енергетичний двигун (з газовою турбіною чи тепловим двигуном), який скидає відпрацьовані гази в топку. Вироблена в установці електрична енергія

$$\bar{N} = \frac{N_e}{N_e + N_m}$$
 повністю визначається термодинамікою енергетичного двигуна,

який характеризується коефіцієнтом надмірності повітря і коефіцієнтом теплового навантаження котла $K = \frac{P_k}{P_k^0}$ як відношення витрат спалюваного в

котлі палива до витрат P_k^0 при максимальному тепловому навантаженні котла, що одержують при спалюванні у вихлопних газах турбіни.

У шахтній котельні газова турбіна з електрогенератором розташовується під котельним агрегатом, для чого його підіймають на опорах на 2 – 3 м. Для спалювання палива у котлі до продуктів спалювання двигуна необхідно додавати свіже повітря, доводячи вміст кисню до 12 – 15% об'ємних.

Основними перевагами газопоршневих двигунів є (рис. 1.3):

– більший коефіцієнт використання теплоти палива на часткових навантаженнях і при режимі утилізації;

- низька питома вартість встановленого кіловата електрогенеруючого обладнання;
- зростаюче співвідношення номінальних електричних і теплових навантажень, що скорочує терміни окупності агрегатів.

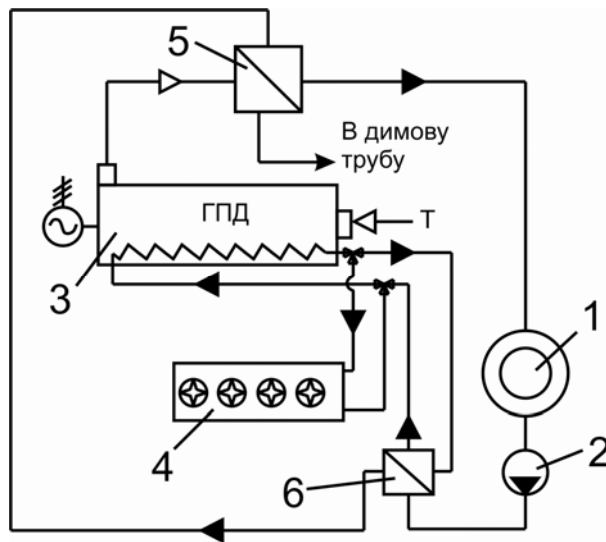


Рисунок 1.3 – Схема роботи когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна (ГПД) і двох утилізаторів теплоти: 1 – споживач теплової енергії; 2 – циркуляційний насос; 3 – двигун внутрішнього згоряння; 4 – повітряний охолоджувач ГПД; 5 – утилізаційний теплообмінник; 6 – утилізатор тепла контура охолодження ГПД; Т – подача палива в двигун.

В Україні можливе використання декількох варіантів схем когенерації енергоносіїв. До них належить: свердловинна газифікація вугільних пластів в комбінації з акумулюванням і парогенеруванням теплової енергії, вилучення тепла з геотермальних родовищ, метану при розробці газовугільних родовищ, низькопотенційного тепла порід Землі, води, повітря, при надбудові двигунів на теплових генеруючих потужностях, використання теплових насосів при утилізації низькопотенційного тепла артезіанських і шахтних вод, тепла річкової і морської води, вентиляційних викидів, оборотної води при охолодженні компресорів і інших машин тощо.

Успішне використання теплонасосних систем нараховує більш ніж 50 – вікову історію, однак ці системи все ще значаться в розділі альтернативних систем тепlopостачання.

Найбільше розповсюдження одержали парокompресорні і абсорбційні теплові насоси. На рис. 1.4 наведена схема тепlopостачання з використанням парокompресорного теплового насоса. Джерелом теплоти є геотермальна енергія.

Приклад застосування теплонасосних установок з метою підвищення ефективності енергоспоживаючих систем наведено на рис 1.6.

В останні 10 – 15 років у світовій технічній літературі все більше використовується термін COP (англ. – coefficient of performance – коефіцієнт перетворення) як характеристика процесів перетворення теплоти і роботи в термотрансформаторах.

Поняття термотрансформатор об’єднує всі відомі на сьогоднішній день енерготрансформуючі машини, тобто машини, які працюють за прямими термодинамічними циклами, машини, що працюють за зворотними

термодинамічними циклами і машини, які працюють за змішаним і гібридним термодинамічними циклами.

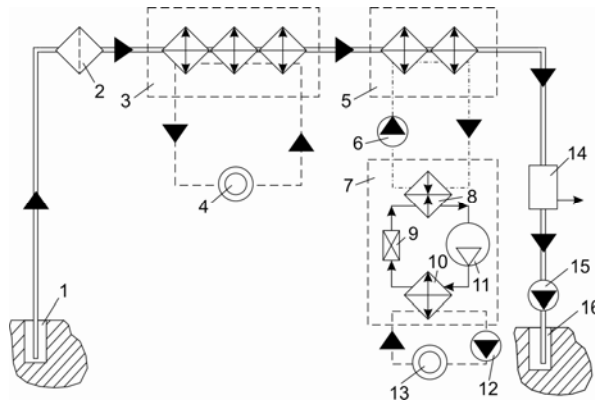


Рисунок 1.4 – Схема теплопостачання від геотермальної води з використанням теплової установки: 1 – експлуатаційна свердловина; 2 – фільтр; 3 – теплообмінники першого ступеня системи теплопостачання споживачів; 4, 13 – споживачі; 5 – теплообмінники другого ступеня; 6,12,15 – насоси; 7 – тепловий насос; 8 – випарник теплового насоса; 14 – котел (дублер); 16 – нагнітальна свердловина

Схема теплопостачання споживачів при використанні сонячної енергії і абсорбційного теплотрансформатора наведена на рис. 1.5.

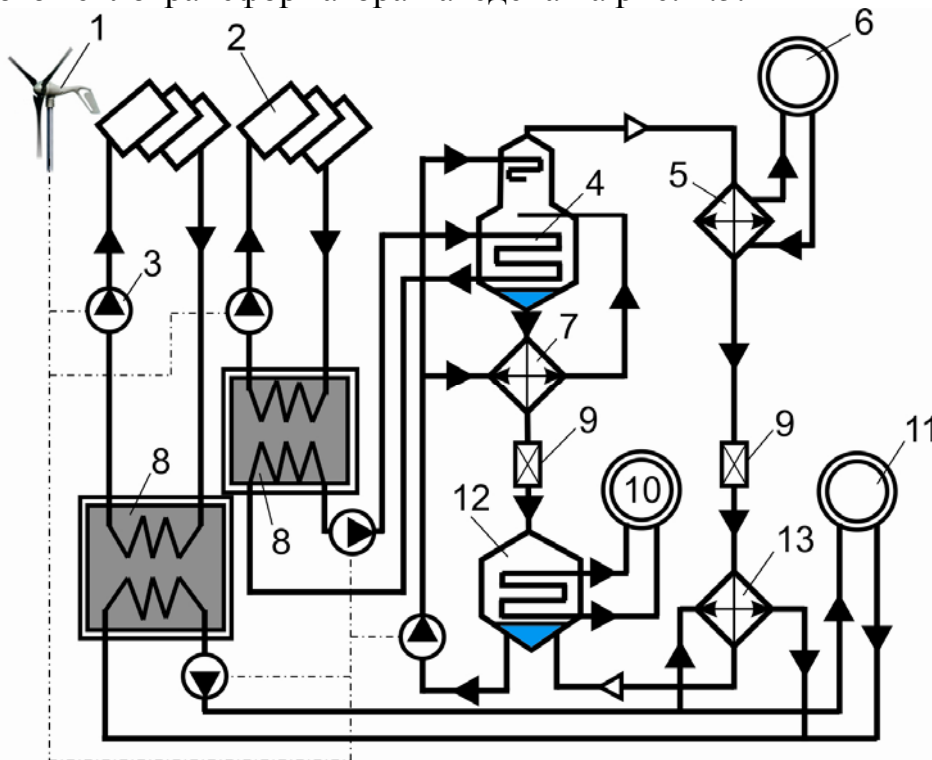


Рисунок 1.5 – Схема теплоохолодопостачання з абсорбційним тепловим насосом: 1 – вітродвигун; 2 – сонячні колектори; 3 – насос; 4 – генератор з дефлегматором; 5 – конденсатор; 6,10 – споживачі холоду; 7 – теплообмінник розчину; 8 – акумулятор теплоти; 9 – дросельні вентиля; 11 – споживач теплоти; 12 – абсорбер; 13 – випарник

Техніко-економічні показники теплонасосної установки наведені в табл. 1.1

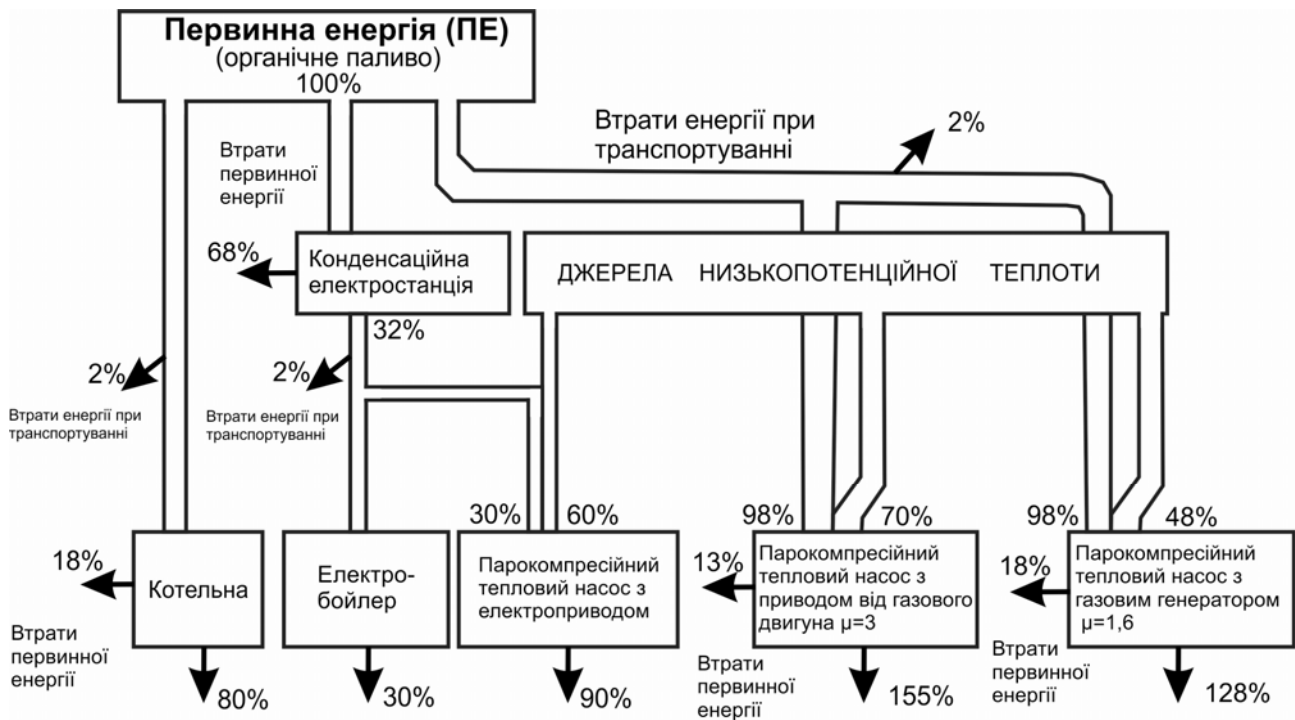


Рисунок 1.6 – Принципова схема застосування теплових насосів в системах енергопостачання споживачів

Таблиця 1.1 – Основні параметри теплонасосних систем

№ п/п	Показник	Одиниця виміру	Показник
1	2	3	4
1	Потужність теплового насоса	кВт	17
2	Річна кількість годин роботи, в тому числі опалення		6120
	гаряче водопостачання		4300
	кондиціонування		1100
3	Виробництво теплоти і холоду	кВт/рік (Гкал/рік)	104040 (91)
4	Спожита електроенергія (середня)	кВт	4
5	Коефіцієнт перетворення в залежності від різниці температур низькопотенційного джерела і споживача		3,3 ÷ 4,5
6	Вартість обладнання:	тис. грн	220
	– вартість теплового насоса	– // –	120
	– вартість ґрунтового колектора і системи опалення	– // –	60
	– монтажні роботи	– // –	40
7	Термін експлуатації теплонасосної установки	рік	20

Результати проведеного економічного аналізу [6] показали, що дійсно теплонасосна установка тепlopостачання є реальною альтернативою

традиційному теплопостачанню й електроопаленню. Особливо це можна відзначити при використанні теплонасосних систем для утилізації теплоти вихідних вентиляційних потоків у шахті для інтеграції реверсних теплонасосних установок в існуючих системах штучної теплової обробки шахтного вентиляційного повітря. Застосування ТНУ буде супроводжуватись значним енергозберігаючим, економічним і природоохоронними ефектами. Вибір раціональної теплової потужності ТН-системи для кожної конкретної шахти повинен ґрунтуватися на термoeкономічних розрахунках, які враховують специфіку як об'єкта, так і умов його енергозберігання.

Вплив енергетики на навколишнє середовище відбувається на всіх етапах і у всіх ланках енергетичного виробництва і має специфічний характер для кожної підгалузі. Тим не менше, проблеми, що виникають під час вирішення питань охорони навколишнього середовища в різних системах енергетики, мають багато спільного як між собою, так і по відношенню до інших галузей економіки і можуть бути класифіковані таким чином:

- 1) пошук раціональних шляхів зниження впливу енергетики на біосферу;
- 2) пошук раціональних шляхів зниження впливу енергетики на біосферу;
- 3) вибір природоохоронної стратегії;
- 4) реалізація природоохоронних заходів.

Як засоби для вирішення цих завдань можуть бути методологічні та методичні аспекти досліджень: математичні моделі, нормативи, основані на попередніх оцінках меж стійкості природних систем і їх елементів, методики розрахунку шкоди від забруднення середовища. Об'єктами енергетики, в тому числі з урахуванням вартості природних ресурсів як стимулу їх раціонального використання.

Виходячи із формули суспільного виробництва $P - T - \Pi + O$, перетворення ресурсів P технологіями T в продукцію Π і відходи O можна оцінити зміною порушеності, наприклад, забрудненості середовища від конкретного типу діяльності. Для кожної технології відомий вихід основного корисного результату $\Pi = K_m - P$ або рівень забрудненості $Q_{\text{вн}} = K_{oc} O$, де $Q_{\text{вн}}$ – частина відходів основного виробництва, яка використовується в якості вторинна сировина; K_m і K_{oc} – коефіцієнти рівня технології (безвідходності) і рівня корисного використання відходів. Умови підтримання допустимого рівня забрудненості середовища при вживанні ресурсу $B_z = P(1 - K_m)(1 - K_{oc}) \leq B_{\text{дон}}$ дозволяють виділити три напрями пошуку екологічно можливих рішень: зміна об'єму чи типу випущеної продукції Π , удосконалення технології основного виробництва (показник K_m) і природоохоронного обладнання (показник K_{oc}). При встановлених розмірах основного промислового виробництва необхідно розглядати варіанти по умові $K_m \rightarrow \max$ і $K_{oc} \rightarrow \max$ з границею 1.

У загальному вигляді вирішення задачі стану навколишнього середовища регіону може бути представлено для кожного варіанта технічного рівня виробництва розташованих в ньому галузей промисловості:

$$\begin{aligned} \sum P_{ij} &\rightarrow \max \\ \sum v_{ij} P_{ij} &< B_3 \end{aligned} \quad (1.2)$$

де P_{ij} – валова продукція i -го виробничого процесу конкретної галузі промисловості при j -му забрудненні; b_{ij} – питомий викид у навколишнє середовище j -го інградієнта забруднення на одиницю виробленої продукції i -го процесу; B_3 – загальний викид забруднень від промислових джерел у регіоні.

Задача вирішується для кожного варіанта на максимізацію випуску продукції при заданих обмеженнях стану навколишнього середовища типу

$$\begin{aligned} P_{ij} &\leq P_i \\ \sum P_i &\geq P_i, \\ V_e &\leq B_{\text{дон}} \end{aligned} \quad (1.3)$$

де P_i – максимально допустимий обсяг ресурсу, що видобувається при виробництві продукції i -го процесу; P_i – мінімально допустимий по забрудненню j -м забрудненням об'єм валової продукції i -го виробничого процесу; $B_{\text{дон}}$ – допустимий об'єм забруднень, що відповідає заданому нормативному рівню.

Обмеження типу $P_{ij} \leq P_i$ для гірничодобувного виробництва обумовлено в межах території регіону лімітуванням запасів корисних копалин.

Названі зв'язки еколого-економічної системи, функціонування якої віднесено до річного інтервалу часу, дозволяє зведенню рішення до задач лінійного програмування з цільовою функцією мінімізації маси викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище з урахуванням їх токсичності

$$\sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m \alpha_k \cdot v_{ik} \cdot x_i \rightarrow \min, \quad (1.4)$$

де α_k – відносний коефіцієнт токсичності викиду k – речовини, наприклад, $\sum_{k=1}^l \alpha_k = 1$; x_i – об'єм використання i -го палива, як енергоресурсу.

У рішенні приймаються такі обмеження:

– при зростанні випуску товарної продукції

$$\sum_{i=1}^m l_{\partial i} \cdot \alpha_{\partial i} \cdot x_i \geq A_j, j = \overline{1, n}; \quad (1.5)$$

– за витратами палива $\sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i \leq c_m$, де c_m – ліміт асигнувань на паливо;

– за лімітами на види палива $t'_i \leq x_i \leq t''_i$, $i = \overline{1, m}$, де t'_i і t''_i – відповідно найменший і найбільший можливий обсяг поставок i -го виду палива.

Для промислового регіону з гірничим і енергетичним виробництвом оцінки економічної ефективності природоохоронних заходів включають створення виробничих потужностей з нейтралізації газів як при видобуванні, так і внаслідок виробництва електроенергії.

Цільова функція – мінімум приведених витрат на використання палива в процесі виробництва енергії та створенні потужностей захисту середовища – мають вигляд:

$$\sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i + E_n \sum_{k=1}^l \alpha_k \cdot \alpha_k \sum_{i=1}^m \varepsilon_{ik} \cdot x_i \rightarrow \min, \quad (1.6)$$

де a_k – питомі капітальні вкладення в створення виробничих потужностей із захисту від викидів k -ї речовини; E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень.

Основні принципи раціонального природокористування. Здійснення раціонального природокористування (РПК) передбачає в урбанізованих і промислових регіонах удосконалення економічного механізму в напрямі забезпечення оптимального використання природних ресурсів у народному господарстві при науково обґрунтованій участі всіх гірничовидобувних галузей (ГВГ) і створенні зацікавленості кожної господарської організації в найбільш повному й економічно обґрунтованому використанні природних ресурсів.

Методичне вирішення питань природокористування передбачає розробку відповідних кадастрів природних ресурсів в урбанізованих регіонах, а також економічних нормативів за їх використання, які встановлюються за періодами перспективного планування. Необхідно вирішити питання: ціноутворення в системі природокористування; оцінки економічної ефективності результатів природокористування по лінії комплексної розробки родовищ корисних копалин; стимулювання найбільш повного виконання всіх робіт і їх планування в рамках поточних і перспективних планів як єдиного цілого; здійснення дійового контролю за використанням природних ресурсів і відходів гірничо-видобувного виробництва.

Основною умовою досягнення відзначеного є удосконалення планування і стимулювання максимального використання природних ресурсів, яке передбачає в першу чергу геолого-економічну оцінку всіх вугільних родовищ з урахуванням їх територіального розташування і, по-друге, – винесення досить обґрунтованих оцінок ефективності заходів раціонального природокористування.

У планах необхідно передбачити програми з комплексного використання природних ресурсів і мало- та безвідходних технологій, а також необхідні природоохоронні заходи, а також використання попутних і побічних, вторинних матеріалів і інші ресурси. Одночасно необхідно розробляти територіальні комплексні схеми охорони природи і раціонального використання природних ресурсів незалежно від відомчої приналежності, але з урахуванням відповідальності відповідних міністерств і відомств по лінії віднесених до них природоохоронних заходів.

Як методичний апарат територіально-галузевого планування РПК необхідно використовувати межрегіональне моделювання [6], яке дозволяє врахувати різні варіанти економічних зв'язків конкретних регіонів і співставляти один з одним збалансовані варіанти розвитку галузей в територіальному розрізі на довготривалій період.

Необхідно також підвищити ефективність інвестиційної політики РПК, передбачивши для цього виділення капіталовкладень.

Загальними для всіх ГДГ питаннями РПК повинні бути:

- визначення природних ресурсів за запасами і умовами залягання корисних копалин;
- оцінка наявних відходів виробництва (відвалів вуглевидобувних і збагачувальних підприємств) в частині їх використання за видами ресурсів, які містяться в них;
- складання каталогів (геологічних описів в поєднанні до функціонуючих і намічених до будівництва ГВП) і кадастрів, які містяться в надрах і у відвалах мінеральних ресурсів з їх економічними оцінками, які базуються на єдиному підході до багатоаспектної оцінки народногосподарської цінності цих ресурсів;
- установлення потреб у природних ресурсах в народногосподарському і регіональному розрізах на перспективу і по прийнятих періодах планування з обґрунтуванням на цій основі прогнозних і планових завдань гірничо-видобувним галузям;
- прогнозування і розробка природоохоронних заходів за видами порушень і забруднення навколишнього природного середовища;
- розробка цілісної системи економічного управління природокористуванням на рівні “галузь”– виробниче об’єднання (підприємство)” по лінії планування і стимулювання РПК чи перемагання (виключення) внутрішньовідомчого підходу.

1.3 Удосконалена методика енергетичного забезпечення урбанізованих та промислових територій України

1.3.1 Новітні принципи когенераційних і теплонасосних енергетичних технологій

На сьогоднішній час велику увагу у всьому світі приділяють процесам когенерації енергоносіїв, яка полягає у комбінованому (сумісному) виробництві електричної, механічної й теплової енергії при спалюванні палива (мазуту, природного газу, вугілля тощо), і створення на їх базі систем акумулювання енергії [7].

У Національному гірничому університеті розроблено принципово нові економічно й екологічно ефективні технологічні схеми газопаротурбінної комбінованої системи виробництва енергетичних ресурсів на єдиному енергоносії – газі, який одержують на основі свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ), вільнопоршневих агрегатів (ВПАТів) і акумуляторів теплової енергії.

За паливо пропонується застосовувати штучний генераторний газ, що утворюється під час підземної газифікації кам’яних і бурих вугільних пластів [8].

Дефіцит і подорожчання традиційного органічного палива (вугілля, нафти і природного газу), а також різке погіршення екологічної ситуації

викликало потребу у принципово новій екологічно чистій, технології одержання енергоносіїв.

У вугільній промисловості України можливі декілька варіантів технологічних схем когенерації енергоносіїв, до них можна віднести: свердловинну підземну газифікацію вугільних пластів в комбінації з парогенеруванням і акумулюванням теплової енергії, створення біогазових установок на базі шахтних котелень, вилучення метану під час розробки газовугільних родовищ, надбудови двигунів на теплових генеруючих потужностях, використання теплових насосів при утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод, вентиляційних викидів, відборної води компресорів тощо. І навіть парогазову установку можна розглядати як когенераційну, оскільки утилізоване тепло вихлопних газів використовується шляхом ще однієї трансформації в механічну для вироблення додаткової кількості електроенергії.

Головною особливістю більшості з розглянутих когенераційних схем є те, що в їх основі лежить вироблення електричної і теплової енергії, тобто ці види енергії є базовими, а механічна – допоміжним і її виробництво покращує економічні показники вироблення енергоносіїв.

1.3.2 Методика оцінки високоефективного використання когенераційних технологій

Розглянемо принцип роботи когенераційних технологій на базі свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ) [9]. Це принципово нова і економічно ефективна технологія газотурбінної комбінованої енергосистеми, яка працює на одному виді палива (газі СПГВ), вільнопоршневих агрегатах (ВПАГах) і акумуляторах теплової енергії (рис. 1.7).

Ця технологія має три технологічні виробництва енергії, які доповнюють одна одну, сприяють повному використанню енергоресурсів.

Вихідний енергоносіє (газ СПГВ) одержують методом підземної газифікації вугільних пластів (рис. 1.8). Цей газ використовують у групі газових турбін (ВПАГах) для генерації первинної електроенергії (чи теплоенергії). Продукти згоряння з турбін надходять не в атмосферу, а в котел-утилізатор з вироблення пари, яка подається на пароводяне виробництво електроенергії (теплоенергії). Залишкове тепло вихідних газів з котла-утилізатора повторно утилізується у двох теплових акумуляторах: в автономному піковому контурі з вироблення третинної електроенергії та в підземному акумуляторі з утилізації тепла для потреб тепlopостачання. Вбудовані у свердловинах СПГВ парогенератори утилізують тепло відхідних газів процесу газифікації, а пара, яка утворюється у свердловинних парогенераторах, спрямовану у пароводяне виробництво комбінованої електростанції і частково в підземний акумулятор. Такий принцип когенерації енергії забезпечує біля 30% палива у порівнянні з виробленням електроенергії на теплових електростанціях.

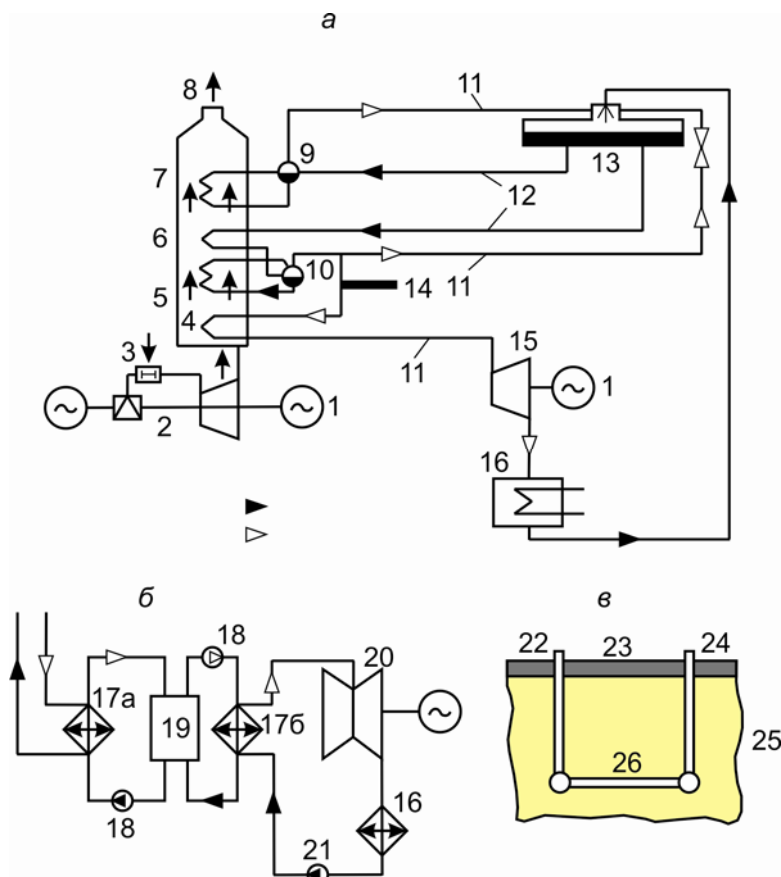


Рисунок 1.7 – Схема комбінованої газопаротурбінної енергетичної системи на базі СПГВ і систем акумулювання: а – газопаротурбінна установка; б – автономний піковий контур; в – підземний акумулятор теплової енергії: 1 – електрогенератори; 2 – група ВПАГів; 3 – газ СПГВ; 4 – котел-утилізатор; 5 – пароперегрівач; 6 – випарник; 7 – економайзер; 8 – вихід газів в теплові акумулятори; 9 – змійовик випарника низького тиску котла-утилізатора; 10 – секція високого тиску котла-утилізатора; 11 – теплоносій від змійовика 9 і секції 10; 12 – теплоносій до змійовика 9 і секції 10; 13 – деаератор (резервуар поживної води); 14 – пара із свердловинного парогенератора; 15 – паротурбінна група; 16 – конденсатор; 17 а (17 б) – теплообмінники проміжного теплоносія; 18 – насос проміжного теплоносія; 19 – тепловий акумулятор; 20 – пікова двоканальна турбіна; 21 – циркуляційний насос; 22 – вхід теплоносія (газів з економізатора і пари із свердловинного парогенератора); 23 – теплоізоляція; 24 – вихід теплоносія з акумулятора; 25 – твердий акумулюючий матеріал; 26 – горизонтальні теплові канали в акумуляторі

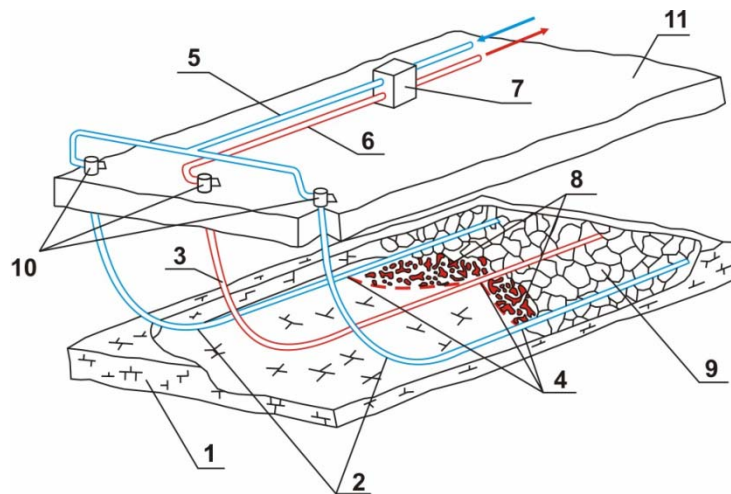


Рисунок 1.8 – Схема свердловинної підземної газифікації вугільних пластів: 1 – вугільний пласт; 2 – нагнітальні свердловини; 3 – газовідвідна свердловина; 4 – пересувні запалювальні пристрої; 5 – нагнітальний трубопровід; 6 – газовідвідний газопровід; 7 – теплообмінник-утилізатор; 8 – вогневий вибій; 9 – вироблений простір; 10 – оголовки свердловин; 11 – поверхня землі

ВПАГи – це сучасні високопродуктивні агрегати, характеризуються відсутністю кривошипно-шатунного механізму і засобів клапанного розділення. Агрегати працюють на різних газоподібних і рідких видах палива, випускаються в Україні.

Гарячі вихлопні гази від ВПАГів направляють в котел-утилізатор (рис. 1.7 а), в якому нагрівається вода і пара до температури 300 – 400°К. Відпрацьовані гази ВПАГів разом з котлом-утилізатором і паротурбінною групою використовуються для додаткового вироблення електроенергії. У котлі збирається частина вміщеної у газах теплової енергії і передається у пароводяний цикл перед тим як гази будуть випущені в теплові акумулятори. Така когенераційна технологія забезпечує високий ККД – біля 50%.

Котел-утилізатор має три теплообмінні секції. Вода високого тиску (на рис. 1.7 наведена чорною стрілкою) подається через тепловий кінець котла в економайзер, де підігрівається майже до температури насичення і перетворюється потім у змійовику випарника у пару. Насичена пара нагрівається і поступає у паротурбінну групу для виробництва електроенергії.

Відпрацьована пара з парових турбін подається в конденсатор і перетворюється у воду. Конденсат направляється в деаератор живильної води, де відбувається її очищення від газів (кисню і вуглецевого газу) за допомогою підігрівання паром з котла –утилізатора.

Залишкове тепло відхідних газів з економайзера повторно утилізується в акумуляторі автономного пікового контуру з вироблення електроенергії двокаскадною турбіною і у підземному акумуляторі (рис. 1.7 б, в).

Акумулятори (накопичувачі енергії) призначені для накопичення, зберігання і вироблення теплової енергії. Накопичення теплоти відбувається під час зміни параметрів теплоакумуючого матеріалу.

Система теплового акумулювання з проміжним теплоносієм (наприклад, технічним маслом) дозволяє збільшити потужність когенераційної електростанції в піковому режимі на 60%. Для цього і необхідно мати піковий контур, який використовує тільки енергію теплового акумулятора.

Зарядження теплового акумулятора відбувається відпрацьованими газами ВПАГів. Гріючі гази з котла-утилізатора направляються у зарядний теплообмінник 17 а (рис. 1.7, б) і нагрівають масло, що знаходиться у теплому акумуляторі 19. В процесі розрядження теплового акумулятора гаряче масло використовується для виробництва пари у теплообміннику 17 б пікового контуру. Електроенергія виробляється двокаскадною турбіною 20. Така система акумулювання теплової енергії дозволяє працювати комбінованій електростанції в піковому режимі протягом 3 – 5 годин.

Підземний акумулятор теплової енергії (ПАТЕ) також працює як автономний контур з твердим нерухомим акумулюючим матеріалом. Як акумулюючу речовину використовують різні матеріали, такі як графіт, шамот, чавун, магnezит, пісок та ін.

Під час зарядження гарячий газ подають в ПАТЕ, який нагріває акумулюючий матеріал. Розрядження його – сезонне (наприклад, зимою) для потреб теплопостачання.

Після закінчення газифікації чергової ділянки вугільного пласта в контурі вигазованого підземного простору утворюється високий потенціал (800 – 1000°C) теплової енергії, яка практично втрачається назавжди. Тому в когенераційній енергетичній системі на базі СПГВ передбачене акумулювання теплової енергії у гарячому обваленому просторі шляхом нагнітання теплоносіїв через законсервовані (колишні експлуатаційні) свердловини. З цією метою холодний теплоносій (повітря, вода, інертний газ) проникає через обвалені гарячі породи, нагрівається (вода випаровується й акумулюється у порожнині колишнього підземного газогенератора, а потім використовується як теплоносій. Така система когенерації енергії знижує вартість відпускнуї електро – і теплоенергії за низкою чинників.

Використання єдиного джерела палива (газу СПГВ) підвищує ефективність генерування енергоресурсів, забезпечує безперервність, малоопераційність, матеріало-, енерго-, і ресурсоощадливість, покращує екологічну ситуацію в регіоні. Покращуються економічні показники: знижуються капітальні витрати внаслідок відмови від будівництва спеціальних традиційних піскових енергоблоків, підвищення завантаження обладнання, виробництва електричної і теплової енергії з більш дешевого палива і з більшою ефективністю; відмови від традиційних видів палива на базі маневреного пісового контуру.

При когенераційному виробництві зменшується витрата вугілля за рахунок його повного випалювання в процесі СПГВ і знижується кількість викидних в навколишнє середовище оксидів вуглецю, сірки, азоту, а також шлаків, золи, сажі у порівнянні з традиційними паливно-енергетичними комплексами. При цьому значно скорочується завдання шкоди навколишньому

середовищу, територіям під відвалами шахт, розрізів, збагачувальних фабрик, теплових електростанцій і транспортні перевезення.

1.3.3 Енергетична ефективність роботи системи “когенераційна установка – ґрунтовий акумулятор – тепловий насос”

Розглянемо систему з тепловою $N = 1,12 \cdot 10^6$ Вт і температурою гарячого теплоносія 95°C (див. рис. 1.3). Щільність теплового потоку на зовнішній поверхні теплообмінників під час акумулювання $q_{oa} = 48,8$ В/м², в процесі розрядження $q_{oa} = 56,4$ В/м².

Параметри ґрунтового акумулятора: ґрунт – глина ($\lambda_m = 0,8$ Вт/(м·к), $\rho_m \cdot c_m = 1,512 \cdot 10^6$ Дж/(м³К)); геометричні розміри теплообмінника – $Z = 120$ м, $R_o = 0,15$, крок $L = 1,6$ м, загальна кількість теплообмінників на ділянці акумулятора (“кусті”) $k = 240$, кількість працюючих теплообмінників при акумулюванні $k_a = 210$, під час розрядження $k_p = 184$, розміри площі, яку займає “куст” теплообмінника, $\Delta_m \times L_n = 24 \times 22,4$ м², об’єм основної області акумулювання $V_o = 0,645105$ м³, об’єм буферної зони в кінці акумулювання ($t = 180$ діб) $V_{\delta,a} = 0,259 \cdot 10^6$ м³, об’єм теплоізоляційних плит $V_{is} = 497$ м³ (блоки із перлітного піску товщиною $\delta = 0,3$ м, $\lambda = 0,05$ Вт/(м·к)).

Визначимо різницю температур теплоносія T_e і основної області акумулювання T_o за формулою

$$\tau = \frac{q_{oi}}{\chi_n \left(\gamma \cdot \rho_m \cdot c_m + \frac{R_c \cdot q_{oi}}{R_o(R_c - R_o)} \right)}, \quad (1.7)$$

де $\gamma = \frac{dT_o}{dt}$, $R_c = \frac{L}{2}$, $i = a, p$.

q_{oi} – трактується як вектор. Залежність (3) одержана при виконанні умови

$$W_o = \frac{(R_c - R_o) q_{oi}}{(T_e - T_o) \chi_m} \geq 3 .$$

Після розрахунку річного циклу роботи системи, результати аналізу наведені на рис. 1.9

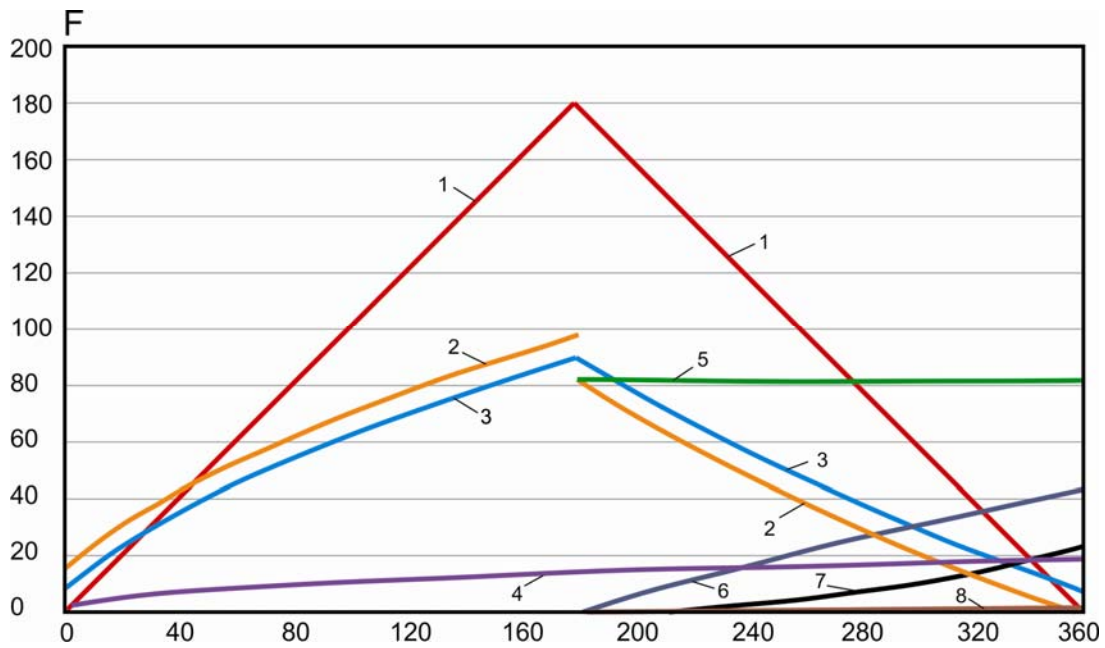


Рисунок 1.9 – Графіки зміни основних характеристик F у процесі річного циклу роботи системи «когенераційна установка – ґрунтовий акумулятор – тепловий насос»

Під час акумулювання монотонно зростає накопичена енергія і досягає значення $E_a = 0,17 \cdot 10^{12}$ Дж на 180 діб. При цьому температура ґрунту в основній області (в центрі площини) акумулювання $T_{o\max} = 88^\circ\text{C}$, температура теплоносія $T_{vi} = 95,4^\circ\text{C}$, лінійний розмір буферної зони (на периферії) $R_{\delta,a} = 14,1\text{м}$. В процесі розрядження поведінка функцій T_o і T_{vi} згідно (3) змінюється на протилежну: тепер T_{vi} стає меншою за T_o . Якщо на тепловий насос покласти функцію підтримання незмінної температури сітьового теплоносія, наприклад, $T_{s2} = T_{mn} = 80^\circ\text{C}$, то кількість енергії E_{mn} , що підведена до теплонасосу від зовнішнього джерела, буде визначатись відрізком, см. 2, (рис. 1.10)

$$N_{mn} = \frac{N(T_2 - T_1)}{T_2 + 273} \cdot 1,852 \quad (1.8)$$

де N – потужність, яка відводиться від ґрунтового акумулятора.

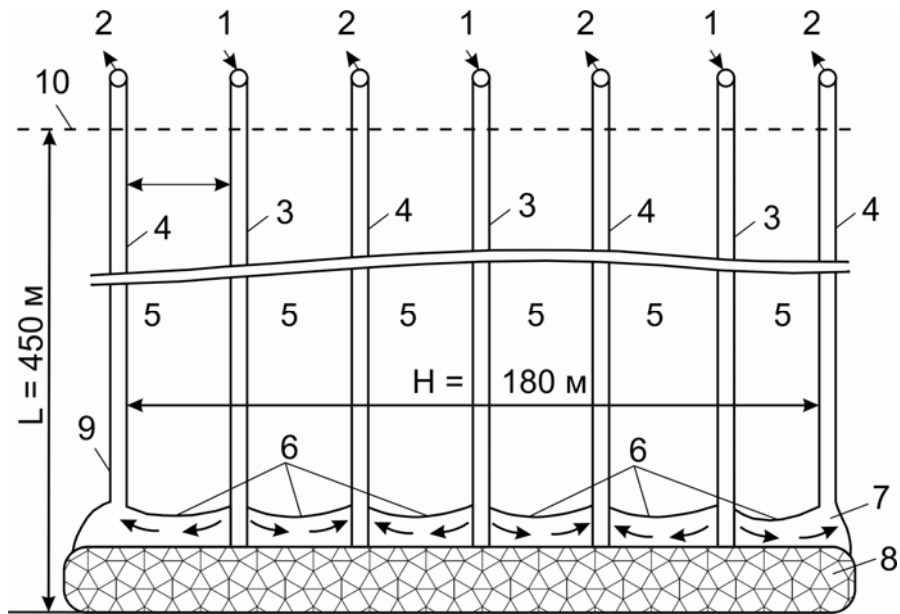


Рисунок 1.10 – Технологічна схема газифікації вугільного пласта виймальними стовпами через вертикально-горизонтальні свердловини: 1 – дугтьовий потік (повітря, кисень, пара, діоксин вуглецю); 2 – утворений генераторний газ; 3 – нагнітальна свердловина; 4 – газовідвідна свердловина; 5 – смуги (підземні газогенератори вугільного пласта); 6 – вогневий вибій; 7 – зона газифікації (горіння вугілля); 8 – вигазований простір; 9 – вугільний пласт, в якому розташована орієнтована свердловина; 10 – місця входження вертикальної частини свердловини у вугільний пласт.

Таким чином, реалізація проекту «Когенерація – акумулювання – тепловий насос» дозволяє майже вдвоє збільшити теплову потужність когенераційних установок при незмінних: а) вихідній потужності первинного енергетичного джерела і б) початкової кількості палива. В ролі акумулятора необхідно орієнтуватись на природний ґрунтовий (породний) масив, який обладнаний системою вертикальних ґрунтових теплообмінників. Впровадження даного проекту бездоганне з екологічної точки зору, оскільки не використовуються ні геологічні, ні атмосферні природні джерела енергії. Роль і значимість проекту з часом буде зростати через подорожчання виробництва традиційної енергії.

1.3.4 Потенціал виробництва штучного газу при газифікації вугільних пластів

Основні параметри процесу свердловинної підземної газифікації вугілля можуть бути визначені за наступною методикою.

Запаси вугілля у підземному газогенераторі розміром 450×180 м, (рис. 1.10)

$$Z_{бл} = LH\mu, \quad (1.9)$$

де L – довжина горизонтальної частини криволінійної (орієнтованої) свердловини, м (наприклад $L = 450$ м);

H – ширина блока газифікації, м:

$$H = l \cdot n = 30 \cdot 6 = 180 \text{ м}; \quad (1.10)$$

l – ширина стовпа (стрічки) газифікації, $l = 30$ м;

n – кількість стовпів (стрічок) у блоці, $n = 6$;

m – потужність вугільного пласта, м (наприклад $m = 1,0$ м);

γ – щільність вугілля, кг/м^3 ($\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$);

$$Z_{\text{обл}} = 450 \cdot 180 \cdot 1,0 \cdot 1200 = 97,0 \text{ тис.т.}$$

Швидкість горіння (посування вогневого вибою):

$$V = V_{\Gamma} \cdot 24, \quad (1.11)$$

де V_{Γ} – лінійна швидкість газифікації вугільної стінки вогневого вибою, м/год ($V_{\Gamma} = 0,01 - 0,1$ м/год);

$$V_{\text{сер}} = 0,01 \cdot 24 = 2,4 \text{ м/добу}, \quad (1.12)$$

24 – кількість годин газифікації пласта за добу;

Час вигазовування одного стовпа:

$$t_{\text{см}} = \frac{L}{V_{\text{сер}}} = \frac{450}{0,24} = 1875 \text{ год} \approx 78 \text{ діб}. \quad (1.13)$$

Термін відпрацювання всього блока:

$$T_{\text{б}} = t_{\text{см}} \cdot n = 78 \cdot 6 = 468 \text{ діб}. \quad (1.14)$$

Кількість повітря, яке необхідне для газифікації відповідного об'єму вугілля за одиницю часу, $\text{м}^3/\text{год}$

$$Q = l_m V_{\Gamma} q_n \gamma, \quad (1.15)$$

де q_n – питомі витрати повітря, $\text{м}^3/\text{кг}$;

$$q_n = \alpha \frac{0,01 Q_{\text{н}} + W^{\text{p}} \cdot 25,1}{4186}, \quad (1.16)$$

де α – коефіцієнт ($\alpha = 1,08 - 1,11$);

$Q_{\text{н}}$ – нижня теплота горіння робочої маси вугілля, МДж/кг;

$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – залежить від якісних показників вугілля;

W^{p} – вологість робочої маси вугілля, % (для кам'яного вугілля $W^{\text{p}} = 18\%$, бурого $W^{\text{p}} = 45-65\%$).

$$q_n = 1,1 \frac{0,001 \cdot 1 + 25,1 \cdot 18}{4186} = 0,1 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$Q_{\text{н}} = 30 \cdot 1,0 \cdot 0,01 \cdot 0,1 \cdot 1200 = 36 \text{ м}^3/\text{год},$$

Теоретичні витрати вугілля на одержання 1 м^3 газу:

$$q_{\text{вуг}} = \frac{12 \sum C_2}{22,4 C_{\text{вуг}}} \quad (1.17)$$

де $\sum C_2$ – сума вуглевісних компонентів у газі в об'ємних частках.

$$\sum C_2 = 12\%(CO) + 3\%(CH_4) + (14-18)\%CO_2, \quad (1.18)$$

$C_{\text{вуг}}$ – вміст вуглецю у паливі (вугіллі), %. Для кам'яного вугілля $C_{\text{вуг}} = 65 - 85\%$, для бурого – $C_{\text{вуг}} = 45 - 55\%$,

$$C_{\text{вуг}} = \frac{12(12CO + 3CH_4 + 16CO_2)}{22,4 C_{\text{вуг}}} = \frac{12 \cdot 31}{22,4 \cdot 70} = 0,24 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Вихід газу з 1 кг вугілля, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$q_2 = \frac{1}{q_{\text{вуг}}} = \frac{1}{0,24} = 4,2 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (1.19)$$

Вихід газу за 1 годину, м³/рік:

$$Q_2^0 = q_n + l_m \cdot V_2 \cdot q_n \cdot \gamma = 0,1 + 36 = 36,1 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (1.20)$$

Річна продуктивність підприємства з підземної газифікації вугілля, що має в експлуатації, наприклад, три блоки:

$$Q_2^P = 24 \cdot 365 \cdot 3 \cdot 36,1 = 948270 \text{ м}^3/\text{рік} \quad (1.21)$$

1.3.5 Оцінка когенераційних технологій енергетичного забезпечення урбанізованих та промислових територій

Для оцінки економічних показників пропонує когенераційних технологій зупинемось на визначеній схемі розподілення палива, що витрачається на виробництво теплоти і електроенергії. Тут більш оправдано вважати, що теплота після модернізації при усіх режимах теплового навантаження котла, а вигода на паливі від застосування когенерації відноситься до величини витрат палива на вироблення 1 кВт·год електроенергії залежить від економічності застосованого газотурбінного двигуна (параметр α_r) і теплового навантаження котла (параметр ψ (рис. 1.11)).

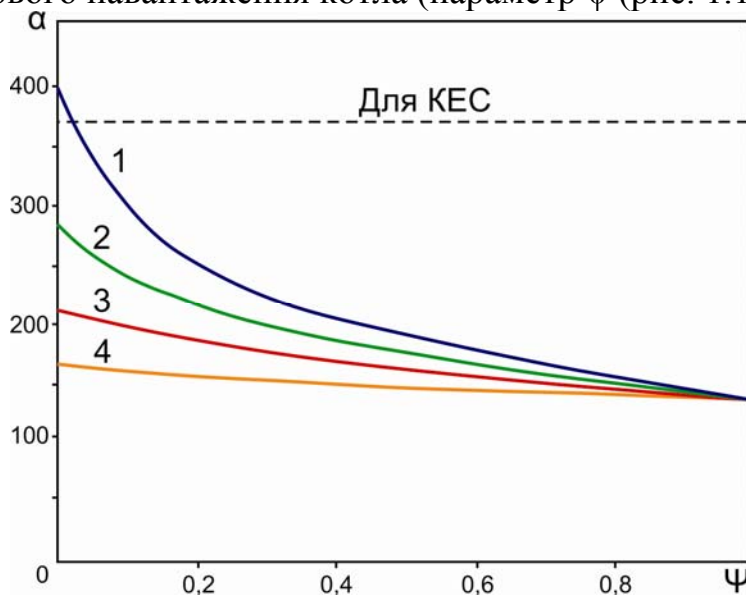


Рисунок 1.11 – Питомі витрати палива на виробництво електроенергії у когенераційній установці залежно від теплового навантаження котла: 1 – $\alpha=10$; 2 – 8,3; 3 – 6; 4 – 4

Мінімальні питомі витрати палива при виробництві електроенергії мають місце при максимальному тепловому навантаженні котла і дорівнюють питомим витратам палива на вироблення теплоти, а максимальні – у режимі утилізації. Як бачимо, цей показник у когенераційній установці набагато нижчий, ніж для конденсаційної теплової електростанції (пунктирна лінія) і тим

суттєвіший, коли більш економічний газотурбінний двигун застосовується для надбудови котла.

Детальний аналіз енергетичних характеристик когенераційних схем, виконаних на базі водонагрівальних котлів і газотурбінних двигунів, показав, що частка виробленої в установці електричної енергії $P = \frac{P_{cm}}{P_{cm} + P_m}$ повністю

визначається термодинамікою енергетичного двигуна, що однозначно характеризується коефіцієнтом надлишку повітря в його відпрацьованих газах α_T і коефіцієнтом теплового навантаження котла $\psi = \frac{Q_K}{Q_K^e}$ – як відношення

витраченого у котлі палива до витрат Q_K^e максимального теплового навантаження котла, яке одержуємо при спалюванні у вихлопних газах турбіни при $\alpha_T = 1$ (рис. 1.12).

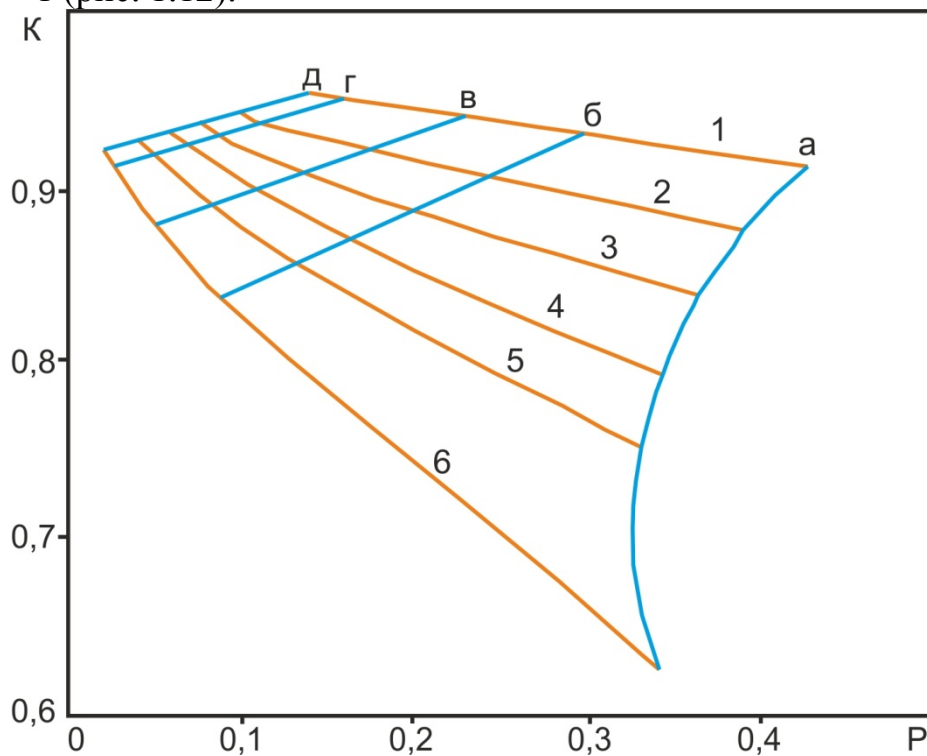


Рисунок 1.12 – Енергетичні характеристики когенераційної установки: 1 – $\alpha_T = 3$; 2 – 4; 3 – 5; 4 – 6; 5 – 7; 6 – 10; а – $\psi = 0$; б – 0,2; в – 0,4; г – 1,0; д – для ψ_{\max}

Для оцінки прибутку, який приносить когенераційна установка, термінів окупності капіталовкладень у модернізацію опалювальної котельної, а також впливу на ці показники основних енергетичних характеристик обладнання прийнято наступні умови: вартість енергетичного обладнання 480\$ США на встановлений кВт електричної потужності, ціна виробленої електроенергії – 41 цент/кВт·год, ціна природного газу – 83\$ США за 1000 км³, коефіцієнт амортизації – 0,1, час роботи обладнання складає, у середньому, 7000 год/рік. Витрати на будівельні роботи, зарплату і податок на прибуток не

враховувались. Залежність терміну окупності установки від теплового навантаження котла і економічності газового двигуна наведена на рис. 1.13, а.

Як бачимо, термін окупності витрат різко знижується під час теплових навантажень і зростанні економічності газового двигуна. При застосуванні сучасного газового двигуна з $\alpha = 5$ для кліматичних умов України з відносною тривалістю опалювального сезону біля 0,5, термін окупності будівництва когенераційної установки на базі опалювального водопідігрівального котла складає 3,3 роки, і це без урахування усіх витрат. Вплив відпускної ціни електроенергії на термін окупності когенераційної установки наочно ілюструється графіком (рис. 1.13,б).

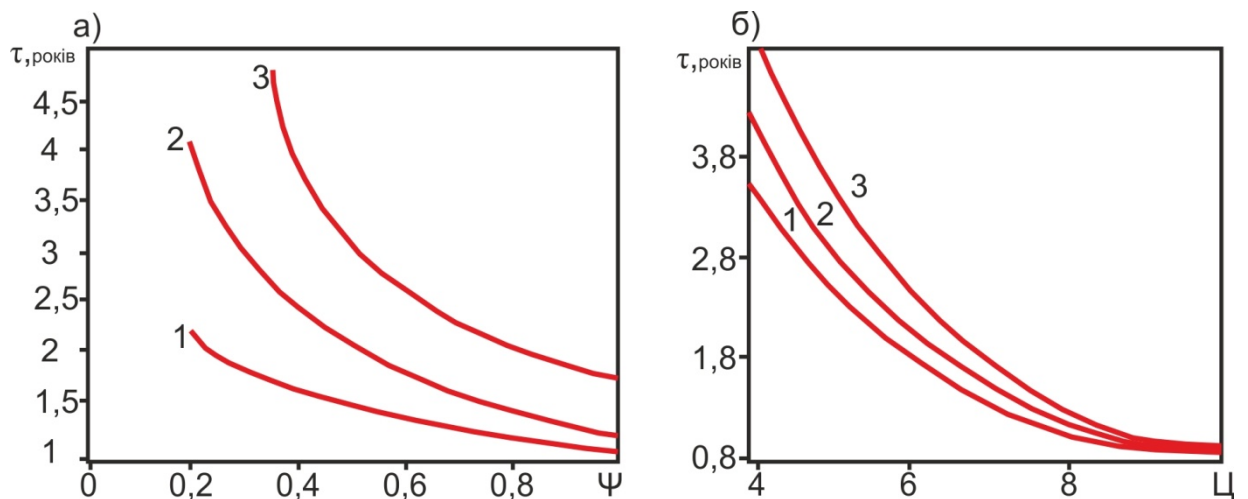


Рисунок 1.13 – Залежність терміну окупності когенераційної установки: а – від теплового навантаження котла: 1 – $\alpha_T = 3$; 2 – 5; 3 – 7; б – ціни електроенергії на ринку при тепловому навантаженні котла $\psi = 0,5$ і цінах на паливо: 1 - $C_T = 83$ \$США/1000 м³; 2 – 100; 3–120

Навіть при збільшенні ціни на паливо до 120 \$ США за 1000 м³ газу при ціні електроенергії 6 – 7 центів/кВт·год термін окупності капіталовкладень побудови когенераційної установки на базі газотурбінного двигуна знижується до 2-х років і нижче.

Для економічної ефективності впровадження когенераційних технологій енергетичного забезпечення промислових територій необхідно розробити в деталізованому вигляді економіко-математичні методи розрахунків.

Дохідність нововведення за період розрахункового періоду визначають за формулою

$$D = B - M - Z_n + A, \quad (1.22)$$

де B – виручка від реалізації продукції, одержаної після нововведення, грн;

M – матеріальні витрати на виробництво продукції, грн;

Z_n – витрати на оплату праці в частині, яка пов'язана із здійсненням інновацій, грн;

A – нарахування амортизації по основних засобах, які використовують для ново введення, грн.

Додаткова вартість чистої продукції без урахування матеріальних витрат і амортизаційних відрахувань $Ч_z = B - M - A$. (1.23)

Прибуток за рахунок реалізації нововведень

$$\Pi_p = B - C, \quad (1.24)$$

де C – собівартість продукції, що враховує обсяг виробництва з використанням нововведення, грн.

Чистий прибуток $\Pi_{np} = R - C - H$, (1.25)

де H – сума податків і обов'язкових платежів (за кредитами), грн.

Для розрахунку економічної ефективності нововведення в натуральних грошових одиницях необхідно визначити показники витрат протягом розрахункового періоду.

Перераховані види витрат сумуються у кожному конкретному році

$$З_t = \sum (З_n \cdot \varphi_{ti} \cdot \varphi_{pi}), \quad (1.26)$$

де $З_t$ – загальні витрати на когенераційну систему в t – му році, тис. грн;

$З_n$ – перераховані i - ті види витрат в t - му році, тис. грн;

φ_{ti} – очікуваний коефіцієнт інфляції (зростання ціни на товари і послуги, не обумовлені підвищенням їх якості $\varphi_{ti} > 1$;

φ_{pi} – коефіцієнт економічного ризику, що враховує непередбачуваність при розрахунку різних витрат, $\varphi_{pi} > 1$.

Показники економічної ефективності визначають наступними формулами:

– різницею загального чистого прибутку і загальних капітальних витрат за рахунковий період:

$$Д = \Pi_p - З_m, \quad (1.27)$$

де $З_t = \sum З(i)$ – загальні витрати за розрахунковий період при сумуванні різних витрат;

– терміном окупності капітальних витрат:

$$t_{ок} = \frac{З_m}{\Pi_p - З_m}; \quad (1.28)$$

– рентабельністю капітальних вкладень:

$$R_k = \frac{\Pi_{np}}{З_m} 100\%. \quad (1.29)$$

Вищеперераховані показники в натуральному обчисленні неповністю відтворюють доцільність нововведень, бо не враховують фактор часу, тобто їх дисконтування. Тому розрахунок і прибутку за роками з урахуванням ризику і інфляції необхідний з урахуванням фактора часового періоду.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКИ ЩОДО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ

2.1 Методика проведення випробувань на стендовій експериментальній установці з підземної газифікації вугілля

Об'єктом дослідження є процес свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ).

Мета роботи – виявлення чинників, що характеризують процес підземної газифікації з урахуванням зміни стану породовугільного масиву, що вміщує газифікований пласт. Визначення залежності зміни параметрів аеротермохімічних показників процесу підземної газифікації від стану вміщуючих порід у міру вигазовування вугільного пласта на фізичній моделі стендової установки.

Для досягнення поставленої мети на стендовій і лабораторній установці, а також аналітичним шляхом вирішувалися наступні завдання:

- встановити функціональну залежність зміни складу газу СПГВ у міру зростання вигазованого простору при постійній витраті реагентів дуття і комбінованій схемі подачі реагентів дуття з урахуванням підвищеної вологості (44–67%) підшови пласта та зольності вугілля (36–42%);
- встановити межу прогрівання порід безпосередньої покрівлі над вигазованим вугільним пластом з урахуванням зміни стану порід у міру зростання виробленого простору газогенератора;
- встановити параметри формування реакційного каналу з урахуванням режимів: розпалювання, формування зони окислення по всій довжині вогневого вибою (процес спалювання вугілля ПСВ) з переходом до формування зон окислення і відновлення (процес СПГВ);
- визначити інертність вугільного пласта при його розпалюванні в комбінованій системі подачі та подачі дуття і генераторних газів;
- визначити швидкості переміщення точки подачі дуття (насадки) у міру вигазовування вугільного пласта з урахуванням його температури;
- визначити витрату, втрати і тиск дуття і газу у міру зростання вигазованого простору;
- визначити якісний склад конденсату і золоталишків при підземній газифікації модельованого вугільного пласта з урахуванням його елементного складу.

Експериментальні дослідження здійснюються на стендовій – експериментальній установці з підземної газифікації вугілля, яка знаходиться в спеціально обладнаному приміщенні на промплощадці «Донецького електротехнічного заводу» – одного з базових підприємств групи «Донецьксталь».

2.1.1 Конструкція стендової установки

Експериментальна стендова установка призначена для відпрацювання технологічних схем при підземній газифікації вугілля (ПГВ) з направленою подачею робочих реагентів в вогневий вибій.

Проведення випробувань на експериментальній наземній стендовій установці спрямовані на імітацію основних процесів СПГВ в наземних умовах з урахуванням критеріїв подібності, відтворенням гірничо-геологічних умов і технологічних параметрів підземного газогенератора і фізичних швидкостей процесу.

Необхідність проведення експериментів на стендових моделях пояснюється необхідністю ретельнішого вивчення властивостей кам'яного вугілля та поведінки вміщуючого масиву в процесі вигазовування вугільного пласта, а також отримання початкових даних для розробки методики проведення досліджень в натурних умовах на експериментальній ділянці СПГВ.

Експериментальна стендова установка спроектована і запатентована в НГУ і побудована НВО «Нафтомаш» за фінансової підтримки Міністерства науки і освіти, молоді та спорту України.

Експериментальна стендова установка складається з таких основних елементів (рис.2.1):

1. Металевий ящик (рис. 2.1) 1 (2,0x2,2x1,8 м), в якому в масштабах 1:10, 1:40 моделюються вугільний пласт і вміщуючі породи. Він виготовлений з сталевого листа товщиною 5 мм. Зверху ящик закритий кришкою. На бічних сторонах ящика знаходяться розпалювально-контрольний отвір 27 і два отвори для подачі дуття і відведення генераторних газів. П'ятий отвір 28 знаходиться вгорі на відстані 1,8 м від основи стенда, який призначений для подачі закладного матеріалу. В кришці стенда влаштовані отвори для термодатчиків 20 і реперів 21.

2. Дуттьова гілка (рис. 2.1) складається з повітроподавальної мережі, пароподавальної та кисневої мереж, керовано-рухомого трубопровода з системою розподілу дуттьових сумішей (рис. 2.2). Повітроподавальна мережа складається з двох компресорних установок (робоча 2, резервна 3), фільтра очищення, шланга високого тиску 16, ультразвукового обчислювача витрати повітря 26, шарнірних кранів 15. Пароподавальна мережа (рис. 2.1) складається з парогенератора 4, високотемпературного шланга 17, ресивера 29. Киснева мережа-кисневого балона 19, кисневого шланга 18.

3. Газовідвідна гілка (рис. 2.3). Відведення газів від моделі здійснюється по газовідвідному трійнику 12 з шарнірними кранами 14, з'єднаному з баком-розширником 11. Бак-розширник 11 (рис. 2.4), який призначений для відбору конденсату з газу, газовідвідним трубопроводом 30 сполучений з відстійником для конденсату 10. Після відстійника для конденсату 10 на газовідвідному трубопроводі знаходиться засувка і штуцер для відбору проб газу 31. Облік одержаних газів проводиться перетворювачем витрати ІРВІС-К300 9.

Лічильники призначені для об'ємного обліку газів. Тиск газу не повинен перевищувати 1,7 МПа.

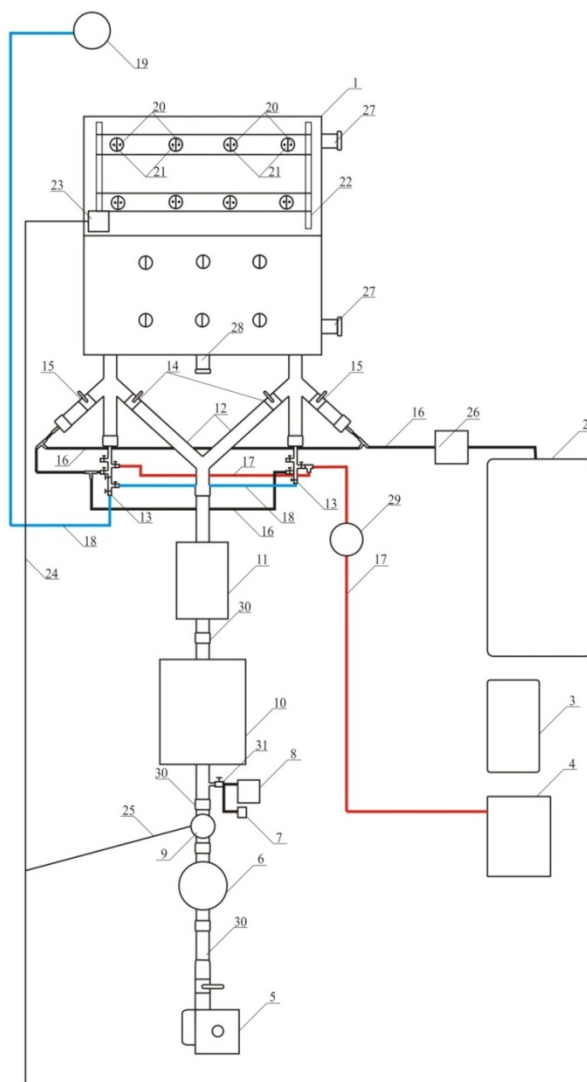


Рисунок 2.1 – Принципова схема експериментальної стендової установки:
 1 – металевий ящик; 2 – робочий компресор; 3 – резервний компресор; 4 – парогенератор; 5 – димосос; 6 – фільтр очищення; 7 – портативний газоаналізатор VX-170; 8 – аналізатор газу трикомпонентний Casboard-3200L; 9 – витратомір; 10 – відстійник для конденсату; 11 – бак-розширник; 12 – газовідвідний трійник; 13 – керований високонапірний трубопровід; 14 – шарнірні крани газовідвідної гілки для реверсування; 15 – шарнірні крани повітря-подавальної гілки для реверсування; 16 – шланг високого тиску; 17 – високотемпературний шланг; 18 – кисневий шланг; 19 – кисневий балон; 20 – отвори для установлення реперних датчиків зсуву; 21 – отвори для установлення термопар; 22 – установка для реперних лінійок зсуву; 23 – з'єднувальна коробки мережних кабелів термопар і реперних датчиків зсуву; 24, 25 – мережний кабель термопар, реперних датчиків зсуву, витратоміра; 26 – витратомір для визначення подачі дуттьової суміші; 28 – розпалювально-контрольний отвір; 29 – паровий ресивер; 30 – газовідвідний трубопровід; 31 – засувка для відбору проб газу

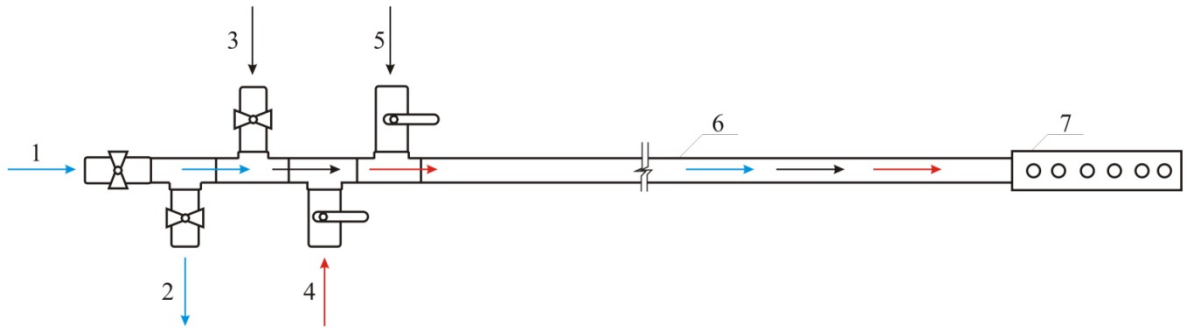


Рисунок 2.2 – Система розподілу дуттьових сумішей: 1 – подача O_2 ; 2 – вихід O_2 на іншу систему розподілу; 3 – подача повітря; 4 – подача пари; 5 – подача CO_2 ; 6 – керований трубопровід; 7 – жаростійка перфорована насадка

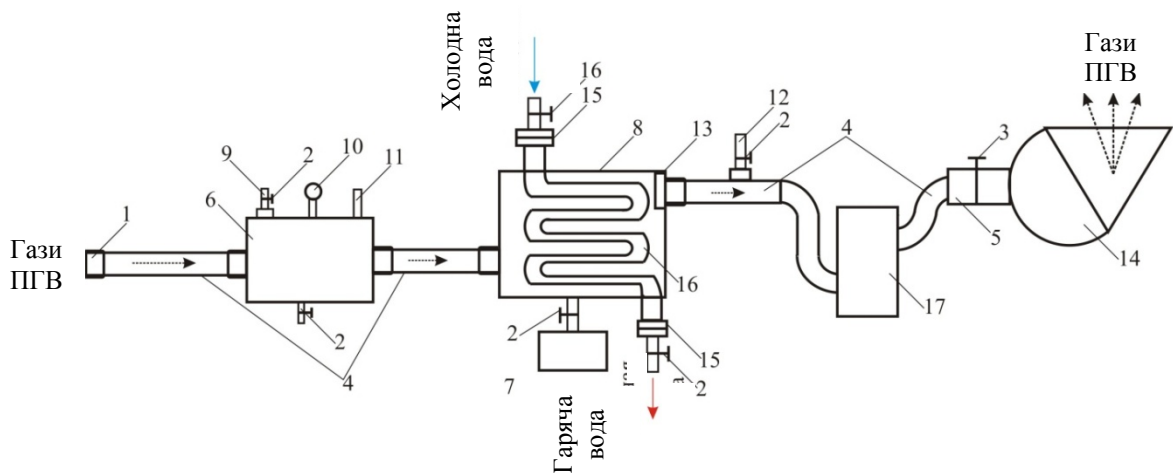


Рисунок 2.3 – Схема газовідвідного трубопроводу: 1 – перехідник з внутрішнім різьбленням; 2 – кран; 3 – шибер; 4 – трубопровід $d = 50$ мм, $L_1 = 800$ мм, $L_2 = 500$ мм, $L_3 = 400$ мм; 5 – трубопровід $d = 80 - 100$ мм, $L = 500$ мм; 6 – ресивер (бак розширний бак), $h = 250$ мм, $b = 300$ мм, $L = 300$ мм; 7 – бачок зливний $h = 150$ мм, $b = 150$ мм, $L = 150$ мм; 8 – бак для збору конденсату й охолодження газу, $h = 750$ мм, $b = 600$ мм, $L = 600$ мм; 9 – кран для відбору проб газу; 10 – манометр; 11 – термометр (термопара); 12 – кран для відбору проб газу газоаналізатором в потоковому режимі; 13 – фільтр; 14 – димосос; 15 – з'єднання; 16 – рекуператор трубчастий спіральний; 17 – вапняний фільтр

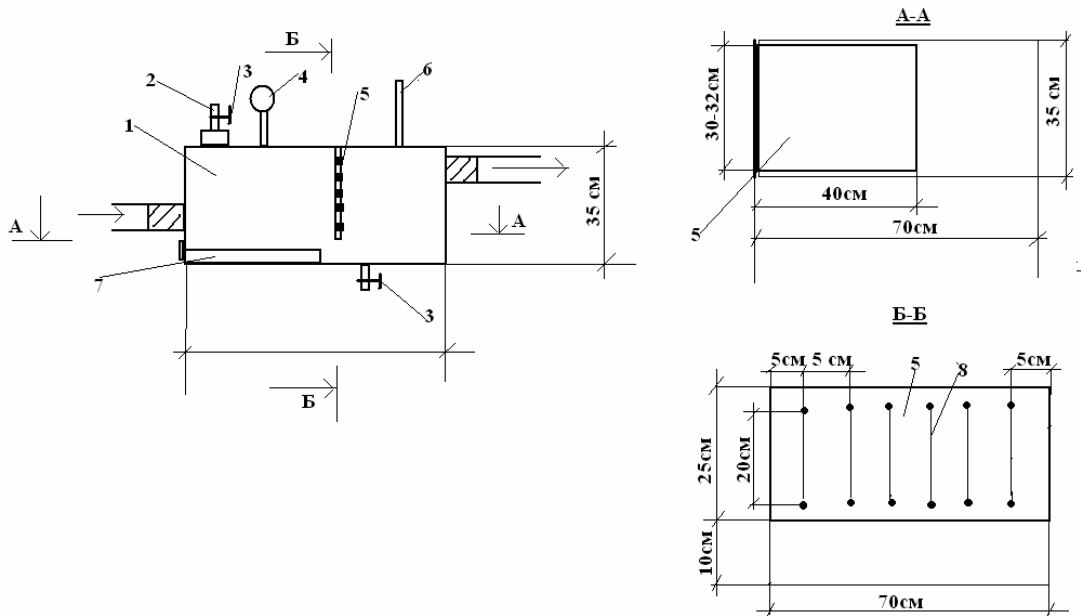


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд бака розширника: 1 – бак; 2 – штуцер для відбору проб газу; 3 – кран; 4 – манометр; 5 – ґрати; 6 – термометр; 7 – лоток; 8 – ґратчаста щілина, шириною 1 – 1,2 см

Передбачена можливість проходу газів, минаючи бак-фільтр, для чого змонтований обвідний трубопровід із засувкою, для подачі продуктів газифікації в рекуператор-генератор з метою вироблення пари (рис. 2.5). Діаметр газовідвідних трубопроводів 50 мм.

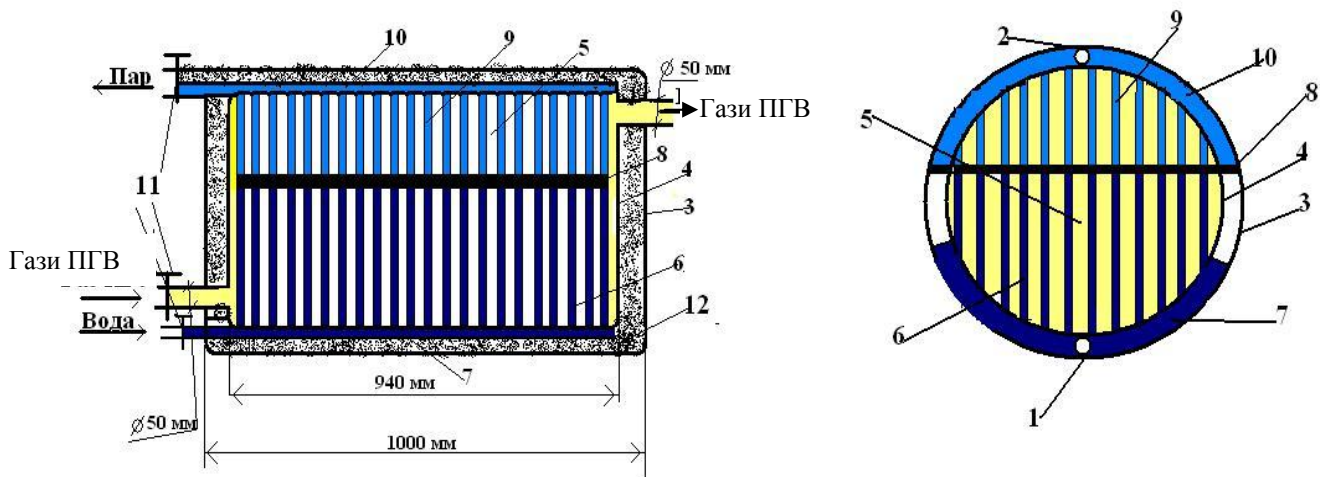


Рисунок 2.5 – Схема генератора-рекуператора: 1 – труба водонапірна з краном (11) $d = 15 - 20$ мм; 2 – труба паропровідна $d = 10 - 15$ мм з краном (11); 3 – зовнішня труба $d = 500$ мм; 4 – внутрішня труба $d = 440$ мм; 5 – міжтрубний простір для газів ПГУ; 6 – трубки з теплоносієм (вода); 7 – міжтрубний простір для води; 8 – металева перегородка $h = 5 - 6$ мм; 9 – трубки з паром $d = 6 - 8$ мм; 10 – міжтрубний простір з паром; 11 – регульовальні крани (засувки); 12 – термоізоляція

Основна характеристика силових агрегатів повітроподавальної та газовідвідної мереж наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика силових агрегатів

Назва силових агрегатів	Робоча компресорна установка	Резервна компресорна установка	Парогенератор	Димосос
Потужність двигуна, кВт	11	2,2	11	2,2
Напруга, В	380			
Об'єм ресивера, л	500	100		
Продуктивність	1700 л/м	325 л/м	11 кг/год	

4. Для визначення концентрації утворюваних газів в моделі підземного газогенератора застосовуються газоаналізатори VX-170 (7), Casboard-3200L (8) (табл.2.3).

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика газоаналізатора Casboard-3200L

Речовина	Метод вимірювання	Діапазон виміру, %	Точність, %	Погрішність, %
CO ₂	Інфрачервоний датчик	50	≤2 ширини шкали	≤2
CH ₄	Інфрачервоний датчик	100	≤2 ширини шкали	≤2
O ₂	Електромеханічний датчик	25	≤3 ширини шкали	≤2

5. Для визначення параметрів температурного поля застосовується система термодатчиків з перетворювачами сигналу, обладнаних інтерфейсом. Контроль за станом породо-вугільного масиву проводиться реперами (датчиками зсуву).

2.1.2 Моделювання робочих параметрів процесу СПГВ по критеріях подібності до натурних умов

Проведення експериментів на наземних стендових установках спрямовані на імітацію процесів СПГВ з урахуванням моделювання геологічних і технологічних параметрів.

Для імітації на стендовій установці натурних умов експерименту підземної газифікації вугілля слід встановити масштабні коефіцієнти і виконати умови подібності.

Геометричний масштаб:

$$C_1 = \frac{l_H^i}{l_C^i} \left[\frac{M}{M}, \frac{cM}{MM}, \frac{M}{cM} \right],$$

де l_H^i і l_C^i – лінійні розміри стенда й області в натурі;

M – потужність пласта, що газифікується, C_6^1 ділянки № 1 Соленівської площі, $M = 0,9$ м.

Приймаємо $C_l = 40$ м/м; $C'_l = 0,4$ м/см. Потужність вугільного пласта C_6^l складе:

$$M_m = \frac{0,9 \text{ м}}{40 \text{ м / м}} = 0,023 \text{ м} = 2,3 \text{ см.}$$

Приймаємо габаритні розміри стендової установки $2,0 \times 2,2 \times 1,8$ м. Вона є паралелепіпедом з однієї секції, звареним з листової сталі. З урахуванням розміру секції $2,0 \times 2,2 \times 1,8$ м, розміри пласта за падінням $H = 2,2$ м і за простяганням $S = 2,0$ м.

У цьому випадку натурні розміри модельованого простору з урахуванням впливу газогенератора на масив.

за падінням пласта:

$$l_n = l_m \cdot C_1 = 2,2 \cdot 40 \cdot 0,4 = 35,2 \text{ м};$$

за потужністю масиву:

$$h_n = h_m \cdot C_l = 1,8 \cdot 40 \cdot 0,4 = 28,8 \text{ м};$$

за простяганням:

$$l_s = l_m \cdot C_1 = 2,0 \cdot 40 \cdot 0,4 = 32 \text{ м};$$

Відповідно до проекту СПГВ протяжність реакційного каналу за простяганням становить 30 м. З урахуванням умов геометричної подібності довжина реакційного каналу в умовах моделі:

$$l_{p.k} = \frac{l_{p.k}}{C_1} = \frac{30}{40} = \frac{0,75}{0,4} = 1,875 \approx 1,9 \text{ м.}$$

Приймаємо довжину реакційного каналу 1,9 м в умовах моделі підземного газогенератора. Діаметр реакційного каналу приймається з урахуванням потужності пласта $d_k = 20$ см.

Для імітації процесу СПГВ в модельованій потужності пласта проводяться горизонтальні свердловини (повітроподавальні і газовідвідні) з діаметром в натурних умовах $d_M = 29$ см – при відношенні потужності пласта до діаметра свердловини приймаємо $C_l = 3$ см/см.

У цьому випадку діаметр свердловини буде:

$$d_c = \frac{29 \text{ см}}{3 \text{ см / см}} = 9,7 \text{ см.}$$

Глибина залягання пласта C_6^1 на ділянці 75 – 135 м. Безпосередня покрівля представлена пісковиками, сірими сланцями з прошарками глинистого сланцю міцністю $f = 3 - 4$ і потужністю 3,2 м. Основна покрівля, потужністю 6 м, представлена піскуватим сланцем міцністю $f = 5 - 8$. Виходячи з вертикальних розмірів стенда, приймаємо масштаб активної породної товщі 1:6, тоді потужність:

– безпосередньої покрівлі:

$$h^H_c = \frac{h^I_{CH}}{M} = \frac{3,2}{6} = 0,53 \text{ м};$$

– основної покрівлі:

$$h^0_c = \frac{h^I_{co}}{M} = \frac{6}{6} = 1,0$$

Загальна потужність надвугільної товщі:

$$h^I_c = h^H_c + h^0_c = 0,53 + 1,0 = 1,53 \text{ м}.$$

Для дотримання кінематичної подібності встановлюємо масштаб часу:

$$C_\tau = \frac{\tau^i_H \left[\frac{\text{доб}}{\text{доб}}; \frac{\text{доб}}{\text{год}} \right]}{\tau^j_C},$$

де τ^i_H – час переміщення частинки в натурних умовах від однієї точки до іншої;

τ^j_C – час переміщення однієї частинки між точками на стенді.

На проектному підземному газогенераторі мінімальна швидкість посування вогневого вибою складе $V_h = 2,3$ м/доб.

Приймаємо $C_\tau = 40$ доб/доб, при $C_l = 40$ м/м; $V_h = 2,3$; $l_m = 2,2$ м; $\tau = 1$ доб; $V_c = 2,3$ м/доб; $0,096$ м/год – масштаб швидкостей.

$$C_v = \frac{V_h}{V_c} = \frac{2,3}{2,2} = 1,1 \text{ м/доб}.$$

Для дотримання механічної подібності:

$$\frac{C_p}{C_p \cdot C_l^2 \cdot C_v^2} = 1,$$

де C_p , C_v – масштаби швидкості і тиску.

Породна товща (безпосередньої і основної покрівлі) моделювалася з порід, що безпосередньо залягають над пластом і узятих в натурних умовах. Для створення подібності монолітності і теплопровідності порід безпосередньої й основної покрівлі породні куски скріплялися сумішшю шамотної глини і цементу (4:1). Зразкова густина масиву складала різницю від природної 25%. Середня густина породної товщі в натурних умовах складає $\gamma = 1,45$ т/м³, звідси можна визначити масштаб густини

$$C_p = \frac{\gamma_H}{\gamma_C} = \frac{1,45}{1,45 \cdot 0,75} = 1,32 \text{ т/м}^3.$$

Масштаб тиску складе:

$$C_p = C_p \cdot C_l^2 \cdot C_v^2 = 1,32 \cdot 40^2 \cdot 1^2 = 2112 \text{ т/м}^2 = 21,12 \text{ кг/см}^2,$$

де C_p , C_b , C_v – масштаби густини, лінійний і швидкостей.

Тиск на вугільний пласт C_6^1 у натурних умовах, при середній глибині залягання пласта $H_n = 135$ м і середньої густини порід, що покривають пласт $\gamma_n = 1,75$ т/м³, складе:

$$P_n = H_n \cdot \gamma_n = 135 \cdot 1,45 = 196 \text{ т/м}^3 = 19,6 \text{ кг/см}^2.$$

Тиск на вугільний пласт в модельованих умовах складе:

$$P_c = \frac{P_H}{C_p} = \frac{19,6}{21,12} = 0,92 \text{ кг/см}^2.$$

При висоті моделі 2,5 м і $\gamma_c = 1,45 \cdot 0,75 = 1,1 \text{ т/м}^3$ фактичний тиск буде:
 $2,5 \cdot 1,1 = 2,75 \text{ т/см}^2 = 0,275 \text{ кг/см}^2.$

При прийнятих значеннях C_τ, C_l, C_v і C_p дотримується також індикатор гідромеханічної подібності:

$$\frac{C_v \cdot C_\tau}{C_l} = \frac{0,8 \cdot 50}{40} = 1$$

Критерій гомохронності:

$$H_o = \frac{v' \cdot \tau'}{l'} = \frac{v'' \cdot \tau''}{l''},$$

де v' – швидкість переміщення матеріальної точки в натурі, м/доб, τ' – час переміщення цієї точки, доб.; l' – шлях, що проходить матеріальна точка за час τ' , м; v'' , τ'' , l'' – відповідно швидкість, час і шлях подібної матеріальної точки на моделі

$$H_o = \frac{0,8 \cdot 50}{40} = \frac{11}{1} = 1$$

Критерій Фруда $F_r = \frac{gl}{v^2}$, критерій Ейлера $E_u = \frac{P}{\rho v^2}$ і критерій Рейнольда

$R_e = \frac{\rho v l}{\mu}$ не витримуються. Як відомо, одночасне дотримання вказаних критеріїв практично неможливе.

Крім того, в даному випадку вплив параметрів густини ρ , сили тяжіння g і в'язкості μ для цілей вирішуваної задачі не мають істотного значення.

За проектом продуктивність підземного газогенератора 74 т/доб вугілля. При теплотворній здатності вугілля 8134 ккал/кг загальне тепловиділення:

$$Q_{\text{заг}} = 74000 \cdot 8134 = 6,02 \cdot 10^8 \text{ ккал / доб}$$

На 1 п.м. вогневого вибою:

$$q = \frac{6,02 \cdot 10^8}{30} = 2,01 \cdot 10^6 \text{ ккал / доб} = 4186,8 \cdot 2,01 \cdot 10^6 = 0,84 \cdot 10^{10} \text{ Дж / доб}$$

При $C_l = 40 \text{ м/м}$ і ширині моделі 2,0 м протяжність ділянки вогневого вибою, відповідна ширині моделі, складе 1,9 м. Тепловиділення на ділянці вогневого вибою протяжністю 1,9 м.

$$0,84 \cdot 10^{10} \cdot 1,9 = 1,6 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$$

Згідно проекту установки ПГУ приплив підземних вод у вигазований простір складатиме $1,75 \text{ м}^3/\text{год}$ ($42 \text{ м}^3/\text{доб}$). На 1 п.м. вогневого вибою $\frac{42}{30} = 1,4 \text{ м}^3/\text{доб}$. на вогневий вибій протяжністю 1,9 м – $2,8 \text{ м}^3$.

При дотриманні гідромеханічної подібності кількість води, яка повинна поступати до тепловиділяючого елемента моделі становить:

$$q_m = q_n \frac{C_\tau}{C_n \cdot C_l^2},$$

де q_n – кількість води, що поступає до вогневого вибою установки ПГУ;
 C_τ, C_n, C_l – відповідно масштаби часу, тиску і геометричний.

Враховуючи висоту моделі $H_m = 2,5 \text{ м}$, приймаємо $C_n = 135 \text{ м/м}$. Тоді:

$$q_m = 2,8 \cdot \frac{40}{135 \cdot 40^2} = 0,00052 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Масштабні коефіцієнти тепловіддачі і температур встановимо, використовуючи критерії:

$$C_t C_\alpha = \frac{C_\lambda C_\tau}{\lambda_n} \text{ и } \frac{\alpha_n l_n}{\lambda_n} = \frac{\alpha_m l_m}{\lambda_m},$$

де C_t, C_α і C_λ – масштабні коефіцієнти температур, тепловіддачі і теплопровідності;

α_n, α_m – коефіцієнти тепловіддачі відповідно в натурі і на моделі;

λ_n, λ_m – коефіцієнти теплопровідності відповідно в натурі і на моделі.

Приймаємо $C_\lambda = 1$. У цьому випадку:

$$\frac{\alpha_n}{\alpha_n} l_n = l_m; C_\alpha l_n = l_m; C_\alpha = \frac{l_m}{l_n} = \frac{1}{40} = 0,025 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{доб.} \cdot \text{град.}}$$

Використовуючи формулу, одержимо:

$$C_t = \sqrt{\frac{C_\epsilon C_l}{C_\lambda}} = \sqrt{\frac{0,025 \cdot 40}{1}} = 1.$$

2.1.3 Монтаж експериментальної стендової установки

Для забезпечення експерименту необхідно провести наступні заходи щодо монтажу стендової установки:

- 1) розставити обладнання;
- 2) обладнати стендову установку дренажною системою;
- 3) провести теплоізоляцію стенда;
- 4) викласти вугільний пласт із формуванням реакційного каналу;
- 5) викласти безпосередню й основну покрівлі;
- 6) монтаж повітроподавальної і газовідвідної мереж;
- 7) підключити реперні датчики зсуву і температурні датчики, газоаналізатори Gasboard-3200L (CO₂, CH₄, O₂), VX-170 (H₂).

Процес монтажу стендової установки починається з доцільної розстановки силових агрегатів. Після розстановки устаткування проводиться підведення напруги до робочого та резервного компресорам, димососу, парогенератора, підведення трубопроводу з технічною водою до парогенератора та баку збору конденсату.

Створення літологічної різниці масиву гірських порід відбувається з дотриманням принципів геометричної і кінематичної подібності з урахуванням перевідних коефіцієнтів. Породовугільний масив формується окремими блоками різної форми, що вимагає створення спеціальних розчинів на вугільній

і породній основі для їх з'єднання між собою. Як сполучні розчини застосовуються суміші вугільного або породного пилу з додаванням терпких речовин (каолінова глина, цемент). Зниження дисперсності масиву здійснюється шляхом пресування міжблокового простору за допомогою розчинів різного складу.

При проведенні експерименту в умовах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» як розчини застосовувалися суміші наступного вмісту:

- для моделювання вугільного пласта використовувалися наступні матеріали: вугільний пил : вода : цемент марки 400 : каолінова глина у співвідношенні 10 : 4 : 1 : 1;

- для моделювання покрівлі і слабких прошарків літологічної різниці моделювалися: породний пил, кускувата порода : каолінова глина : вода : цемент у співвідношенні: 4 : 8 : 5 : 1,5;

- для моделювання пластів основної покрівлі і пластів жорсткості: породний пил, кускувата порода : каолінова глина : вода : цемент у співвідношенні: 5 : 8 : 6 : 3.

Збільшення жорсткості порід основної покрівлі забезпечувалося внесенням великої кількості породи відповідного ступеня метаморфізму, а також посиленням розчину збільшеним вмістом цементу.

Проведені дослідження показали, що внесена вода в систему призводить до суттєвого збільшення вогкості (в першу чергу, ґрунту і самого вугільного пласта). Така ситуація призводить до певних погрішностей при проведенні досліджень матеріально-теплогового балансу процесу газифікації.

Рішенням цієї проблеми стала необхідність створення системи дренажу гірського масиву до природного стану. В тестовій установці підземної газифікації було проведено удосконалення шляхом примусового дренажу води. З цією метою була створена система дренажних решіток і випускних шарнірних кранів (рис. 2.6).

У нашому випадку на дні стенової установки встановлено 4 шарнірні крани для відведення конденсату. Теплоізоляція стенда (рис. 2.7) проводиться за допомогою жаростійкої цегли, яка викладається в один ряд на дренажну систему і по контуру стенда на висоту безпосередньої покрівлі.

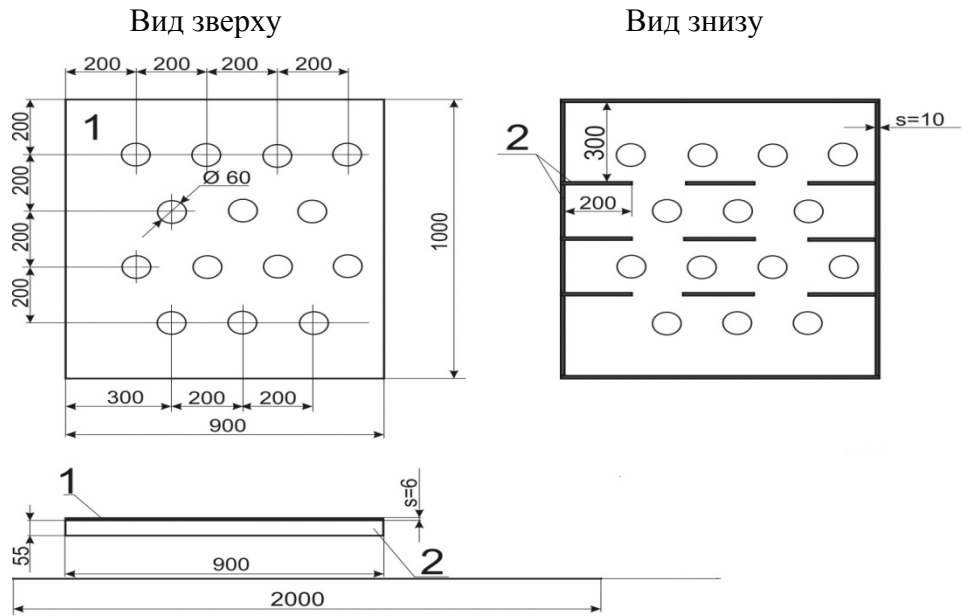


Рисунок 2. 6 – Передбачувана дренажна система стенда СПГВ: 1 – лист сталевий $S = 6$ мм; 2 – лист сталевий $S = 6$ мм

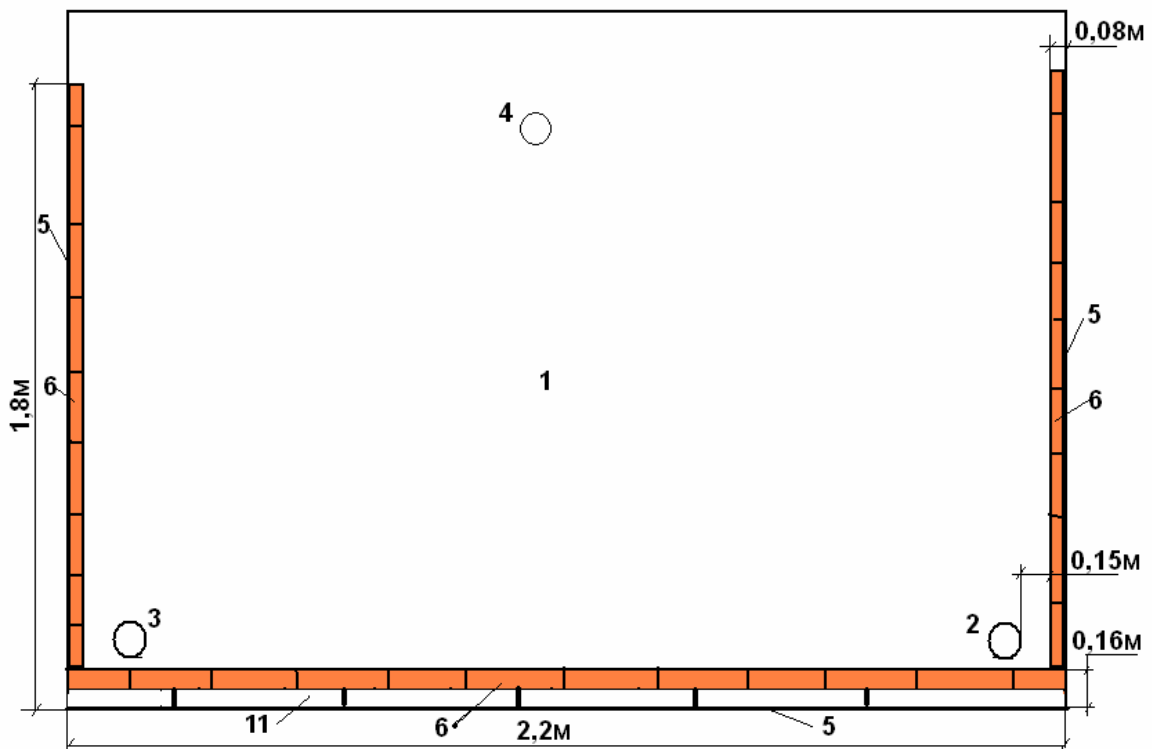


Рисунок 2.7 – Теплоізоляція стенда СПГВ: 1 – стенд; 2 – дуттьовий отвір (в стенді); 3 – газовідвідний отвір; 4 – заставний отвір; 5 – шамот; 6 – жаростійка цегла; 11 – дренажна система

Після висихання теплоізоляції стенда проводиться формування вугільного пласта (рис. 2.8, 2.9). Для більшої правдоподібності проведення експерименту на стендовій установці передбачається використання вугілля вибраних родовищ у вигляді блоків розмірами $1500 \times 600 \times 200$ мм (рис. 2.8). У

разі неможливості доставки блоків відповідних розмірів як варіант передбачається використання блокових кусків розмірами 250×250×200 або 200×200×200 мм (рис. 2.9), що в свою чергу зробить безпосередній вплив на чистоту експерименту і можливе погіршення процесу газифікації з непередбаченими результатами. Вугілля знімається з вугільного пласта по нашаруванню.

Вугільні блоки скріплюються між собою цементним розчином (1 частина цементу і 10 частин вугільного штибу). В пласті залишається простір для імітації нагнітальної та газовідвідної свердловин і каналу газифікації (рис. 2.8 – 2.10). Реакційний канал формується з кусків вугілля фракцією 2,5-5,8 см, імітуючи гідророзрив пласта від дуттьової до газовідвідної свердловин.

Обпилювання кусків вугілля для закладки моделі вугільного пласта здійснюється ручними дисковими пилами. Виконавчий орган пил є дисковим абразивним кругом, що приводиться в рух електродвигуном потужністю 2,5 кВт і частотою обертання близько 3000 об/хв.

Для проведення експериментальних робіт були підібрані зразки кам'яного вугілля, які за своїми якісними характеристиками і хімічному складу близькі або відповідають вугіллю вибраної ділянки Соленівського родовища.

Експеримент

Ділянка СПГВ № 1 Соленівського родовища, пласт С₁₆, m = 0,9 м. Можливе використання вугілля марки Г ПСП «шахти «Ювілейна» ПАТ «ДТЕК «Павлоградвугілля» з пласта С₆.

Для проведення першого експерименту необхідно 2,5 т вугілля, марки Г, а також 500 кг вугільного штиба з фракцією діаметром 0 – 6 мм.

Формування основної і безпосередньої покрівлі проводиться після формування вугільного пласта породами, що залягають безпосередньо над вугільним пластом (рис. 2.11, 2.12). Для експерименту № 1 безпосередньою покрівлею буде порода із вмістом 63 % піскуватого сланцю і 38 % глинистого сланцю в кількості 3,0 т. Для основної покрівлі – порода із вмістом 42 % пісковика і 58 % піскуватого сланцю в кількості 6,0 т.

Потужність основної і безпосередньої покрівлі визначається розрахунковим шляхом при моделюванні робочих параметрів процесу СПГВ по критеріях подібності до натурних умов.

Виходячи з розрахунків, потужність безпосередньої покрівлі складає 0,53 м, потужність основної покрівлі – 1,0 м.

Крім того, покрівля укладається з урахуванням коефіцієнтів теплопровідності, теплоємності, температуропровідності порід безпосередньої покрівлі (піскуватий сланець і глинистий сланець):

$$\lambda = 1,56 \frac{\text{КДж}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{град}}; C = 1,24 \cdot 10^3 \frac{\text{КДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}; a = 0,41 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 / \text{год}$$

і основної покрівлі (пісковик і піскуватий сланець):

$$\lambda = 1,69 \frac{\text{КДж}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{град}}; C = 0,97 \cdot 10^3 \frac{\text{КДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}; a = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 / \text{год}$$

з шахтної породи і шамотного розчину, що забезпечує дотримання в модельованих умовах теплових коефіцієнтів.

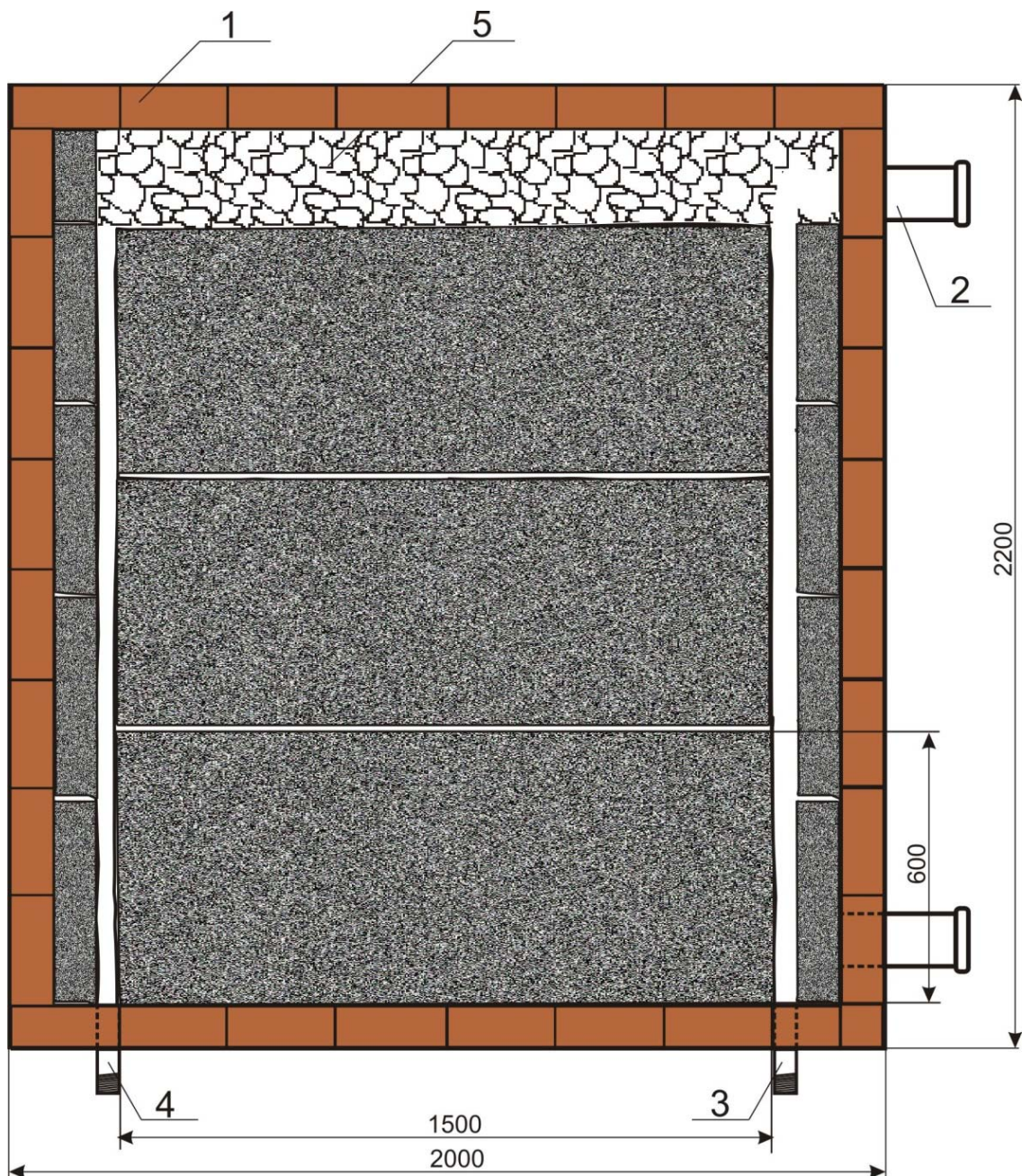


Рисунок 2.8 – Формування вугільного пласта блоковими кусками: 1 – теплоізоляція стенда; 2 – розпалювальна свердловина; 3 – дуттьова свердловина; 4 – газовідвідна свердловина; 5 – реакційний канал; 6 – вугільні блоки 1500×600×200 мм

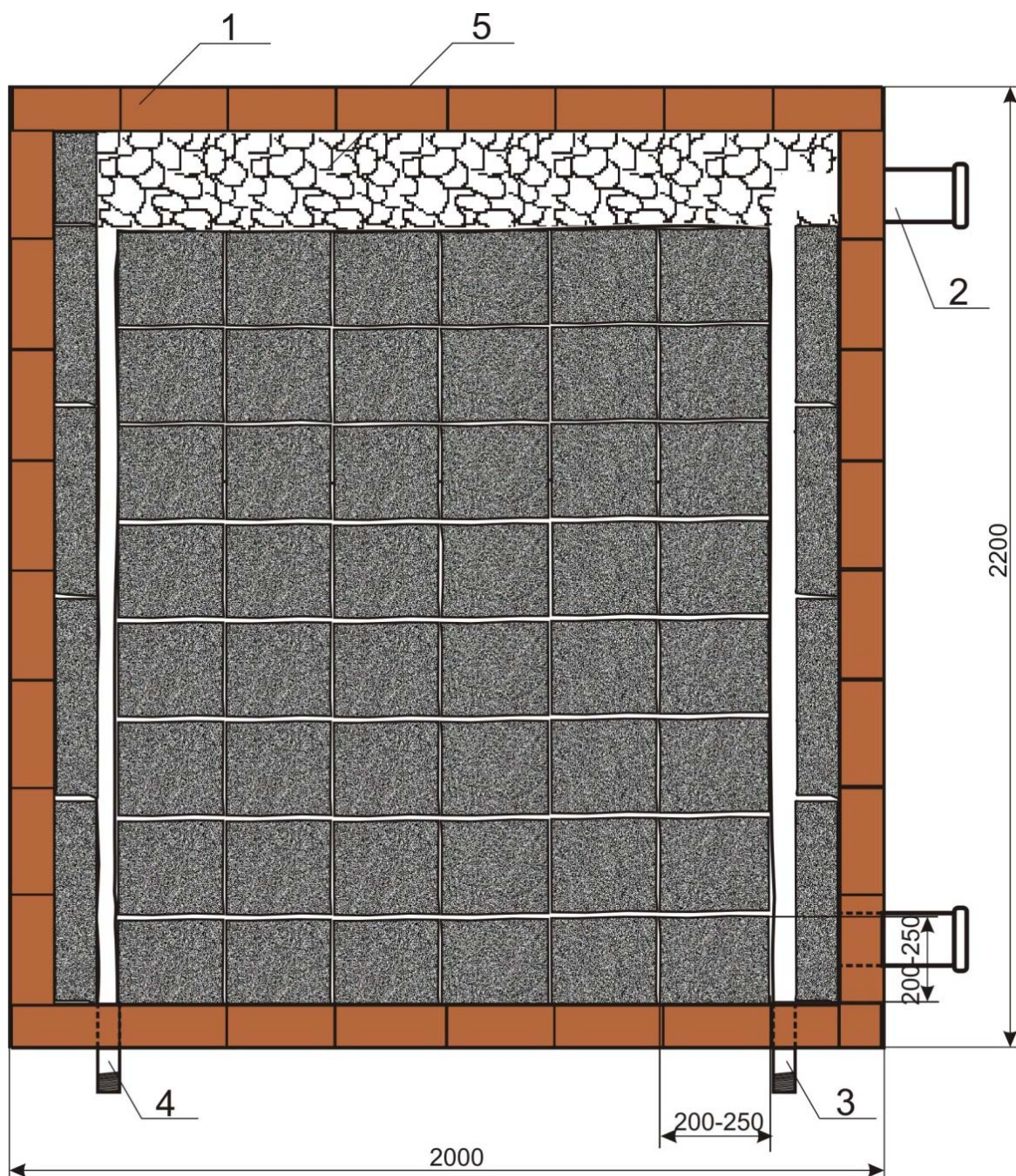


Рисунок 2.9 – Формування вугільного пласта блоковими кусками:
 1 – теплоізоляція стенда; 2 – розпалювальна свердловина; 3 – дуттьова свердловина; 4 – газовідвідна свердловина; 5 – реакційний канал; 6 – вугільні блоки 250×250×200 або 200×200×200 мм

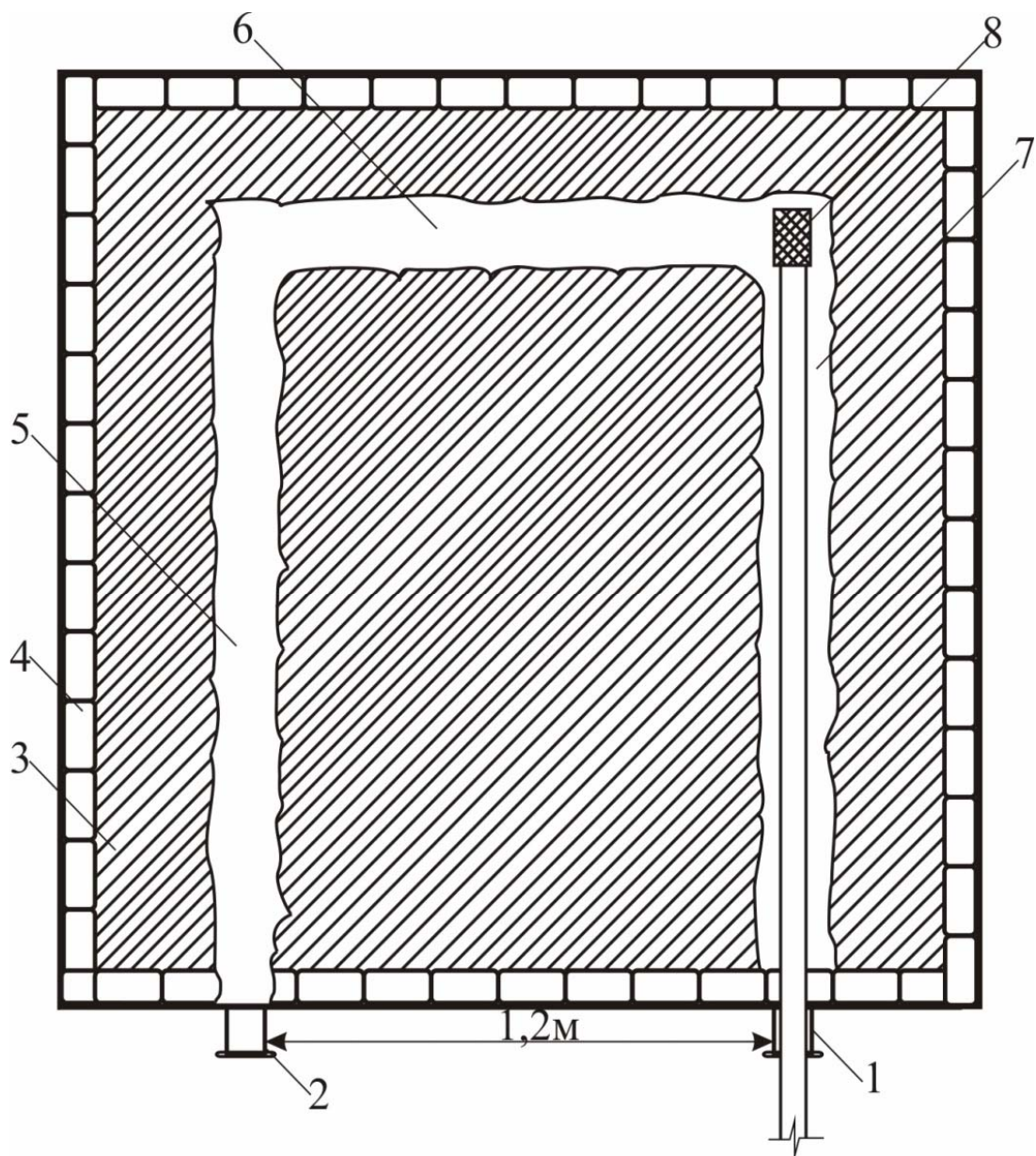


Рисунок 2.10 – Схема газогенератора перед розпалюванням: 1 – отвір повітроподавальної свердловини; 2 – отвір газовідвідної свердловини; 3 – вугільний пласт; 4 – теплоізоляція стенда; 5 – газовідвідна свердловина; 6 – реакційний канал; 7 – повітроподавальна свердловина; 8 – перфорована жаростійка насадка

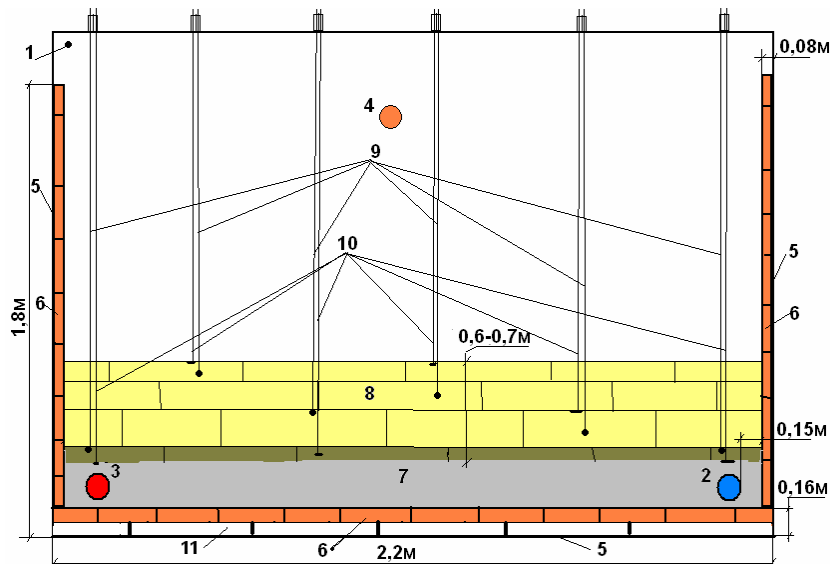


Рисунок 2.11– Монтаж стенда СПГВ (формування безпосередньої покрівлі, установлення датчиків температур і зсуву порід): 1 – стенд; 2 – дуттьова свердловина; 3 – газовідвідна свердловина; 4 – закладна свердловина; 5 – шамот; 6 – жаростійка цегла; 7 – вугільний пласт; 8 – безпосередня покрівля; 9 – термодатчики; 10 – датчики зсуву породних шарів; 11 – дренажна система

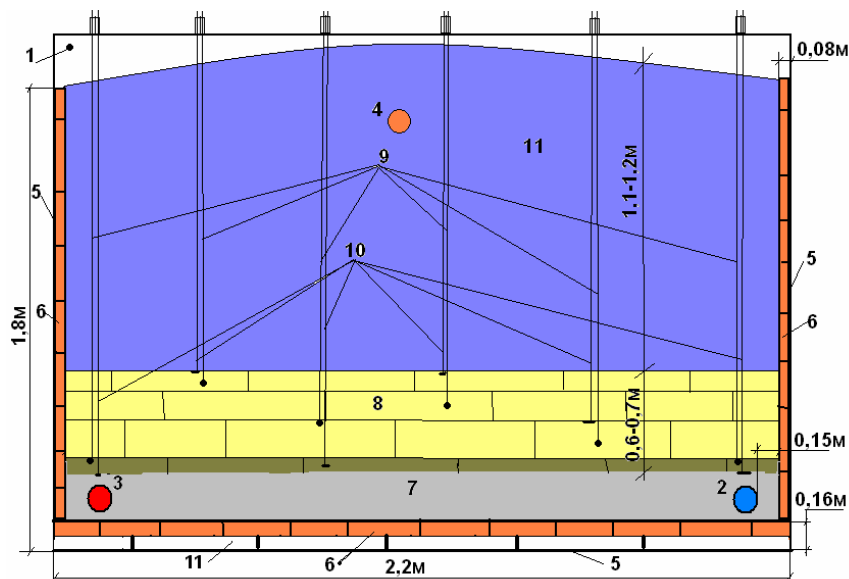


Рисунок 2.12 – Монтаж стенда СПГВ (формування основної покрівлі): 1 – стенд; 2 – дуттьова свердловина; 3 – газовідвідна свердловина; 4 – закладна свердловина; 5 – шамот; 6 – жаростійка цегла; 7 – вугільний пласт; 8 – безпосередня покрівля; 9 – термодатчики; 10 – датчики зсуву породних шарів; 11 – дренажна система

Перед початком процесу газифікації необхідно перевірити стендову установку та всі її компоненти на робочу здатність на холостому ході.

Перевірка установки на холостому ході проводиться таким чином:

- включається компресор, у повітрозбірник закачується повітря до тиску 0,6 МПа. Повітря подається в модель через гнучкий шланг, систему вимірів витрат, розподільчу систему та перфоровану трубу;

- включається димосос для відсмоктування повітря з моделі, витратоміром фіксується кількість повітря на виході;
- порівнюються показники дуттьової та вихідної сумішей;
- проводиться сушіння моделі при роботі устаткування на холостому ходу.

Проведення експерименту на стендовій установці у гарячому режимі

Для проведення випробувань на експериментальній стендовій установці в НГУ розроблена методика проведення випробувань по моделюванню особливостей експлуатації дуттьових свердловин з точкою подачі дуття на наземній стендовій установці НГУ, що переміщається. Дана методика передбачає підготовку моделі до експерименту шляхом формування породовугільного гірського масиву, формування каналів у вугільному пласті: для подачі дуття (переміщення трубопроводу з жаростійкою насадкою), каналу газифікації і газовідвідного каналу, установлення перфорованої труби в каналі подачі дуття, введення трубопроводу з насадкою в перфоровану трубу і розпалювання вугільного пласта.

При проведенні експерименту шляхом зміни тиску і витрати дуття установка виводиться на стійкий режим газифікації.

Під час роботи установки визначаються наступні параметри: швидкість переміщення насадки (см/год), тиск подачі дуття (МПа), витрата дуття ($\text{м}^3/\text{хв}$ склад витікаючих газів, температура в каналі газифікації і газовідвідному каналі ($^{\circ}\text{C}$).

Проведення експериментів доцільно почати з визначення довжини вогневого вибою. Для цього в корпусі моделі підземного газогенератора передбачено п'ять отворів. Перша серія експериментів проводиться при довжині вогневого вибою 1,7 м у нагнітальному режимі.

Розпалювання здійснюватиметься за допомогою розпечених кусків вугілля і дуття, що збагачене киснем (O_2 – до 42 %, витрата дуття 0,2 – 0,3 $\text{м}^3/\text{хв}$, 3 кисневі балони по 40 л). Температура запалювання для вугілля марки Г Селезнівського родовища складає 315 – 328 $^{\circ}\text{C}$. Для вугілля Соленівської ділянки марки Т температура запалювання складає 660 – 675 $^{\circ}\text{C}$, а вугілля Кузбасу марки Г – 312 – 330 $^{\circ}\text{C}$.

Подача дуття під час розпалювання здійснюється нагнітальним способом за допомогою димососа для створення розрідження в реакційному каналі і його пропалення. Після пропалення реакційного каналу здійснюється перехід режиму подачі дуття на нагнітальний режим із збільшенням тиску від 0,08 до 0,15 МПа.

Планована витрата дуття на один експеримент 3228 м^3 з отриманням 6908 м^3 газу.

Для рівномірності руху вогневого вибою і збалансування окислювальної і відновної зон слід проводити реверсування дуттьовими сумішами в газогенераторі. Про необхідність реверсування нам покаже процентний вміст газовідвідних газів.

Після першого експерименту буде проведено розкриття моделі. Під час розкриття будуть досліджені параметри вигазування вугільного пласта, зміни

порід покрівлі і ґрунту під дією температур, а також визначені параметри опускання порід основної і безпосередньої покрівель у міру вигазовування пласта.

За розрахунками буде спалено 1100 кг вугілля.

2.1.4 Інструкція з експлуатації установки

Дослідження процесу ПГУ із застосуванням рухомих насадок містить наступні етапи роботи:

- закладка моделі (викладення порід ґрунту, закладка вугільного пласта, порід покрівлі, монтаж газовідвідного каналу і дуттьових свердловин за простягненням пласта з виведенням з моделі, виготовлення елементів розпалювання);
- монтаж повітроподавальної і газовідвідної мереж;
- розпалювання вугільного масиву;
- газифікація вугілля з нагнітанням повітряного дуття, відведенням газу і переміщенням вогнища горіння за допомогою пересування насадок.

При проведенні робіт на модельній установці визначаються:

- витрата дуття на газифікацію (0,65 - 0,95 м³/хв);
- тиск нагнітання (0,15 – 0,35 МПа) – манометрами;
- температура у вогнищі горіння, у вугільному пласті і бічних породах (400 – 1100 °С) – термодатчиками з виведенням показань на перетворювач, обладнаний інтерфейсом;
- кількість газу (1,4 – 2,03 м³/хв), що утворився, – витратомірами;
- тиск на виході газовідвідного трубопроводу 0,3 МПа) – манометром;
- склад одержуваного газу 20 – 32 % – портативним і стаціонарними газоаналізаторами, обладнаними інтерфейсом і хроматографом;
- теплота згоряння газу (2,18 – 3,56 МДж/м³) – розрахунковим шляхом.

Перед початком експерименту оглядаються стендова установка, рухомі насадки, устаткування й апаратура, перевіряється їх працездатність. Оглядаються експериментальні зразки насадок, заміряються їх геометричні розміри, проводиться зважування і визначається поверхнева твердість корпусу насадки по Брінеллю (ДСТУ 9012-71). Потім перевіряється стенд на холостому ході, проводиться розпалювання пласта і здійснюється процес газифікації. В процесі роботи газогенератора проводиться постійний поточний контроль за основними робочими параметрами для оперативного управління процесом газифікації.

Перед включенням модель перевіряється на холостому ході. Для того включаються електродвигуни компресорів і витяжного вентилятора, заміряється швидкість руху повітря в нагнітальній трубі. Перевіряється герметичність стенда (рівність витрат повітря в нагнітальній і газовідвідній

трубах). Вимірювання проводяться таким чином. Перед закладкою моделі визначають якісні характеристики вугілля і його початкову масу. При роботі установки контроль за характером руху вогневого вибою і перерозподілом температур у вугільному пласті проводять протягом всього експерименту за допомогою термодатчиків.

Поточний контроль складу газу проводять стаціонарними і портативними газоаналізаторами. Результати вимірювань фіксуються на ПК в програмі "Журнал спостережень і реєстрації експериментальних даних" (табл. 2.4 – 2.7). Після закінчення процесу газифікації жаростійкі насадки і труби виймають, розкривають модель і визначають масу вугілля, золи і ін., що залишилися.

Результати досліджень оформляються протоколом, що містить відомості про послідовність, характер і результати досліджень.

Таблиця 2.4 – Параметри процесу газифікації вугільного пласта на стендовій моделі СПГВ

Час	Тиск, МПа		Лічильник, м ³ /год		Посування точки дуття, см	Максимальна температура, °С по довжині каналу, м
	на ресивері	дуття	дуття	генераторного газу		

Таблиця 2.5 – Склад газів до експерименту

Час, Г	СН ₄	С	Н ₂	СО ₂	Н ₂	Н ₂ S	О ₂

Таблиця 2.6 – Параметри залягання термопар і реперів

№ термопар	Глибина залягання, м	Відстань, м		
		від дутьової свердловини	між рядами	від газовідвідної свердловини

Перед повторним розпалюванням обов'язково перевірити установку за допомогою димососа. Для припинення роботи установки необхідно припинити подачу повітря і відсмоктування газів, вимкнувши компресор і вентилятор, закрити повітроподавальний, газовідвідний і розпалювальний отвори. Якщо горіння не припиниться – використовувати вогнегасники, подаючи піну або порошок через ці отвори.

Таблиця 2.7 – Експлуатація установки в аварійному режимі

Аварійний стан	Вказівка з експлуатації
Загасання вогнища горіння	Відключити подачу повітря (компресора), залишивши працюючими вентилятор газовідвідної мережі. Розкрити модель, з'ясувати причину, змонтувати нову модель пласта і знов розпалити
Припинення подачі повітря для дуття	Вентилятор газовідвідної мережі не відключати. З'ясувати причину, відремонтувати, запустити модель в роботу
Зупинка вентилятора газовідвідної мережі	Компресор не відключати. Відремонтувати вентилятор. Процес газифікації не припиняти

2.1.5 Інструкція з техніки безпеки

Вступна частина

До роботи на експериментальній установці допускаються особи, ознайомлені з технічним описом, інструкцією з експлуатації і техніки безпеки під розпис.

Інструктаж проводить науковий керівник або відповідальний виконавець робіт. Обслуговувати установку повинні не менше двох робітників.

Початок і кінець чергування повинні оформлятися записом прийому і здавання змін у журналі. Приймаючи чергування, персонал установки зобов'язаний особисто оглянути і перевірити справність обслуговуваного устаткування.

Персонал установки повинен містити устаткування в справному стані, підтримувати чистоту і порядок. Модельна установка і територія біля неї не повинні захарашуватися сторонніми предметами.

Персонал установки, який знаходиться на чергуванні, несе персональну відповідальність за кожну аварію, а також за всі пошкодження або нещасні випадки, що відбулися від недотримання правил безпеки і вимог даної інструкції.

Характеристика потенційних небезпек при експлуатації установки

- Гази. В результаті моделювання процесу ПГУ одержують суміш газів: двоокис вуглецю, окисел вуглецю, водень, метан, сірководень, кисень, азот.
- Висока температура. Суміш газу має на виході температуру 300 - 600 °С, а температура біля вогнища горіння – до 1300 °С.
- Вибухо- і пожежонебезпечність. Більшість газів отруйна, горюча і вибухонебезпечна.

Вибухонебезпечні концентрації газів, що утворюються при роботі установки (об'ємні концентрації, %), наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибухонебезпечні концентрації газів

Газ	Нижня межа	Верхня межа
Водень	4,0	74,2
Окисел вуглецю	12,5	74,2
Метан	4,5	15,0
Бензол	1,4	6,7

➤ Споживання електроенергії. Електроенергія застосовується для живлення електродвигунів вентилятора і компресорів напругою 380 В, освітлення установки і вахтового будиночка – 220 В. Лампочки підвішують на висоту більше 2,5 м.

➤ Судини і апарати, що працюють під тиском. Повітря для дуття подається компресором у вогнище горіння з ресивера. При вживанні кисневого дуття кисень подається з балонів. Розрахунок необхідної кількості балонів і рекомендації з безпечної експлуатації кисневих балонів наведено в п. 8.3.3.

➤ Експлуатація механізмів. За допомогою верстата з дисковою пилою обпилюються куски вугілля при викладенні вугільного пласта в моделі. Наявні обертові деталі в компресорах і вентиляторі повинні бути закриті кожухами.

➤ Екологічна безпека. На етапі виконання експериментальних робіт виділення шкідливих газів знаходиться нижче за норми ПДК. Викид рідких фракцій в каналізаційну мережу не проводиться. Зважаючи на малі кількісні показники вони знаходяться в кругообігу експерименту (кратність натурної подібності 40 – 50 разів). Зберігання конденсату відбувається в резервуарі загальною місткістю до 300 л. Утилізація проводиться на стендовій установці в процесі експерименту (способом термодеструкції).

Визначення кількості кисню на проведення експерименту

Кисень газоподібний технічний:

Параметри і розміри кисневих балонів згідно ДСТУ 949-73 «Балони сталеві малого і середнього для газів на $P_p \leq 19,7$ МПа» 5, 10 і 40 літрів.

За ДСТУ 5583-78 «Кисень газоподібний технічний і медичний», об'єм газоподібного кисню в балоні (V) в кубічних метрах за нормальних умов обчислюють за формулою:

$$V = K_1 \cdot V_0,$$

де V_0 – місткість балона, дм^3 ;

K_1 – коефіцієнт для визначення об'єму кисню в балоні за нормальних умов, значення коефіцієнта K_1 наведено в табл. 2.4 (ДСТУ 5583-780).

Обчислимо об'єм кисню в найпоширенішому балоні в будівництві об'ємом 40 л з робочим тиском 14,7 МПа (150 кгс/см^2). Коефіцієнт K_1 визначаємо по ДСТУ 5583-78 при температурі 15 °С:

$$V = 0,159 \cdot 40 = 6,36 \text{ м}^3$$

Для даного випадку об'єм кисню складає: 1 балон = 40 л = 6,36 м^3

Враховуючи геометричні та кількісні параметри моделі підземного газогенератора по ділянках СПГВ, для проведення газифікації на кисневому дутті протягом 1 години необхідно $78,6 \text{ м}^3$ кисню. З урахуванням привнесеного кисню повітрям для подачі $48,1 \text{ м}^3$ азоту кількість необхідного кисню зменшиться до $67,4 \text{ м}^3$, що відповідає 11 балонам по 40 л.

Інструкція з охорони праці при експлуатації, зберіганні та транспортуванні кисневих балонів

І Загальні положення

1 Дана інструкція визначає основні вимоги, що пред'являються до експлуатації, зберігання і транспортування кисневих балонів, що використовуються на підприємстві.

2 Інструкція складена на підставі вимог «Правил обладнання і безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском», «Правил перевезення автомобільним транспортом інертних газів і кисню, стислих і рідких», а також інших нормативних документів.

3 Вимоги даної інструкції розповсюджуються на балони місткістю 40 л, призначені для зберігання і транспортування кисню.

4 До робіт, пов'язаних з експлуатацією, транспортуванням і зберіганням кисневих балонів, допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання та перевірку знань в обсязі даної інструкції і мали відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

5 Періодична перевірка знань персоналу, зайнятого експлуатацією і зберіганням кисневих балонів, проводиться не рідше одного разу на рік.

6 Позачергова перевірка знань проводиться у разі зміни вимог даної інструкції, їх порушення, на вимогу представників Держнаглядохоронпраці або осіб, відповідальних з нагляду за технічним станом і експлуатацією балонів, призначених у кожному підрозділі підприємства з числа осіб ІТР.

7 Повторний інструктаж персонал, зайнятий роботами, пов'язаними з експлуатацією і зберіганням кисневих балонів, проходить не рідше одного разу на місяць в обсязі вимог даної інструкції.

8 Допуск персоналу до самостійного обслуговування кисневих балонів оформляється розпорядчим документом по підприємству.

9 Видача посадовцями вказівок або розпоряджень, що суперечать вимогам вищезгаданих правил і даної інструкції, неприпустимо.

10 Вимоги даної інструкції обов'язкові для виконання всіма працівниками підприємства, зайнятими експлуатацією, зберіганням і транспортуванням кисневих балонів.

11 Працівники, які допустили порушення вимог даної інструкції, несуть персональну відповідальність, незалежно від того, чи призвело порушення до аварій або нещасного випадку з людьми. Посадовці відповідають також за порушення вимог даної інструкції, допущені їх підлеглими. Залежно від характеру порушень вказані особи можуть притягатися до дисциплінарної, матеріальної або кримінальної відповідальності.

12 Для забезпечення утримування кисневих балонів у справному стані і безпечних умов роботи з ними наказом по підприємству з числа ІТР, які пройшли в установленому порядку перевірку знань «Правил обладнання і безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском» і вимог даної інструкції в кожному підрозділі, що експлуатує кисневі балони, призначаються особи, відповідальні за справний стан і безпечну їх експлуатацію, які повинні:

12.1 Вести належний облік всіх кисневих балонів, що надходять у підрозділ.

12.2 Забезпечити утримування балонів в справному і безпечному стані.

12.3 Забезпечити обстеження балонів персоналом, який навчений і пройшов перевірку знань.

12.4 Забезпечити виконання обслуговуючим персоналом вимог даної інструкції.

12.5 Своєчасно здавати балони, експлуатовані в підрозділі, для технічного повторного огляду.

12.6 Періодично, не рідше одного разу на квартал, проводити цільові перевірки безпечної експлуатації і зберігання кисневих балонів, що знаходяться в експлуатації в підрозділі.

13 Основними небезпечними і шкідливими виробничими чинниками, що мають місце при експлуатації кисневих балонів, є наступні:

13.1 Інтенсивно підтримують горіння.

13.2 Сприяють запалюванню горючих матеріалів.

13.3 Вибухонебезпека кисню в суміші з парами палива і газами.

13.4 Концентрація кисню в повітрі навколишнього середовища понад 23% сприяє спалаху одягу.

13.5 При концентрації понад 40% становить небезпеку для живих організмів, тобто виявляється токсична дія – ураження дихальних органів, головним чином легенів, аж до їх набряку.

13.6 Змащувальні речовини і жирові забруднення поверхонь, що контактують з киснем, є причиною загоряння, або при певній товщині шару – причиною детонаційного вибуху.

13.7 Можливість накопичення кисню при витоках газоподібного кисню в траншеях, колодязях і т.д. унаслідок того, що він важчий за повітря.

14 Слід виконувати тільки ту роботу, яка доручена безпосереднім керівником, не розширюючи її обсягу.

II Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1 Переконатися в наявності на кисневому балоні виразно видимих даних, вибитих на заводі-виготівнику:

- товарний знак підприємства-виготівника;
- номер балона;
- фактична маса порожнього балона з точністю до 0,2 кг;
- дата (місяць, рік) виготовлення і наступного огляду;
- робочий тиск (кгс/см²);
- пробний гідравлічний тиск (кгс/см²);
- місткість балона з точністю до 0,3 л;

- клеймо ОТК підприємства-виготівника круглої форми діаметром 10 мм.

2.2 Встановити кисневий балон, виключивши дію на нього прямого сонячного променя.

2.3 Переконатися в укомплектованості та справності кисневого балона, наявності на ньому відповідного напису «Кисень».

2.4 Очистити вентиль балона від окалини, пилу, піску, масляних плям у разі їх наявності на ньому.

2.5 Переконатися у відсутності розгерметизації вузлів, сполучних деталей.

2.6 Транспортування кисневих балонів дозволяється тільки на ресорних транспортних засобах, а також на спеціальних ручних візках і носилках.

2.7 Одержати інструктаж по безпечному виконанню робіт.

2.8 Видалити з робочого місця зайві предмети, що заважають виконанню роботи.

2.9 Надіти спецодяг, спецвзуття, визначені галузевими нормами видачі спецодягу, спецвзуття для даної категорії працівників.

2.10 Перевірити справність устаткування і пристосувань, що використовуються при виконанні робіт.

2.11 Про всі помічені несправності устаткування і пристосувань повідомити безпосереднього керівника.

2.12 Перед приєднанням редуктора до кисневого балона перевірити справність вхідного штуцера і накидної гайки редуктора, переконатися у відсутності на їх поверхні масел і жирів, а також у наявності і справності ущільнювальної фібрової прокладки і фільтра на вхідному штуцері редуктора.

2.13 При зберіганні кисневих балонів повинні дотримуватися наступні вимоги:

2.13.1 Балони з киснем можуть зберігатися як у спеціальних приміщеннях, так і на відкритому повітрі, в останньому випадку вони повинні бути захищені від атмосферних опадів і сонячного променя.

2.13.2 Зберігання в одному приміщенні балонів з киснем і горючими газами заборонене.

2.13.3 Балони з киснем, встановлювані в приміщеннях, повинні знаходитися на відстані не менше 1 м від радіаторів опалювання, інших опалювальних приладів, печей і не менше 5 м від джерел тепла з відкритим вогнем.

2.13.4 Наповнені балони повинні зберігатися у вертикальному положенні. Для оберігання від падіння балони повинні встановлюватися в спеціально обладнані кубла, клітки або захищатися бар'єром.

2.13.5 Склади для зберігання балонів повинні бути одноповерховими з покриттями легкого типу, не мати горищних приміщень. Стіни, перегородки, покриття складів повинні бути з негорючих матеріалів, не нижче III ступеня вогнестійкості. Вікна і двері повинні відкриватися назовні. Віконні і дверні стекла повинні бути матовими або фарбовані білою фарбою. Висота складських приміщень повинна бути не менше 3,25 м від підлоги до нижніх виступаючих

частин покрівельного покриття. Підлоги складів повинні бути рівними з неслизькою поверхнею.

2.13.6 У складах повинні бути вивішені інструкції, правила і плакати щодо поводження з балонами.

2.13.7 На підприємстві повинна бути призначена особа, відповідальна за зберігання кисневих балонів на складі, видачу балонів зі складу і повернення їх на склад.

2.13.8 На складі, де зберігаються кисневі балони, повинен бути журнал видачі і повернення кисневих балонів.

2.13.9 Видачу і приймання кисневих балонів на складі повинна виконувати лише особа, вказана в 2.13.7.

III Вимоги безпеки під час роботи з кисневими балонами

3.1 Не допускається попадання на кисневі балони різного виду масел, торкання до них руками, забрудненими маслом.

3.2 Проявити максимум уваги виконуваній роботі, не відволікаючись на виконання іншої роботи і сторонні розмови.

3.3. Утримувати робоче місце в чистоті і порядку, не допускаючи захаращування його сторонніми предметами.

3.4 Кисневі балони повинні знаходитися на відстані не менше 5 м від джерел тепла.

3.5 Неприпустимо зняття запобіжного ковпака з кисневого балона ударами молотка, зубила і ін. інструментом, які можуть викликати іскру.

3.6 При порушенні технологічного процесу, виявленні несправностей устаткування негайно повідомити про це свого безпосереднього керівника.

3.7 Не допускати різкого відкриття і закриття вентиля, що може призвести до самозаймання кисню і вигорання частин вентиля і редуктора.

3.8 Не проводити ремонт вентиля, підтягання різьбових з'єднань за наявності кисню в балоні.

3.9 Не допускати падіння кисневого балона, перенесення їх на руках і плечах.

3.10 Не допускається зберігання і переміщення кисневих балонів без запобіжних ковпаків і заглушок, що закручують на їх горловину, на бічних штуцерах вентилів.

3.11 При транспортуванні повинні дотримуватися наступні вимоги:

3.11.1 До транспортування кисневих балонів допускаються робітники в чистому, що не має слідів масел і жирів, спецодязі. Руки також не повинні бути замаслені.

3.11.2 Транспортування кисневих балонів автомобільним транспортом проводиться відповідно до "Правил перевезення автомобільним транспортом інертних газів і кисню: стислих і рідких".

3.11.3 Транспортування кисневих балонів дозволяється на ресорних транспортних засобах, а також на спеціальних ручних візках і носилках.

3.11.4 При вантаженні кисневих балонів на візок і зняття з нього необхідно вжити заходи, що перешкоджають мимовільному його руху.

3.11.5. При безконтейнерному транспортуванні кисневих балонів повинні дотримуватися наступні вимоги:

- на балонах повинні бути повністю закручені ковпаки;
- балони повинні укладатися в дерев'яні бруски з вирізаними кублами, оббитими повстю або іншим м'яким матеріалом;
- при вантаженні більше одного ряду балонів повинні застосовуватися прокладки на кожний ряд для оберігання їх від зіткнення один з одним. Допускається застосовувати як прокладку прядивний канат діаметром не менше 25 мм і кільця з гуми завтовшки не менше 25 мм;
- балони повинні укладатися тільки упоперек кузова автомобіля вентилями в одну сторону – праву по ходу машини;
- укладання балонів допускається в межах висоти бортів;
- при вантаженні і розвантаженні не допускається скидання балонів і удари їх один об одного, а також розвантаження вентилями вниз;
- забороняється вантаження балонів на автомобілі й інші транспортні засоби за наявності в кузові бруду, сміття і слідів масел;
- дозволяється перевезення балонів в спеціальних контейнерах, а також без контейнерів у вертикальному положенні, обов'язково з прокладками між ними і огорожею, перешкоджаючими можливим падінням;
- сумісне транспортування кисневих і ацетиленових балонів на всіх видах транспорту заборонено;
- у літній час балони, що перевозяться, повинні бути захищені від сонячного променя брезентовим або іншим покриттям;
- особою, відповідальною за перевезення кисневих балонів, є водій транспортного засобу;
- допустима швидкість руху автомобіля, що перевозить кисневі балони, 60 км/год;
- в умовах поганої видимості (туман, дощ, снігопад і т.д.) до 300 м перевезення кисневих балонів заборонено;
- забороняється перевезення людей в одному кузові із заправленими кисневими балонами.

3.11.6 Переміщення кисневих балонів на незначній відстані в межах одного робочого місця дозволяється проводити шляхом обережного його кантування у вертикальному положенні з невеликим нахилом. Переміщення балона з одного приміщення в інше, навіть суміжне, повинне проводитися на спеціально пристосованих візках або носилках, що забезпечують безпечне перенесення балонів.

IV Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1 Після закінчення роботи залишати кисневі балони на робочому місці заборонено.

4.2 Після закінчення роботи від балона повинен бути від'єднаний редуктор, вентиль балона щільно закритий і закручений запобіжний ковпак, після чого балон забирається в спеціально відведене для його зберігання місце.

4.3 Видалити з робочого місця інструмент і пристосування, за допомогою яких проводилися роботи.

4.4 Повідомити безпосереднього керівника про всі помічені при виробництві робіт несправностях інструментів і пристосувань.

4.5 Вимити руки теплою водою з милом, а при нагоді прийняти душ.

V Вимоги безпеки при аварійних ситуаціях

5.1 Кисневі балони, в яких при огляді поверхні виявлені тріщини, вм'ятини, раковини і ризики, завглибшки понад 10% від номінальної товщини стінки, вищерблення, знос різьблення горловини, а також на яких відсутні деякі паспортні дані, вибраковуються.

5.2 Якщо в результаті очищення паспортні дані балона погано видно, споживачу забороняється набивати їх самостійно. В цьому випадку балон повинен бути відправлений на підприємство-наповнювач.

5.3 Якщо при закритті вентиля (при продуванні балона або перевірці наявності залишкового тиску в ньому, або просто в процесі використання балонів) обірветься шпіндель (шток), необхідно "головку", що відірвалася, і сам балон повернути особі, яка видала балон, довести до відома про несправність балона безпосереднього керівника і у жодному випадку не робити ніяких спроб ремонту вентиля самостійно.

5.4 У разі, коли через несправність вентиля кисень, що міститься в балоні, не може бути використаний, балон необхідно повернути на наповнювальну станцію, і на ньому наноситься надпис «Обережно! Повний» і прямує відповідний супровідний лист з вказівкою заводського номера цього балона.

5.5 У разі повного спрацьовування кисню з балона, останній повинен прямувати на наповнювальну станцію, в майстерню по ремонту і випробуванню балонів.

5.6 Споживачі кисню, винні в порушенні правил поводження з балонами, знімаються із забезпечення киснем на період розгляду й усунення порушень і вживання заходів до винних.

5.7 При виникненні ситуацій, які можуть призвести до нещасного випадку або аварії, слід негайно припинити всі роботи і повідомити про це безпосереднього керівника.

5.8 При виникненні спалаху негайно приступити до його ліквідації первинними засобами пожежогасіння, а при необхідності викликати пожежну охорону.

5.9 При нещасному випадку з персоналом негайно приступити до надання першої допомоги постраждалому, викликавши при необхідності швидку медичну допомогу.

Заходи безпеки

1 Щоб уникнути отруєння газом роботи усередині установки можуть проводитися тільки після повного припинення її роботи і провітрювання протягом 30 хвилин.

2 Щоб уникнути опіків не торкатися до поверхонь, що нагріваються під час роботи: циліндрів компресорів, повітроподавальних насадок і трубопроводів, термодатчиків, газовідвідних трубопроводів, електродвигунів, корпусу установки.

3 Щоб уникнути вибуху газів не допускається користування відкритим вогнем у місці виходу продуктів газифікації в атмосферу, в місцях відбору проб газу. Перед повторним розпалюванням повинні бути провітрені установка і канал горіння.

При експлуатації установки, неповністю завантаженої вугіллям і породою, кришки над вільними відсіками корпусу повинні бути відкриті, щоб уникнути скупчення газів.

4 Всякий дотик до голих або з поганою ізоляцією дротів, корпусів електроустаткування, що знаходяться під напругою, призводить до поразення електричним струмом. Тому всі струмоведучі частини повинні бути надійно ізольовані, а корпуси електроапаратів заземлені.

Ремонтні роботи на електроустаткуванні повинні виконуватися тільки після відключення струму із забезпеченням видимого розриву електричного ланцюга.

Забороняється вішати і класти одяг і які б то ні було предмети: рубильники, вимикачі, електродвигуни, кабелі, дроти світильники й інше електроустаткування.

Якщо хто-небудь потрапив під електрострум, необхідно, перш за все, звільнити потерпілого від дії струму. Виконати це треба безпечним прийомом, наприклад:

а) вимкнути рубильник, вимикач і т.п.;

б) перерубати дроти або кабель гострим предметом з дерев'яною сухою ручкою (сокира, лопата, і т.п.);

в) відкинути дріт або кабель сухою палицею.

При втраті свідомості до приходу лікаря необхідно робити постраждалому штучне дихання.

5 Балони з киснем і іншими стислими газами можна транспортувати вручну тільки користуючись спеціальними носилками або візками. Забороняється переносити балони на плечах, оскільки при цьому є небезпека упустити балон. При падінні наповненого балона він може вибухнути. Якщо вибух і не відбудеться, то балон при падінні може заподіяти травму.

При вантаженні і вивантаженні балонів не можна їх кидати, штовхати і ударяти.

Не можна допускати ударів по балонах (як наповнених, так і порожніх) і ресиверу молотком, гайковим ключем і іншими предметами.

Не допускати нагрівання балонів прямим сонячним променем.

Не допускається зберігання і перевезення балонів з киснем, балонів з іншими газами і горючими рідинами.

Щоб уникнути вибуху не можна допускати забруднення кисневих балонів трубопроводів і спецодягу маслами і жирами.

Забороняється виконувати які-небудь ремонтні роботи на судинах, трубопроводах, що знаходяться під тиском. Всі судини, що знаходяться під тиском на стендовій установці, повинні бути забезпечені справними манометрами. На компресорах і на ресивері повинні бути рівні запобіжні клапани.

Всі судини, що працюють під тиском, повинні регулярно піддаватися технічному повторному огляду. Судини, що знаходяться в експлуатації, піддають внутрішньому і зовнішньому оглядам з метою оцінки стану відповідних поверхонь і впливу середовища на стінки судини.

Експлуатація судини повинна бути припинена:

- а) при підвищенні тиску в судині більш дозволеного (0,6 МПа), не дивлячись на виконання всіх вимог інструкції;
- б) при несправності запобіжних клапанів;
- в) при виявленні в основних елементах судини тріщин, пропусків і потіння в зварних швах, течі в заклепувальних і болтових з'єднаннях, розриву прокладок;
- г) при несправності манометра;
- д) при несправності кріпильних деталей і кришок люків;
- е) при виникненні пожежі, безпосередньо загрозливої судині під тиском.

6 Частини механізмів, що обертаються, повинні бути захищені. Забороняється експлуатація механізмів за відсутності огорожі.

Забороняється залишати працюючі механізми без нагляду. Ремонт, чищення і змащування механізмів дозволяється проводити при повній його зупинці.

7 Працювати можна тільки справним ручним інструментом. Гайкові ключі повинні точно відповідати розмірам гайок і болтів. Застосовувати прокладки до ключів або нарощувати ключ іншим ключем або трубкою забороняється.

Інструмент повинен використовуватися тільки за прямим призначенням.

8 Під час роботи обов'язково треба користуватися спецодягом і індивідуальними захисними пристосуваннями. В нічний час обслуговуючий персонал повинен екіпіруватися комбінезонами, гумовими чобітьми і шахтними переносними світильниками.

9 Робота з мінеральною ватою, застосованою в баку-фільтрі, повинна проводитися в наглухо застібнутому комбінезоні, рукавицях, респіраторі і захисних окулярах.

10. Як засоби пожежогасіння у вахтовому будиночку повинно бути не менше 5 вогнегасників, а біля будиночка – 0,6 м³ піску.

11. Підйом і переміщення кришок установки здійснювати за допомогою вантажопідйомних пристроїв. Піднімати і пересувати кришки вручну забороняється.

Надання першої медичної допомоги

Нещасні випадки, як правило, супроводжуються різними травмами. Допомога, надана негайно, може врятувати постраждалого від важких

наслідків. Кожний працюючий повинен уміти накладати при переломах шину, зробити штучне дихання і зовнішній масаж серця.

У вахтовому будиночку повинна бути аптечка.

При ураженні людини електричним струмом необхідно швидко звільнити його від дії струму, оскільки від тривалості дії струму залежить характер електротравми. При цьому слід пам'ятати:

✓ по-перше, дотик до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, викликає в більшості випадків мимовільне судорожне скорочення м'язів і, якщо постраждалий тримає дрот руками, пальці так сильно стискаються, що звільнити дрот з рук майже неможливо;

✓ по-друге, слід мати на увазі, що торкатися до людини, що знаходиться під струмом, без запобіжних належних засобів небезпечно для життя особи, яка надає допомогу. Тому, перш за все, необхідно швидко відключити ту частину установки, якої торкається потерпілий.

Якщо постраждалий знаходиться на висоті, то відключення установки може викликати його падіння, тому повинні бути вжиті заходи, що забезпечують безпеку падіння потерпілого.

При відключенні установки може одночасно відключатися також і електричне освітлення, у зв'язку з чим слід забезпечити освітлення від іншого джерела (аварійне освітлення, акумуляторні ліхтарі і т.п.) з урахуванням вибухо- і пожежонебезпечності приміщення, не затримуючи при цьому відключення установки і надання допомоги постраждалому.

Якщо відключення установки не може бути проведено достатньо швидко, то необхідно вжити заходи до звільнення постраждалого від струмоведучих частин, до яких він торкається.

Заходи першої допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення його від електричного струму. Якщо постраждалий знаходиться в свідомості, але до цього був у непритомному стані або тривалий час знаходився під струмом, його слід зручно укласти (підстилити під нього що-небудь і накрити зверху яким-небудь одягом) і до прибуття лікаря забезпечити повний спокій, безперервно спостерігаючи за диханням і пульсом. У жодному разі не можна дозволяти постраждалому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану здоров'я потерпілого, питання про подальше лікування постраждалого може бути вирішено тільки лікарем.

Якщо постраждалий знаходиться в притомному стані, але його дихання і пульс стійкі, то необхідно рівно і зручно укласти його, розстебнути одяг, забезпечити приплив свіжого повітря і забезпечити повний спокій (видалити зайвих людей). При цьому потерпілому потрібно давати нюхати нашатирний спирт, окропляти його водою (не з рота), розтирати і зігрівати тіло, одночасно слід терміново викликати лікаря

За відсутності дихання або пульсу у потерпілого у зв'язку з різким погіршенням кровообігу розширюються зіниці, з'являється посиніння шкіри і слизистих оболонок. У цих випадках допомога повинна бути направлена на

відновлення життєвих функцій шляхом застосування штучного дихання і зовнішнього масажу серця.

Слід пам'ятати, що спроби оживлення ефективні лише в тих випадках, коли з моменту зупинки серця пройшло не більше 4 - 5 хв, тому першу допомогу слід надавати по можливості на місці події.

Переносити постраждалого в інше місце слід тільки в тих випадках, коли йому або особі, яка надає допомогу, на місці це неможливо.

Штучне дихання проводиться в тих випадках, коли постраждалий не дихає або дихає дуже погано (рідко, судорожно, як би схлипування), а також, якщо дихання постраждалого поступово погіршується незалежно від того, чим це викликано (ураження електричним струмом, отруєння і т.д.).

Проводити штучне дихання слід негайно після звільнення потерпілого від дії електричного струму, витягання його з води або з приміщення з отруйливими речовинами і безперервно до досягнення позитивного результату або до прибуття лікаря. Найефективнішим є спосіб проведення штучного дихання «з рота в рот» або «з рота в ніс».

Будь-яка рана може бути легко забруднена мікробами; щоб уникнути зараження правцем особливу увагу слід приділяти ранам, забрудненим землею. Термінове звернення до лікаря для введення протиправцевої сироватки попереджає це захворювання.

Щоб не забруднювати рану під час перев'язки, надаючий першу допомогу при пораненнях повинен чисто (з милом) вимити руки, якщо це зробити чогонебудь неможливо, слід змазати пальці настоянкою йоду. Торкатися до самої рани навіть вимитими руками не дозволяється.

При наданні першої допомоги необхідно строго дотримувати наступні правила:

а) не можна промивати рану водою або навіть якою-небудь лікарською речовиною, засипати порошками або змазувати мазями, оскільки це перешкоджає загоєнню рани, в неї заноситься бруд з поверхні шкіри, що викликає подальше нагноєння;

б) не можна видаляти з рани пісок, землю; при цьому можна глибше втерти бруд і викликати зараження рани. Очистити рану може тільки лікар;

в) не можна видаляти з рани згустки крові, оскільки це може викликати сильну кровотечу.

Для надання першої допомоги при пораненні слід розкрити індивідуальний пакет (правила користування надруковані на його обгортці), що є в аптечній шафі (сумці), накласти стерильний перев'язувальний матеріал, що міститься в ньому, на рану і зав'язати бинтом.

Індивідуальний пакет слід розкривати так, щоб не торкатися руками тієї частини пов'язки, яка повинна бути накладена безпосередньо на рану.

Якщо індивідуального пакета чогось не виявилось, то для перев'язування слід використовувати чисту носову хустку, чисту тканину і т.п. Краї рани необхідно обробити настоянкою йоду.

Зовнішня кровотеча може бути артеріальною і венозною. При артеріальній кровотечі кров яскраво-червоного кольору витікає пульсуючим струменем (поштовхами), при венозному кров темного кольору і витікає безперервно. Найбільш небезпечна артеріальна кровотеча.

Для того, щоб зупинити кровотечу, необхідно підняти поранену кінцівку, закрити рану, що кровоточить, перев'язувальним матеріалом (з пакета), складеним в декілька шарів, і придавити зверху, не торкаючись пальцями самої рани, і в такому положенні, не відпускаючи пальця, тримати протягом 4 - 5 хв.

Якщо кровотеча зупиниться, то, не знімаючи накладеного матеріалу, поверх нього необхідно накласти ще одну подушечку з іншого пакета або ж кусок вати і забинтувати поранене місце (з деяким натиском); при сильній кровотечі, якщо вона не зупиняється пов'язкою, слід здавлювати кровоносні судини, що живлять поранену область, згинанням кінцівки в суглобах, а також пальцями, джгутом або закруткою. У всіх випадках необхідно терміново викликати лікаря.

При переломах і вивихах необхідно забезпечити найзручніше положення для пошкодженої кінцівки. На місце перелому кінцівок (рук, ніг) слід зразу ж накласти шину з будь-якого твердого матеріалу (в крайньому випадку, шину можна замінити палицею, дошкою, лінійкою). Центр шини повинен знаходитися на рівні місця перелому, а кінці її повинні забезпечувати нерухомість суглобів. Пошкоджена кінцівка повинна бути нерухома, що обов'язкове не тільки для усунення больових відчуттів, але і для попередження додаткових пошкоджень навколишніх тканин і перетворення закритого перелому у відкритий.

Найзручніше положення пошкодженої частини тіла необхідно забезпечити і під час доставки постраждалого до лікувальної установи.

При непритомному стані (запаморочення, нудота, утруднення в грудях, нестача повітря, потемніння в очах) постраждалого слід укласти, опустивши голову і підвівши ноги (щоб забезпечити приплив крові до судин мозку), дати випити холодної води і понюхати нашатирний спирт. Класти на голову примочки і лід не слід.

При тепловому або сонячному ударі людина, яка працює в жаркому приміщенні (машинній залі), при тепловому ударі, в задушливу безвітряну погоду, повинна бути негайно усунена від роботи і виведена на свіже повітря або в тінь. Ознаки теплового або сонячного удару: раптова слабкість і головний біль, похитування тощо.

При появі різких ознак нездужання (частий слабкий пульс, непритомний стан, поверхневе, слабке дихання, судоми) необхідно перенести постраждалого з жаркого приміщення в прохолодне місце, укласти, роздягнути, охолодити тіло, обмахуючи особу, змочуючи голову і груди холодною водою.

При припиненні дихання або різкому його розладі слід застосувати штучне дихання.

2.2 Методика гібридизації вітчизняного автомобіля бюджетного класу

2.2.1 Програма випробування витрати палива автомобілем на холостому ході

I Мета випробувань

Визначити витрату палива автомобіля «Сенс» при роботі двигуна внутрішнього згоряння ДВЗ на «холостому ході».

Параметри досліджуваного автомобіля і навколишнього середовища

Габаритні розміри, маса і об'єми:

– Довжина, мм	4237
– Ширина, мм	1678
– Висота, мм	1432
– Колісна база, мм	2520
– Споряджена маса, кг	1010
– Повна маса (максимально допустима), кг	1400
– Об'єм багажника, л	322
– Об'єм паливного бака, л	48

Двигун:

– Розташування	спереду, поперечне
– Об'єм двигуна, куб. см	1299
– Кількість циліндрів	4
– Потужність, л.с. при об/хв	70 при 5400-5600
– Ступінь стиснення	9,80
– Система живлення	Розподілене уприскування
– Паливо	Бензин

Трансмісія:

– Коробка передач	Механічна
– Число передач	5
– Тип приводу	Передній

Рульове управління:

– Діаметр розвороту, м	9,80
------------------------	------

Ходова частина:

– Гальма передні	Дискові вентильовані
– Гальма задні	Барабанні

Витрата палива і токсичність:

– Міський цикл, л/100 км	8,90
– Заміський цикл, л/100 км	5,50
– Норми токсичності Euro	Euro II

Динамічні характеристики:

– Максимальна швидкість, км/год	162
– Час розгону до 100 км/год,	17

Параметри навколишнього середовища:

– Температура повітря, °С	21
---------------------------	----

- Швидкість вітру, м/с 3
- Напрямок вітру, зустрічний, попутний, бічний бічний

II Процес випробувань містить наступні етапи:

1-й етап – вимір витрати палива при прогріванні двигуна, л/година; вимір часу прогрівання ДВЗ від початкової температури до робочої температури;

2-й етап – вимір витрати палива на холостому ході без навантаження, л/година; вимір проводиться на прогрітому до робочої температури двигуні з вимкненим кондиціонером;

3-й етап – вимір витрати палива на холостому ході з навантаженням, л/година; вимір проводиться на прогрітому до робочої температури двигуні з включеним кондиціонером.

III Порядок виконання випробувань:

1-й етап:

1. Замір температури t_0 ДВЗ на заглушці сорочки охолодження 2-го циліндра;
2. Старт ДВЗ. Засікти час за допомогою секундоміра.
3. В процесі роботи ДВЗ проводимо виміри t_0 на заглушці сорочки охолодження 2-го циліндра. Виміри проводити з інтервалом 30 с.
4. Досягши температури двигуна 800 °С, заглушити ДВЗ зупинити час на секундомірі.
5. Після паузи 10 хвилин приступити до виконання 2-го етапу.

2-й етап:

1. Старт прогрітого до робочої t_0 ДВЗ без «навантаження» (вимкнений кондиціонер). Засікти час за допомогою секундоміра.
2. Заглушити ДВЗ після закінчення 30 хвилин роботи. Після зупинки ДВЗ, пауза 10 хвилин.
3. Після паузи 10 хвилин приступити до виконання 3-го етапу.

3-й етап:

1. Старт прогрітого до робочої t_0 ДВЗ, при «навантаженні» (включений кондиціонер). Засікти час за допомогою секундоміра.
 2. Заглушити ДВЗ після закінчення 30 хв роботи.
- За результатами визначається необхідна витрата палива для прогрівання двигуна до робочої температури на серійній моделі автомобіля «Сенс».

2.2.2 Програма випробування витрати палива автомобілем залежно від швидкості руху

I Мета випробувань

Визначити витрату палива автомобіля «Сенс» при різних швидкісних режимах, за постійних умов.

II Процес випробувань містить наступні етапи:

1. Прогрівання двигуна до робочої температури 80 °С.
2. Після прогрівання зупинити двигун на 10 хвилин.

3. На прямій ділянці дороги почати рух автомобіля.
 4. Досягнувши швидкості 20 км/год, продовжувати рух, не змінюючи швидкісний режим в протягом 30 с.
 5. Після 30 с рівномірного руху автомобіля плавно збільшити швидкість 40 км/год протягом 15 с.
 6. Досягнувши швидкості 40 км/год, продовжувати рух, не змінюючи швидкісний режим протягом 30 с.
 7. Після 30 с рівномірного руху автомобіля плавно збільшити швидкість 60 км/год протягом 15 с.
 8. Досягнувши швидкості 60 км/год, продовжувати рух, не змінюючи швидкісний режим протягом 30 с.
 9. Після 30 с рівномірного руху автомобіля плавно збільшити швидкість 80 км/год протягом 15 с.
 10. Досягнувши швидкості 80 км/год, продовжувати рух, не змінюючи швидкісний режим протягом 30 с.
 11. Після 30 с рівномірного руху автомобіля плавно збільшити швидкість 100 км/год протягом 15 с.
 12. Досягнувши швидкості 100 км/год, продовжувати рух, не змінюючи швидкісний режим протягом 30 с.
 13. Після 30 с рівномірного руху автомобіля плавно збільшити швидкість до 120 км/год протягом 15 с.
 14. Досягнувши швидкості 120 км/год, продовжувати рух, не змінюючи швидкісний режим протягом 30 с.
 15. Зупинити автомобіль і заглушити двигун на 10 хв.
 16. Обороти двигуна при розгоні не повинні перевищувати 2500 – 3000 об/хв, педаль газу повинна бути обмежена 1/3 величини натиснення.
- Для проведення випробувань екіпаж включає 3 людини:
- управління автомобілем в необхідному швидкісному режимі;
 - контроль і замірювання швидкості руху автомобіля по спідометру;
 - контроль часу руху.

За результатами проведених випробувань і після їх обробки, визначаються залежності витрати палива при різних швидкісних режимах, на серійній моделі автомобіля «Сенс».

2.2.3 Установлення апаратури для проведення досліджень

Для проведення досліджень по витраті палива на серійному зразку автомобіля ЗАЗ «Сенс» була встановлена паливно-вимірвальна апаратура «FortMonitor». Було розглянуто два варіанти установлення апаратури в моторному відсіку. На рис. 2.13 зображено розміщення датчика витрат палива (поз. 1), який встановлено в трубопроводі подачі палива.

Як видно з рис. 2.13 – 2.15 даний варіант установлення має велику кількість компонентів і сполучних елементів.

Після детального опрацювання схеми установлення витратоміра був розроблений другий варіант, представлений на рис. 2.16 – 2.18. Зменшення кількості компонентів і сполучних елементів значно спростило систему, не знижуючи якості визначення витрати палива. Даний варіант показав надійність експлуатації і може бути рекомендований для установлення на автомобілях подібного типу.

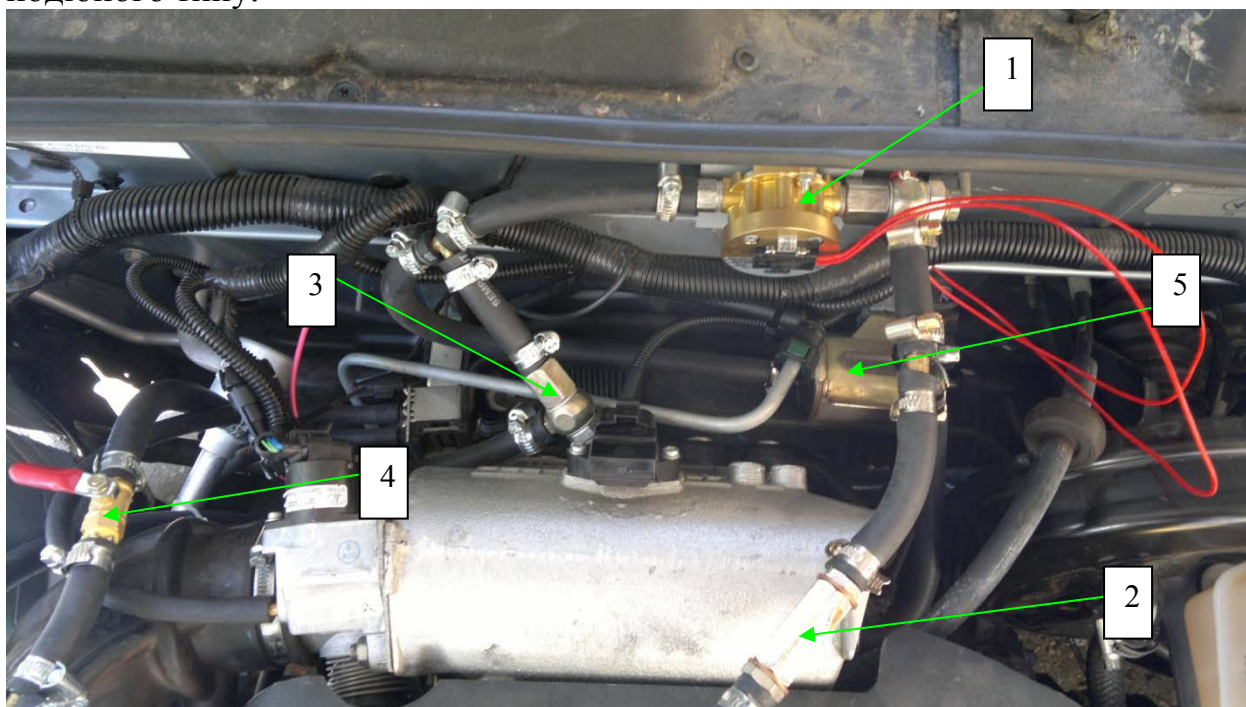


Рисунок 2.13 – Загальний вигляд розміщення датчика витрат палива (варіант 1)

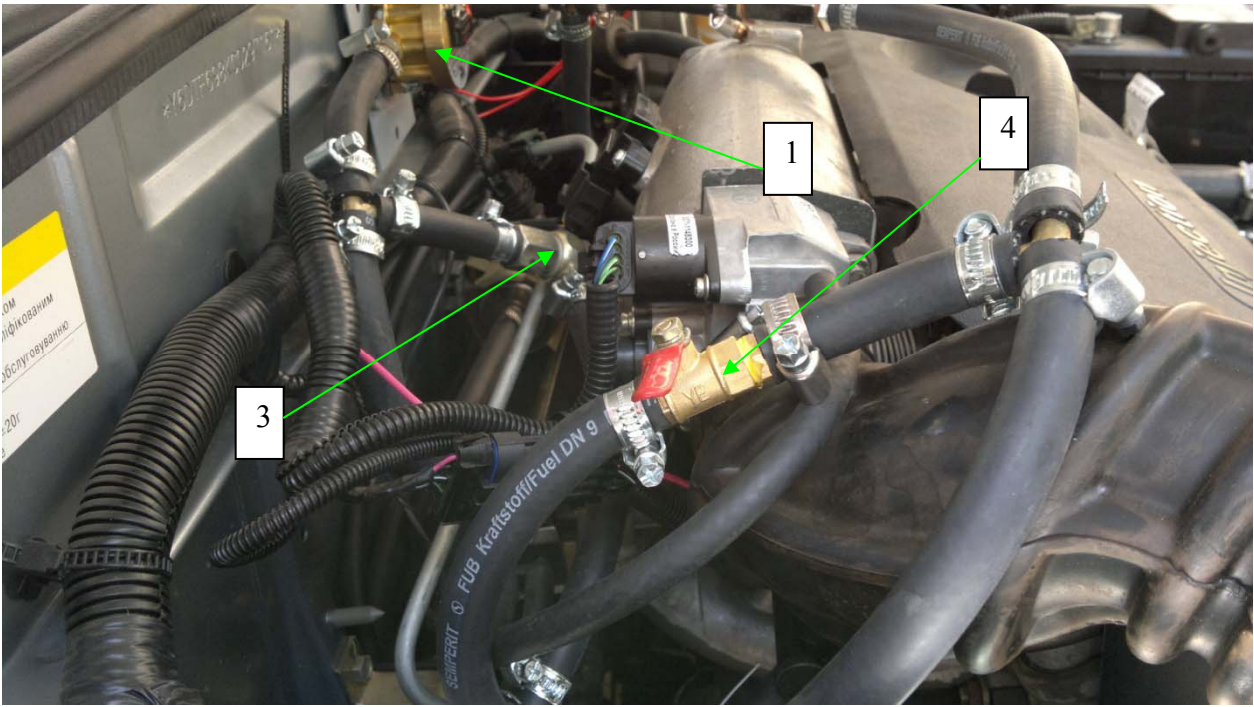


Рисунок 2.14 – Розміщення крана перемикавання подачі палива (варіант 1)

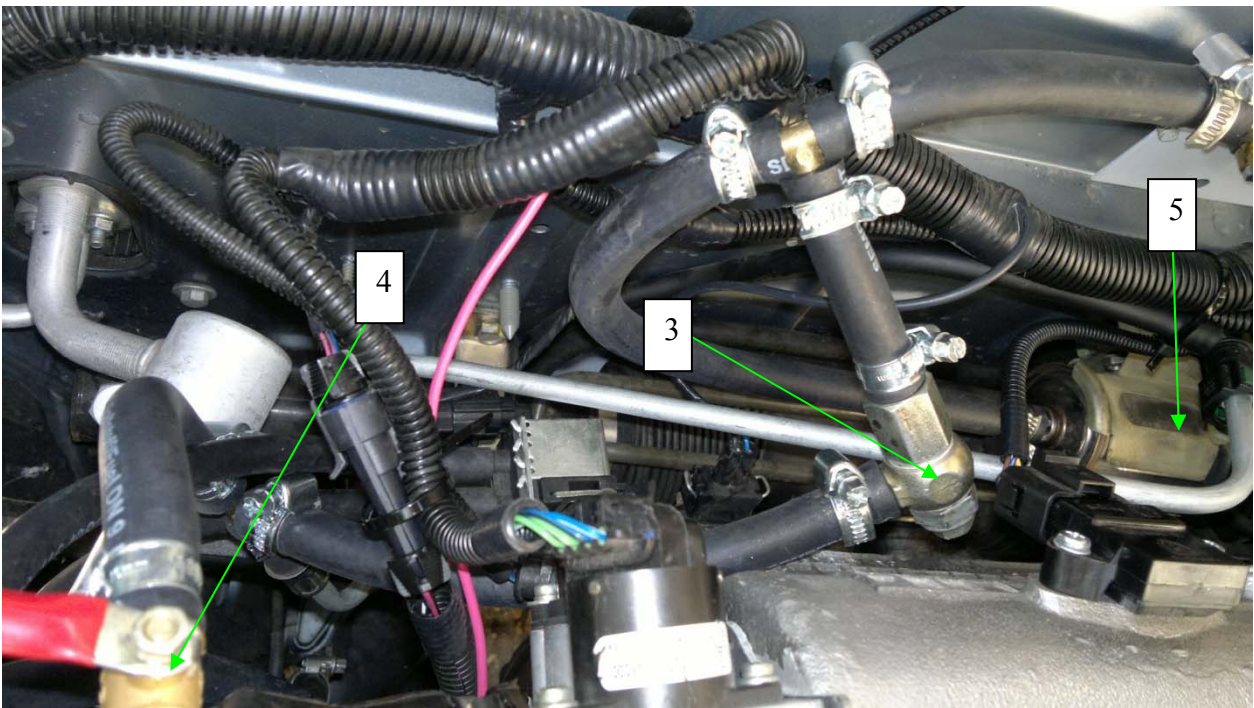


Рисунок 2.15 – Розміщення клапана тиску (варіант 1)

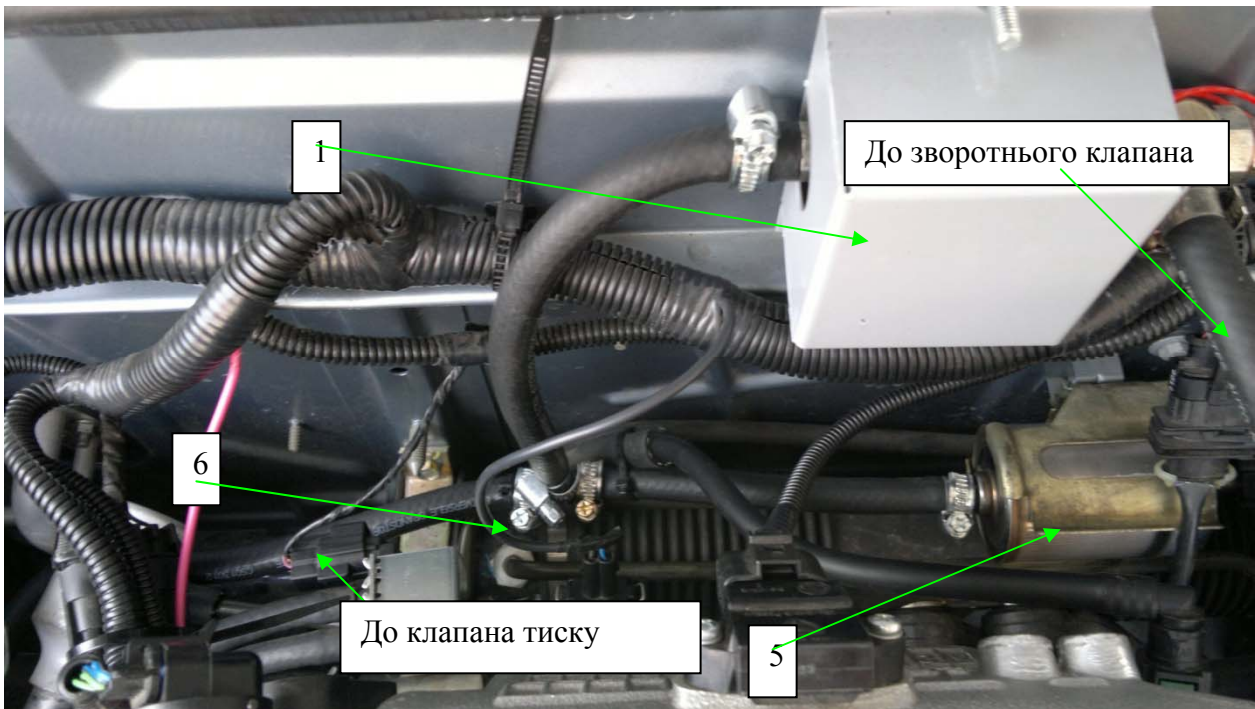


Рисунок 2.16 – Загальний вигляд розміщення датчика витрати палива (варіант 2)

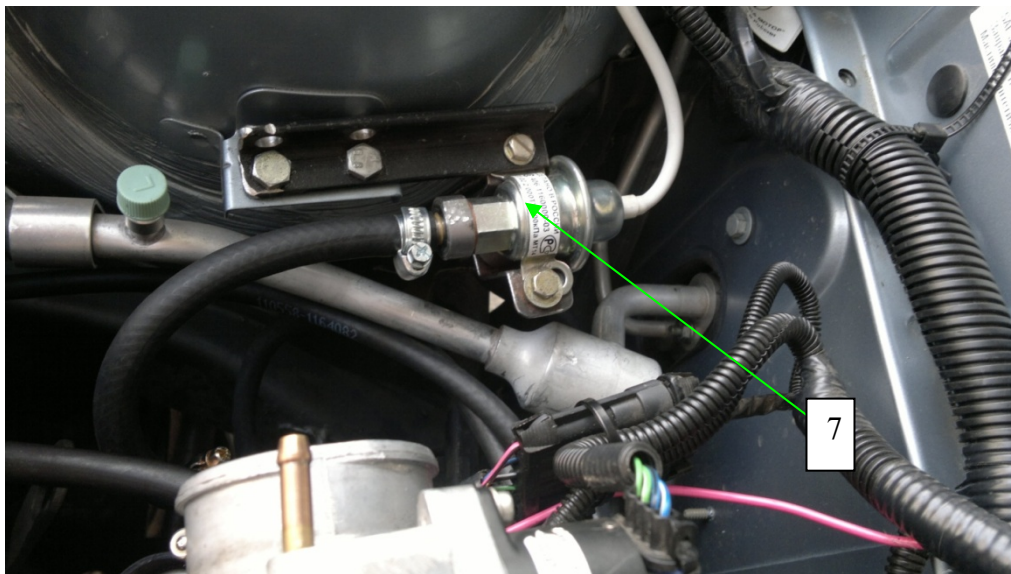


Рисунок 2.17 – Розміщення клапана тиску (варіант 2)

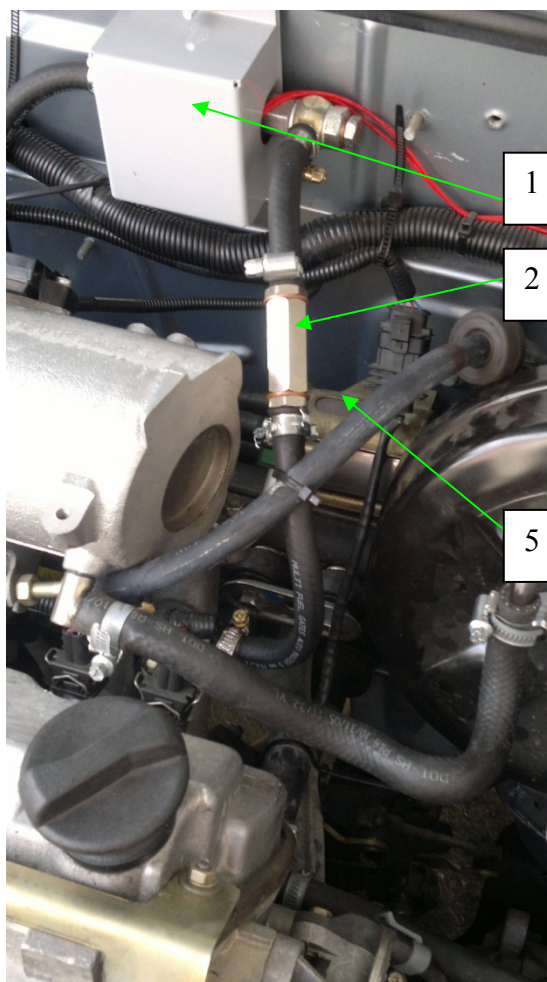


Рисунок 2.18 – Розміщення зворотного клапана (варіант 2): 1 – датчик витрати палива; 2 – зворотний клапан; 3 – клапан тиску; 4 – кран; 5 – паливний фільтр; 6 – трійник; 7 – клапан тиску автомобіля «Газ»

2.2.4 Дослідження базового зразка автомобіля

2.2.4.1 Результати дослідження витрати палива автомобілем на холостому ходу

Після обробки отриманих даних за допомогою програми «FortMonitor» оброблені дані заносяться в табл. 2.9.

Таблиця 2.9. – Вимір витрати палива ДВЗ на холостому ходу.

Етап	t_0 початкова, °С	t_0 кінцева, °С	«Навантаження» (кондиціонер) Вкл./Викл.	Час роботи ДВЗ хв:с	Витрата, л	Витрата л/год
1	22,5	82,0	Викл.	11:47	0,34	1,78
2	80,0	90,0	Викл.	30:00	0,47	0,94
3	79,3	90,3	Вкл.	30:00	0,68	1,36

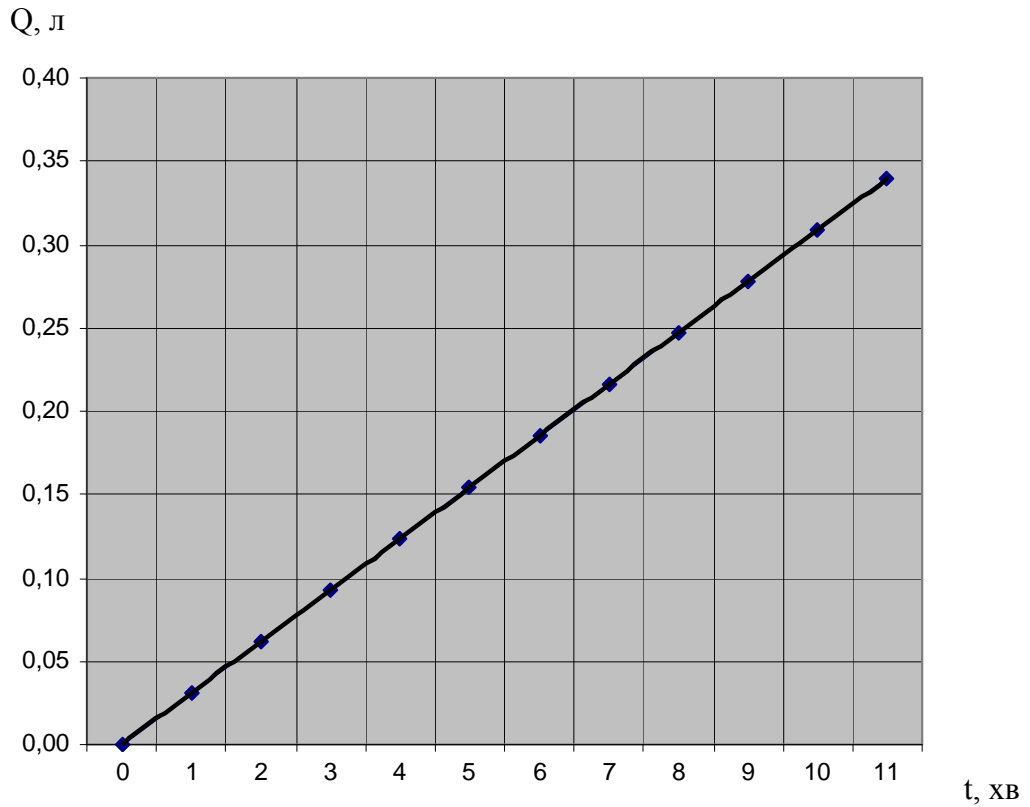


Рисунок 2.19 – Графік витрати палива автомобілем при прогріванні двигуна

2.2.4.2 Результати дослідження витрати палива автомобілем під час руху на різних швидкостях

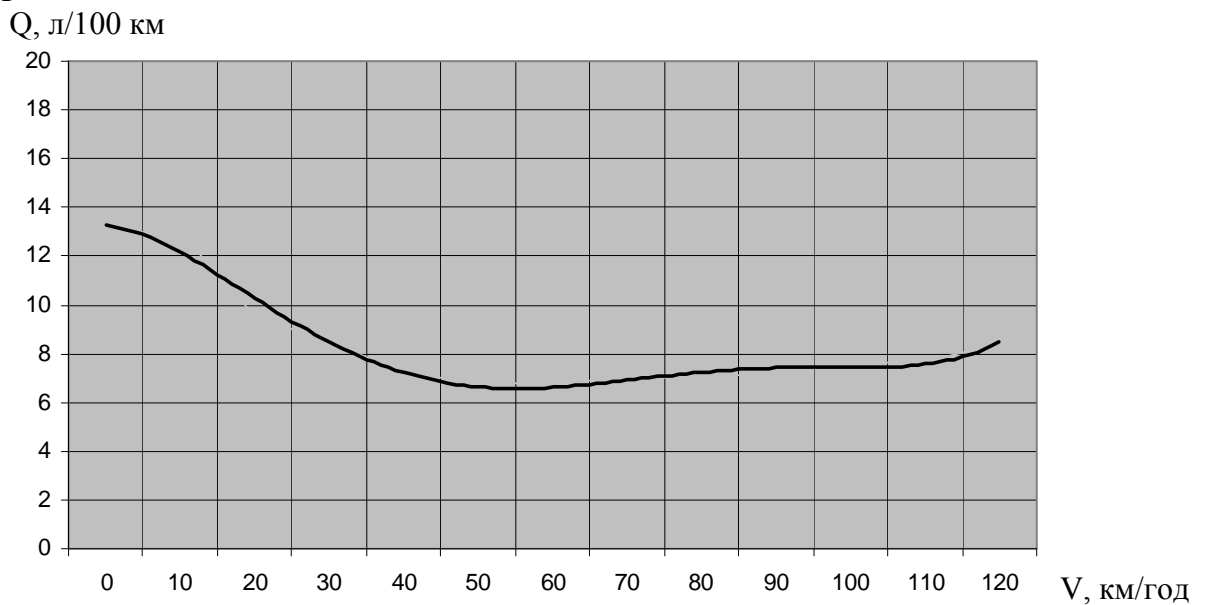
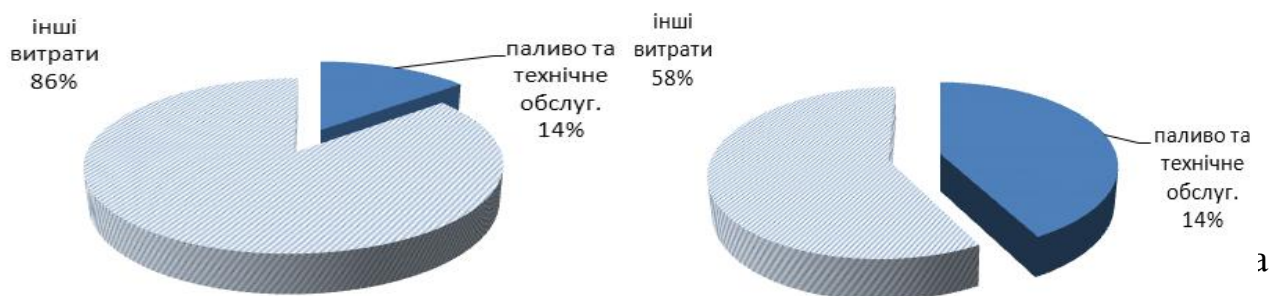


Рисунок 2.20 – Графік витрати палива автомобілем під час руху на різних швидкостях

2.2.5 Техніко-економічні аспекти гібридизації вітчизняного автомобіля бюджетного класу

Автомобіль є масовим і найбільш поширеним транспортним засобом і, водночас, одним з головних джерел забруднення навколишнього середовища. Витрати на паливо складають значну частку сукупних витрат середньої родини, у власності якої є автомобіль (рис. 2.21, а). Ефективність підприємств, основною сферою діяльності яких є транспортні послуги, також суттєво залежить від витрат на паливо. Витрати на паливо визначають собівартість послуг (рис. 2.21, б).



Таким чином, навіть невелике скорочення споживання палива транспортними засобами суттєво поліпшує економічні показники підприємств та окремих громадян.

Між тим, технологія традиційних автомобілів на основі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) розвинута, фактично, до свого насичення. Подальше удосконалення не може призвести до суттєвого збільшення ККД. Сучасний ДВЗ має коефіцієнт корисної дії на рівні 25–30%, що знаходиться в зоні теоретичного максимуму. Іншим нездоланим недоліком традиційного транспортного засобу є неможливість рекуперації накопиченої кінетичної енергії в режимі гальмування (вся енергія перетворюється в тепло в гальмівній системі). При цьому використання суто електричного транспортного засобу є економічно невиправданим. Це обумовлено відсутністю інфраструктури з заряджання акумуляторів і, власне, самих акумуляторів достатньої ємності та потужності, необхідної для задоволення вимог споживача.

Отже, вирішення економічних і екологічних питань в галузі автомобільного транспорту вимагає принципово нового підходу, яким є використання комбінованої силової установки, тобто гібридного приводу. Масове впровадження гібридного приводу в серійних автомобілях відбудеться найближчим часом. Тенденція до переходу на гібридний тип автомобілів обумовлена, в першу чергу, намаганням провідних країн світу зменшити власну залежність від постачальників нафтопродуктів. Другим важливим чинником є екологічні аспекти, які стають все більш критичними зі збільшенням кількості числа автомобілів у світі та ростом їх доступності.

Кожна провідна компанія-виробник автомобілів у світі проводить активні дослідження в галузі гібридних транспортних засобів. Незважаючи на це у світі відсутнє єдине уявлення щодо оптимальної топології гібридного транспортного засобу. Відсутній також універсальний підхід щодо вибору оптимальних параметрів компонентів силової установки (потужність двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна, ємність та потужність акумуляторної батареї), які забезпечують максимальну економічність транспортного засобу за умов прийнятних первинної вартості й експлуатаційних витрат.

Необхідна розробка наукового підходу щодо проектування приводу гібридного транспортного засобу бюджетного класу із оптимальними техніко-економічними показниками. Практичною метою роботи є розробка технічних рішень для зменшення споживання палива в гібридному транспортному засобі за рахунок наступних чинників:

- накопичення і реутилізації енергії гальмування;
- оптимізації роботи двигуна внутрішнього згоряння.

Як базовий вітчизняний автомобіль вибрано автомобіль «Сенс» Запорізького автомобілебудівного заводу. Цей автомобіль є одним з найдоступніших вітчизняних транспортних засобів, водночас він є надійним і комфортним транспортним засобом.

2.2.6 Оптимальна топологія гібридного приводу і вимоги до системи керування автомобіля ЗАЗ «Сенс»

Існують дві принципово різних конфігурації силових установок гібридного транспортного засобу за принципом виконання зв'язків між окремими компонентами приводу: послідовна та паралельна.

В послідовній схемі відсутній механічних зв'язок між первинним двигуном внутрішнього згоряння та приводним електричним двигуном (рис. 2.22).

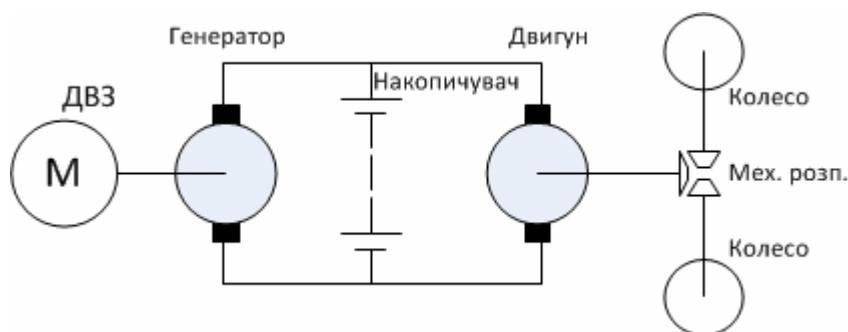


Рисунок 2.22 – Послідовна конфігурація гібридного транспортного засобу.

Двигун внутрішнього згоряння призводить до руху електричний генератор. Енергія, яку він виробляє, може бути використана для заряджання накопичувача та/або живлення приводного двигуна. Може бути використаний

єдиний двигун із механічним розподілом обертання на колеса або індивідуальні мотор-колеса.

До переваг послідовної топології слід віднести:

- можливість використання високошвидкісного ДВЗ та електричного генератора і тому їх малі габарити;
- відсутність механічної коробки передач і зчеплення;
- суто електричний привід руху і тому широкий діапазон, висока жорсткість механічних характеристик, плавність і стабільність керування.

Основним недоліком такої топології є необхідність двократного перетворення енергії, а також те, що для живлення приводного електричного двигуна необхідні ще два механічних перетворювача – ДВЗ і генератор рівної потужності.

Паралельна схема дозволяє одночасно використовувати механічну енергію ДВЗ і електричного двигуна для руху транспортного засобу. Для існуючого автомобіля із переднім приводом, яким є «ЗАЗ «Сенс», можлива конфігурація силової установки показано на рис. 2.23.

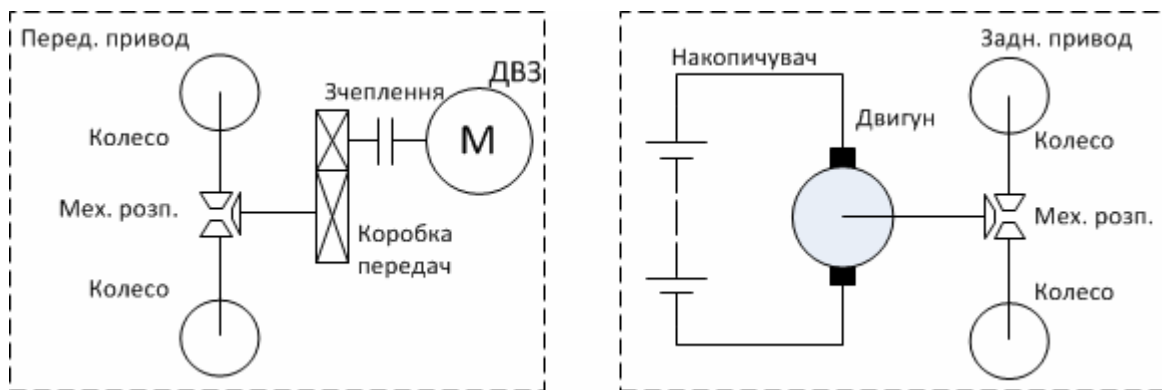


Рисунок 2.23 – Паралельна конфігурація гібридного транспортного засобу.

Передній привод від двигуна внутрішнього згоряння залишається незмінним. На задні колеса встановлюється привід від електричного двигуна (для спрощення показано двигун постійного струму).

Основною перевагою паралельної конфігурації є можливість одночасної роботи двигуна внутрішнього згоряння та електричного приводу. Відношення встановленої потужності електричного приводу $P_{ел}$ до сумарної потужності транспортного засобу $P_{ДВЗ} + P_{ел}$ називають ступенем гібридизації:

$$CG = \frac{P_{ел}}{P_{ДВЗ} + P_{ел}}$$

З огляду на вагові показники та вартість, раціональним є реалізація ступеня гібридизації менше 0,5. Потужність електричного приводу і параметри накопичувача енергії можуть бути розраховані таким чином, щоб забезпечувати

оптимальну роботу двигуна внутрішнього згоряння лише в перехідних режимах (розгін, прискорення до більшої швидкості). Саме поліпшення перехідних режимів і реутилізація енергії гальмування є головним чинником економії палива. В паралельній конфігурації це може бути досягнуто за умов меншої вартості, ніж в послідовній. Крім того, така топологія забезпечує більшу надійність автомобіля – при виході з ладу електричної частини приводу, залишається можливість повноцінного тривалого руху за допомогою штатного ДВЗ. Отже, для завдань гібридизації існуючого автомобіля оберемо послідовну конфігурацію як базову.

Однак паралельна конфігурація висуває підвищені вимоги до системи керування електричного приводу. Це пов'язано з тим, що два приводних двигуна механічно поєднані між собою через дорожнє полотно. Тому неузгодженість роботи двох частин приводу може призвести до нерационального розподілу зусиль між двома частинами аж до переведення одного з компонентів в гальмівний режим. Це призведе до втрат енергії у вигляді тепла в ДВЗ, або його зупинці, або перевантаженню електричної частини приводу.

Для уникнення цього явища система керування повинна забезпечити вид механічних характеристик такий, який показаний на рис. 2.24.

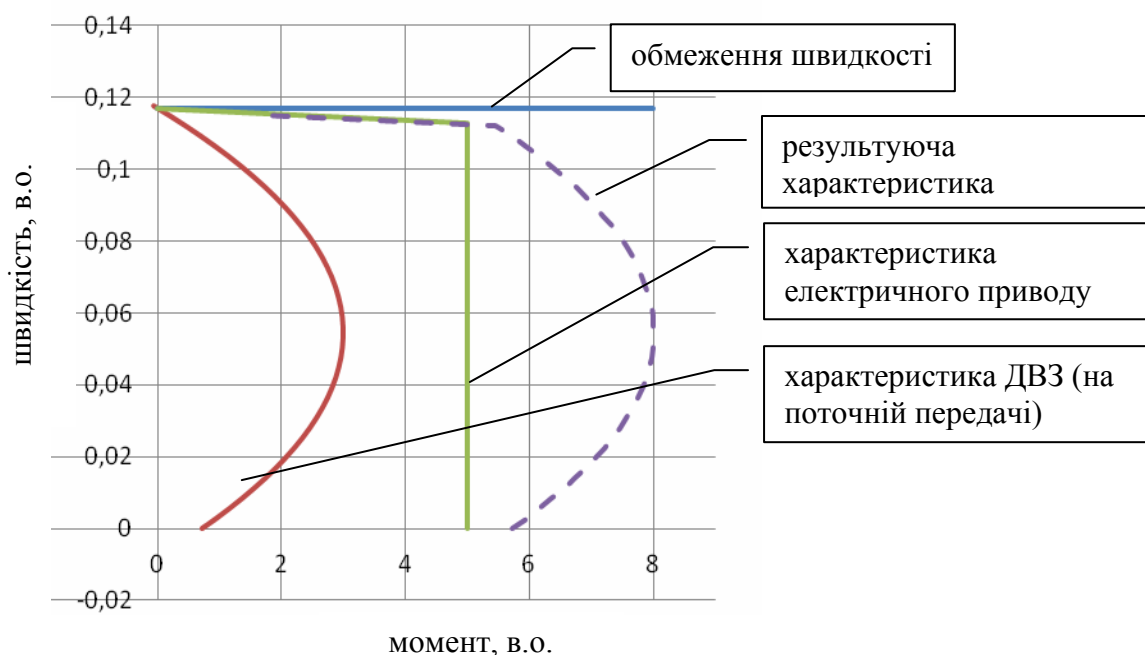


Рисунок 2.24 – Необхідна форма механічних характеристик електроприводу при сумісній роботі з ДВЗ

До структури системи керування необхідно увести обмеження завдання на швидкість. Причому рівень обмеження повинен визначатись швидкістю холостого ходу автомобіля на поточній передачі. В ході досліджень було експериментально визначено механічні характеристики штатного приводного двигуна автомобіля «ЗАЗ «Сенс» на усіх передачах. Значення швидкості холостого ходу залежно від кута дросельної педалі надано в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Формування механічних характеристик ДВЗ «ЗАЗ «Сенс» на різних передачах

Кут керування, в.о.	Швидкість ДВЗ на різних передачах, в.о.				
	I	II	III	IV	V
0	0,0252	0,0424	0,0654	0,089	0,105
0,25	0,0589	0,0989	0,1525	0,209	0,245
0,50	0,084	0,141	0,2179	0,299	0,350
0,75	0,104	0,174	0,2688	0,369	0,432
1,00	0,115	0,193	0,2979	0,410	0,480

Механічні характеристики автомобіля ЗАЗ «Сенс» на різних передачах показано на рис. 2.25.

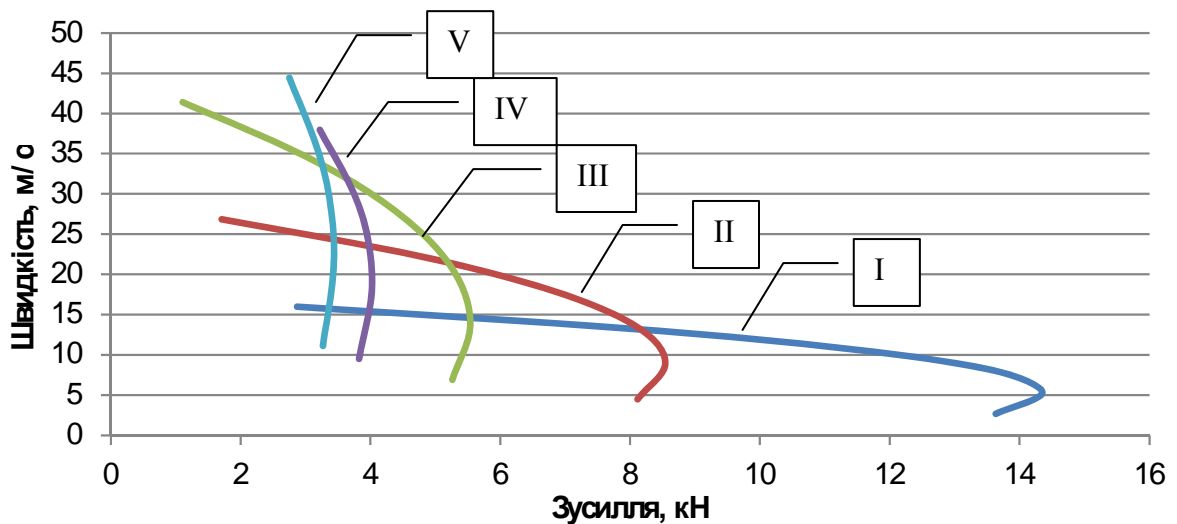


Рисунок 2.25 – Механічні характеристики автомобіля «ЗАЗ «Сенс» на різних передачах

Алгоритм функціонування електричного приводу автомобіля матиме, таким чином, вигляд, зображений на рис. 2.26.

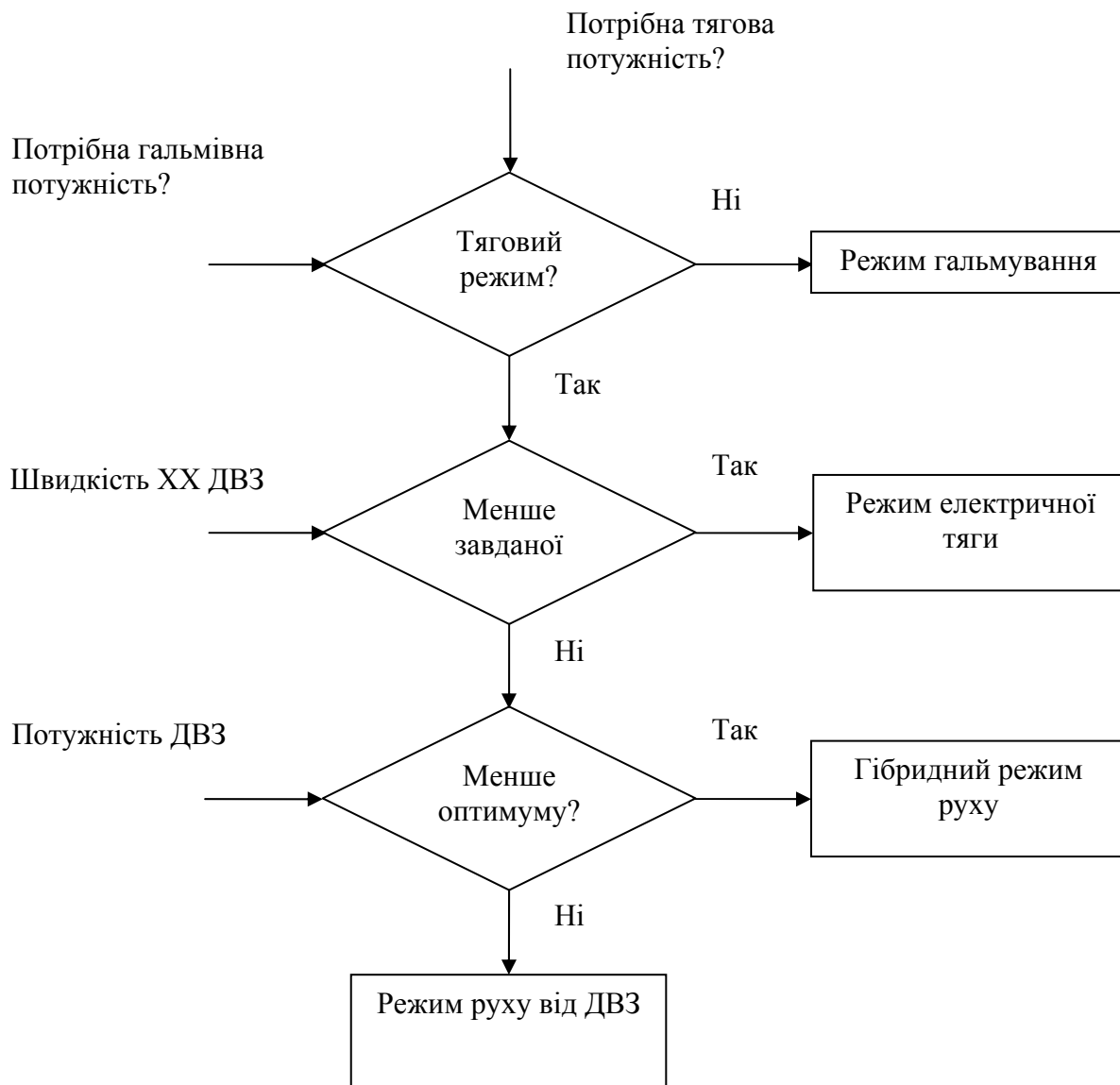


Рисунок 2.26 – Алгоритм вибору режиму роботи гібридного електроприводу

2.2.7 Експериментальні дослідження динамічних і енергетичних показників автомобіля ЗАЗ «Сенс» в міському циклі. Формування закону керування станом заряду накопичувача

Ключовою ланкою будь-якого гібридного транспортного засобу є накопичувач електричної енергії. Саме його показники лімітують динамічні показники транспортного засобу і визначають його економічність. До накопичувача висуваються наступні вимоги:

- енергоємність, достатня для накопичення щонайменш енергії гальмування від максимальної швидкості до повної зупинки;

- здатність генерувати потужність, достатню для прискорення транспортного засобу від нуля до максимальної швидкості за завданий час;
- здатність заряджання в режимі нормального гальмування.

У табл. 2.11 наведено основні показники доступних видів акумуляторних батарей.

Таблиця 2.11 – Показники накопичувачів енергії

Тип	Енергія на од. ваги (Wh/kg)	Енергія на од. об'єму (Wh/L)	Питома потужність (Wt/Kg)	Кількість циклів	ККД, %	Саморозряд за 24 год, %
Pb-acid	40	70	180	500	82,5	1,0
NiCd	60	100	150	1350	72,5	5,0
NiMH	70	200	600	1350	70,0	2,0
Li-Ion	125	270	1800			1,0
Li-Ion polymer	200	300	3000			
NaNiCl	125	300		1000	92,5	0,0
Supercap	42	78	9000	-	99	10,0

Вимога щодо необхідності заряджання із потужністю, рівною потужності в режимі прискорення, фактично виключає можливість використання свинцевих кислотних та нікелієвих батарей. Це пов'язано з тим, що співвідношення струмів заряджання/розряджання для цих батарей дорівнює 1:10. Для літій-іонних батарей це співвідношення дорівнює приблизно 1:5. Незважаючи на очевидну перевагу, це означає, що для забезпечення рекуперації енергії в накопичувач необхідний значний запас за потужністю (приблизно п'ятикратний). Це збільшує вагу і вартість транспортного засобу із літій-іонними батареями.

Для транспортних засобів із ступенем гібридизації меншим за 0,5, з огляду на вагові, габаритні та енергетичні показники, оптимальним є використання електрохімічних двошарових конденсаторів (т.зв. «суперконденсаторів»). Такі накопичувачі забезпечують співвідношення потужностей заряджання/розряджання на рівні 1:1 і мають найвищий рівень питомої потужності. Низька питома енергоемність не дозволяє тривало використовувати такі накопичувачі для суто електричного руху, але їх властивостей достатньо для забезпечення суттєвої економії палива при експлуатації автомобіля в міському циклі.

Для обґрунтування параметрів електричної частини приводу, в тому числі накопичувача, були проведені експерименти, в ході яких реєструвалась швидкість автомобіля ЗАЗ «Сенс» під час руху у звичайному міському циклі. Для виключення впливу фактора нерівностей рельєфу місцевості, експерименти проведено на лівому березі міста Дніпропетровськ, на якому фактично відсутні нахили. Для реєстрації сигналів швидкості та миттєвого значення витрати

палива використано автономний реєстратор сигналів, який містить датчики електричних величин, аналого-цифровий перетворювач та карту пам'яті. На рис. 2.27 показано експериментально отримані осцилограми сигналів у міському циклі впродовж години.

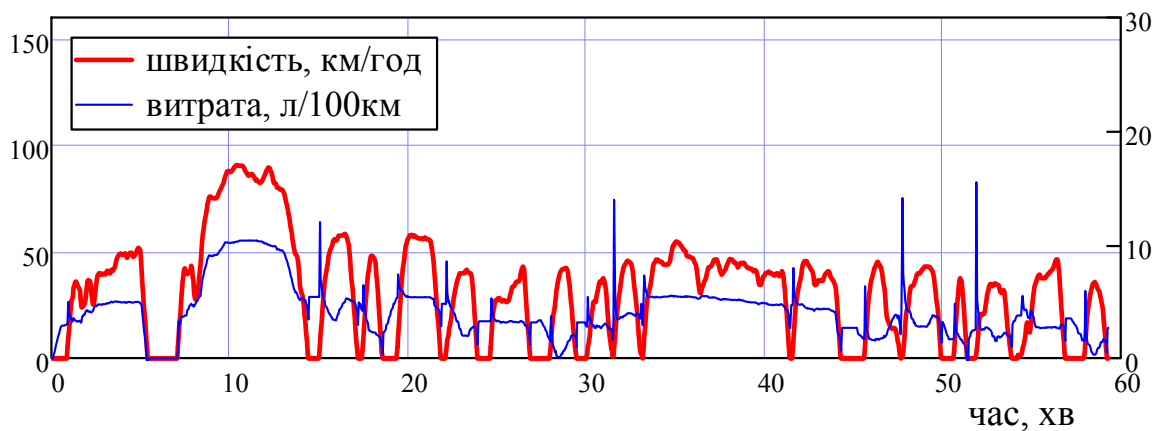


Рисунок 2.27 – Експериментальні дані руху автомобіля «ЗАЗ «Сенс» у міському циклі

Отримані експериментальні масиви слугували вихідними даними для ітеративного пошуку оптимальної ємності накопичувача енергії. Для цього була укладена енергетична модель транспортного засобу з урахуванням додаткової ваги електричних компонентів. На рис. 2.28 показана отримана залежність економічності транспортного засобу від величини ємності накопичувача.

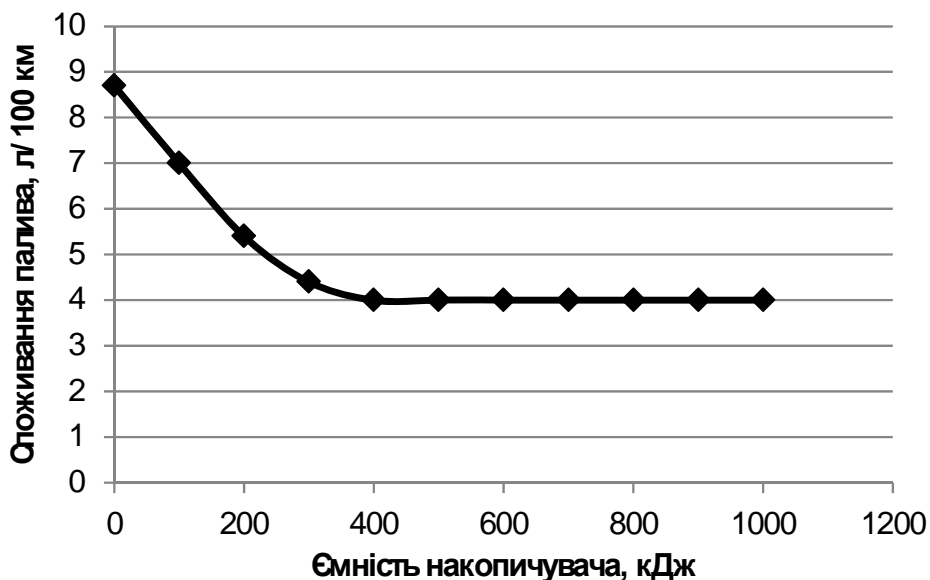


Рисунок 2.28 – Прогнозована залежність економічності гібридизованого автомобіля «ЗАЗ «Сенс» від ємності накопичувача електричної енергії

Отримані результати свідчать, що при досягненні ємності накопичувача величини близько 400 кДж подальшого підвищення економічності не відбувається. Таким чином, 400 кДж – оптимальна величина ємності за

енергетичними показниками. Враховуючи вартість накопичувачів, за допомогою графіка на наведеному рисунку, можна визначити прийнятний рівень економічності.

Алгоритм керування станом заряду накопичувача відображений на рис. 2.29.

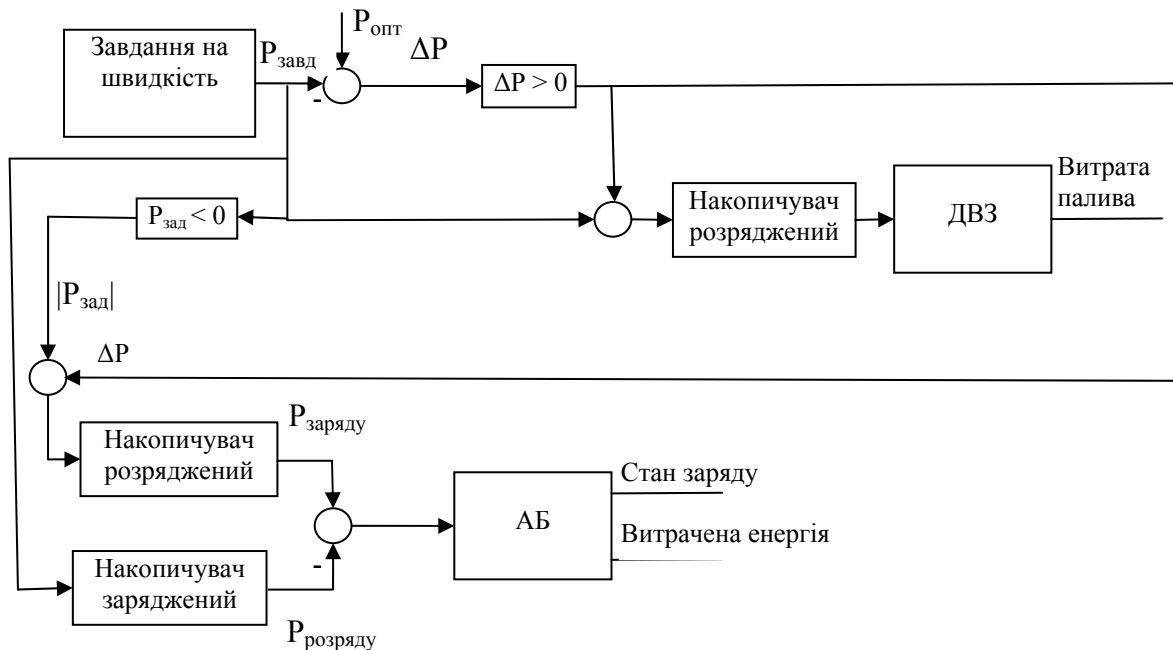


Рисунок 2.29 – Алгоритм оптимального керування станом заряду накопичувача гібридизованого автомобіля «ЗАЗ «Сенс»

Керування станом заряду накопичувача здійснюється в функції завданій потужності, яка розраховується виходячи із завдання на швидкість транспортного засобу. Це значення порівнюється із оптимальною потужністю ДВЗ автомобіля. У випадку, коли завдана потужність менша за оптимальну, надлишок потужності скеровується на заряджання накопичувача, електричний привод працює в генераторному режимі. Коли завдана потужність перевищує оптимальне за економічністю значення, автомобіль працює в гібридному режимі.

РОЗДІЛ 3 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

3.1 Загальна оцінка впливу об'єктів енергозабезпечення на стан довкілля урбанізованих та промислових територій України

Наявність в Україні розвиненої промисловості, надвисока її концентрація в окремих регіонах, існування великих промислових комплексів, більшість з яких потенційно небезпечні, концентрація на них агрегатів і установок великої і понадвеликої потужності, розвинута мережа транспортних комунікацій, а також нафто-, газо- та продуктопроводів, велика кількість енергетичних об'єктів, використання у виробництві у значних кількостях потенційно небезпечних речовин – все це збільшує вірогідність виникнення техногенних надзвичайних ситуацій (НС), які несуть у собі загрозу для людини, економіки і природного середовища.

Майже третину всіх промислових об'єктів становлять підприємства, пов'язані з енергозабезпеченням, у тому числі з видобуванням, переробкою, зберіганням та транспортуванням енергетичної сировини, виробництвом і транспортуванням електричної енергії та тепла, які є потенційно небезпечними для довкілля, у тому числі внаслідок використання вибухонебезпечних, вогнебезпечних і радіаційнонебезпечних речовин.

Розподіл об'єктів енергозабезпечення відносно регіонів нерівномірний, що у свою чергу створює нерівномірне техногенне навантаження на довкілля по територіях.

Переважає кількість об'єктів енергозабезпечення розташована в центральних, східних і південних областях країни, де сконцентровані нафто- та газопромисли, вугільні та уранові шахти, збагачувальні фабрики, потужні енергогенеруючі підприємства, а також функціонує розгалужена мережа нафто- та газопроводів.

Територія країни має густу мережу транспорту різних видів, а саме: залізничну загальною довжиною до 23 тис. км, автодорожню – більше 170 тис. км та трубопровідну (магістральні газо-, нафто- та продуктопроводи – 42,4 тис. км).

Техногенні небезпеки проявляються при аваріях на потенційно небезпечних виробництвах, до яких відносяться радіаційно-, хімічно-, вибухо-, пожежо- та гідрологічно небезпечні об'єкти. За нинішніх економічних умов, зважаючи на брак коштів та матеріальних ресурсів, дуже повільно і несвоєчасно здійснюється оновлення або заміна застарілих основних виробничих фондів об'єктів енергозабезпечення, рівень зношення обладнання яких часто наближається до критичного. Все це збільшує вірогідність виникнення техногенних небезпек.

Серед об'єктів енергозабезпечення біля 1000 підприємств мають вибухо- та пожежонебезпечні виробництва, на яких зосереджено понад 13 млн тонн твердих і рідких вибухо- та пожежонебезпечних речовин.

Енергетична стратегія України на період до 2030 року закріплює основні напрями та засади розвитку паливно-енергетичного комплексу України. Документ, ухвалений розпорядженням Кабінету Міністрів України у 2006 році, надає основні пріоритети атомній енергетиці та вугільній промисловості, а також питанням, пов'язаним з енергопостачанням.

Структура електрогенеруючих потужностей з часів набуття незалежності Україною майже не змінилася, що вже зазначалось вище. Проте змінився баланс виробництва електроенергії. Якщо у 1990 року атомні електростанції, що й досі складають 26% всієї встановленої потужності України, виробляли приблизно 26% всієї електроенергії, то у 2009 року частка виробництва електроенергії на АЕС виросла до майже 50%.

Сьогодні об'єднана енергосистема (ОЕС) України включає в себе 4 діючі АЕС, 14 ТЕС, 7 ГЕС, 2 ГАЕС, 97 ТЕЦ, малі ГЕС та інші джерела. Сумарна встановлена потужність всієї генерації складає 52,6 ГВт, з яких теплової – 30,5 ГВт, атомної – 13,8 ГВт, ГЕС/ГАЕС – 5,1 ГВт, блок-станцій та ін. – 3,3 ГВт.

Структура електрогенеруючих потужностей за останні 20 років практично не змінилася, але змінився баланс виробництва електроенергії. Так, якщо у 1990 року атомні електростанції виробляли приблизно 26% всієї електроенергії, то нині частка виробництва електроенергії на АЕС виросла до 50%.

Таким чином, біля 50% всієї електроенергії виробляється атомними електростанціями, встановлена потужність яких становить лише 26% від загальної встановленої потужності джерел генерації. Це спричинило різке погіршення економічних, а потім і технічних показників теплових електростанцій. Нефективне використання наявних потужностей ТЕС призводить до значних перевитрат палива, зносу обладнання, посиленого навантаження на навколишнє природне середовище.

Атомні станції України за своїми конструктивними властивостями не повинні і не можуть працювати в регулюючому режимі. Збільшення частки атомних електростанцій у виробництві електроенергії і, відповідно, зменшення виробництва електроенергії на теплових та гідроелектростанціях призводить до вичерпання регулюючих потужностей в енергосистемі. Використання атомних блоків для регулювання частоти в електричній мережі може призвести до некерованих аварійних ситуацій.

Загальні радіаційні аварії на АЕС при руйнуванні одного реактора з викидом 10% радіоактивних продуктів за межі санітарно-захисних зон станцій можуть створити зони забруднення (з різними рівнями радіації) загальною площею 431,2 тис. км², до яких потрапляє 5249 населених пунктів з населенням понад 22722,7 тис. чол.

Крім того, для території України трансграничну потенційну небезпеку при аваріях з викидом радіоактивних продуктів становлять:

- Курська АЕС (Російська Федерація) – для частини територій Полтавської, Сумської, Харківської та Чернігівської областей;

- АЕС, розташовані на території Болгарії, Словаччини, Угорщини, Чехії – для західних частин територій Закарпатської, Львівської та Одеської областей.

Значну потенційну небезпеку для довкілля становить також подальше значне накопичення радіоактивних відходів, що обумовлене роботою атомних електростанцій (понад 70 тис. м³ радіоактивних відходів), а також видобутком та переробкою уранових руд (понад 65 млн тонн радіоактивних відходів).

Підприємства по видобуванню та переробки уранових руд знаходяться у Дніпропетровській, Кіровоградській та Миколаївській областях. Характерним для уранодобування та уранопереробки є те, що майже всі їх відходи – відвали шахтних порід, скиди та викиди (рідкі, газоподібні) – являють собою джерела радіоактивного забруднення навколишнього середовища. Як основні радіонукліди в них містяться природний уран, торій – 232, продукти розпаду уранового та торієвого рядів, у тому числі і радіоактивний газ радон. Для природного середовища та людей головною небезпеку становлять великі за своїми обсягами хвостосховища та утримувана в них активність.

Загальновідомий також негативний вплив на стан довкілля теплових електростанцій, який в першу чергу пов'язують з викидами в атмосферу шкідливих газів та пилу, а також накопиченням золошлакових відходів.

Україна належить до країн, частково забезпечених власними паливно-енергетичними ресурсами, тому змушена компенсувати нестачу імпортом енергоносіїв ззовні. Намагання заміни використання дорогого природного газу російського походження збільшенням частки виробництва електроенергії на теплових електростанціях, що працюють на вугільному паливі, призводить до подальшого суттєвого посилення негативного впливу об'єктів теплоенергетики на довкілля. В першу чергу це пов'язано з викидами оксидів сірки, що обумовлено значним її вмістом у вітчизняному енергетичному вугіллі, відсутністю прийнятних технологій вилучення сірки на етапі підготовки пилувугільного палива та необхідністю значних витрат на доукомплектування діючих електростанцій устаткуванням для очищення газових викидів від оксидів сірки.

Наявний міжнародний досвід показує, що при використанні на електростанціях устаткування для очищення газових викидів від оксидів сірки собівартість вироблення електроенергії зростає практично в два рази. Впровадження такого обладнання на вітчизняних ТЕЦ призведе до подальшого зниження техніко-економічних показників підприємств теплової генерації та підвищить неефективність використання енергоносіїв.

За останні 15 років більшість теплоелектростанцій морально і фізично застаріли. Нині біля 95% енергоблоків ТЕС відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. годин), а 65% енергоблоків знаходяться за межею граничного ресурсу та фізичного зносу (відповідно 170 тис. та 200 тис. годин). Це значно збільшує частоту відмов та неполадок обладнання і може призвести до виникнення аварій з тяжкими наслідками.

Збільшення частки виробництва електроенергії на АЕС та недостатність маневрових потужностей ГЕС призводить до необхідності використання ТЕС

для покриття пікових навантажень у мережі. Робота ТЕС у маневровому режимі, використання непроєктного палива значно ускладнює експлуатацію теплових потужностей і призводить до подальшого зниження техніко-економічних показників ТЕС та підвищує неефективність використання енергоносіїв.

Значний негативний вплив ТЕС на довкілля обумовлений також накопиченням золошлакових відходів. Низький обсяг їх переробки в Україні (10 – 15%) зумовлює зростання обсягів техногенного забруднення урбанізованих та промислових територій України, у тому числі: поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря, земної поверхні та підземного геологічного середовища.

Особливу увагу при аналізі впливу об'єктів енергозабезпечення на стан довкілля урбанізованих та промислових територій України слід приділити аналізу екологічних наслідків видобутку енергоносіїв і, в першу чергу, такого перспективного для України енергоносія як вугілля.

3.2 Екологічні наслідки видобутку вугілля

На сьогоднішній час в Україні видобуток вугілля здійснюється виключно підземним способом.

Діяльність підприємств вугільної галузі супроводжується значним негативним техногенним впливом на компоненти навколишнього середовища і призводить до порушення природної екологічної рівноваги. Ці порушення проявляються в таких явищах, як виснаження і забруднення підземних вод, рік і водойм, затоплення і заболочування прилеглих до підприємств територій, зневоднювання і засолення ґрунтів, забруднення атмосфери, вилучення земельних площ із сільськогосподарського обороту, необоротні деформації земної поверхні.

Незважаючи на істотне зниження обсягів видобутку вугілля в Донбасі екологічні проблеми в регіоні все більш загострюються. Причина цього, з одного боку, в постійному тривалому накопиченні результатів негативної дії шкідливих чинників в регіоні, а з іншого – обмеженість ресурсів, які виділяються нині на охорону навколишнього середовища в регіоні.

Незважаючи на відмінності гірничо-геологічних умов, технології вугледобування і збагачення, техніко-економічних показників роботи різних шахт, їх об'єднань і вугледобувних регіонів у цілому, низка проблем, пов'язаних з негативною техногенною дією на навколишнє середовище, є загальними для вугледобувних регіонів. У той же час екологічні проблеми багатьох регіонів мають і свої особливості, обумовлені насамперед гірничо-геологічними умовами і проблемами, пов'язаними з обмеженими запасами вугілля.

Розглянемо спочатку екологічні проблеми загальні для вугледобувних регіонів, пов'язані із забрудненням атмосфери, впливом гірничих робіт на стан земельних ресурсів і водне середовище, виснаженням запасів корисних копалин і закриттям шахт.

Стан атмосфери

Якість повітряного середовища у вугледобувних регіонах визначається їх природно-кліматичними умовами, інтенсивністю і часом техногенного навантаження, особливостями масопереносу в атмосфері і, як правило, є нижчою, ніж на територіях, що їх оточують. Враховуючи те, що природно-кліматичні умови у вугледобувних регіонах України практично не відрізняються від інших її територій, причина цього полягає у вищому техногенному навантаженні цих регіонів. Високе техногенне навантаження атмосфери вугледобувних регіонів обумовлене як наявністю значної кількості джерел забруднення пов'язаних з роботою підприємств вугільної галузі, так і наявністю тут низки крупних енергетичних, металургійних, машинобудівних, хімічних і ін. підприємств, а також великої кількості різних транспортних засобів, що є значними джерелами викидів шкідливих речовин.

Слід зазначити, що в середньому частка викидів шкідливих речовин в атмосферу, пов'язаних з роботою підприємств вугільної галузі, в загальному об'ємі викидів не перевищує 20 - 30%, проте у ряді міст і селищ вугледобувних регіонів, а також за деякими інгредієнтами (викиди метану, пил) ця частка істотно вища. Тут підприємства вугільної галузі й обслуговуючі їх транспортні засоби є основними джерелами, що забруднюють атмосферу.

Основними джерелами забруднення атмосфери, пов'язаними з роботою підприємств вугільної галузі, є породні відвали, котельні установки шахтних і селищних котельних, сушильні установки вуглезбагачувальних фабрик, шахтні дегазаційні та вентиляційні установки, аспіраційні установки підприємств. Так, кількість породних відвалів, які є джерелами забруднення атмосфери, перевищує 1050, понад 300 з них є такими, що горять, в галузі експлуатується до 1500 котельних і 100 сушильних установок.

За наявними оцінками, у цілому, підприємствами вугільної галузі викидається в атмосферу близько 1,1 млн т/рік шкідливих речовин, зокрема: речовин в твердому стані (пил) – близько 38 тис. т; оксидів сірки – біля 122 тис. т; оксиду вуглецю – 150,0 тис. т; оксидів азоту – біля 9 тис. т; вуглеводнів – 465 тис. т; інших газоподібних речовин – 256 тис. т.

Породні відвали, особливо ті, що горять, є джерелами істотного забруднення атмосфери пилом, оксидами вуглецю і сірки. Серед відвалів, що горять, є діючі і недіючі. Причому, незважаючи на перехід останнім часом підприємств на технологію складування породи в плоскі відвали з використанням випереджаючої рекультивациі і застосуванням інертних матеріалів, яка повинна виключити samozapalennya, серед тих, що горять, налічується понад 50 діючих плоских породних відвалів. Це пов'язано з порушенням технології їх формування, що полягає в недостатньому ущільненні поверхні і укосів відвалу при проведенні відвальних робіт, а також недостатньою кількістю інертних матеріалів, використання яких передбачене технологічними схемами формування відвалів. На шахтах, що експлуатують плоскі породні відвали, практично відсутнє спеціалізоване устаткування для їх формування. Роботи по гасінню і переформуванню відвалів конічної форми, що горять, розбиранню і вивезенню породи недіючих відвалів, що перегоріли, і

подальшою рекультивацією займаної ними земель ведуться нині в недостатньому обсязі. Тому на найближчу перспективу зниження обсягів шкідливих викидів з відвалів в атмосферу вугледобувних регіонів не очікується.

Значна частина газоподібних забруднюючих речовин і пилу викидається в атмосферу з газовими викидами котельних і сушильних установок збагачувальних фабрик, які використовують як паливо вугілля.

На цих установках нині практично відсутнє устаткування для очищення викидів від шкідливих газів, серед яких насамперед слід виділити оксиди сірки. Застосування на низці сушильних установок мокрому способу очищення газів забезпечує зниження вмісту оксидів сірки у викидах на 15–20 %, що явно недостатньо. Вітчизняною промисловістю ефективного устаткування для очищення викидів від шкідливих газів не випускається, роботи по його розробці і впровадженню в галузі не проводяться. Деяке зниження обсягів викидів шкідливих газів від котельних і сушарок, що спостерігається останнім часом, обумовлено зменшенням кількості джерел через закриття шахт і неповне завантаження збагачувальних фабрик. На найближчу перспективу поліпшення ситуації в цій області не передбачається.

Очищення викидів котельних установок від пилу здійснюється в основному апаратами сухого очищення. При правильному виборі параметрів таких апаратів і своєчасному їх обслуговуванні концентрація пилу в таких викидах не перевищує 200 мг/м³. Проте на багатьох котельних вона доходить до 800 мг/м³ і більше, що обумовлює істотне перевищення встановлених допустимих норм викидів. Модернізація систем пиловловлювання котельних в галузі поки не передбачається.

Системи пиловловлювання сушильних установок, як правило, оснащені апаратами сухого і мокрому очищення газів, а вміст пилу у цих викидах в основному відповідає встановленим нормативним показникам.

Значними джерелами забруднення атмосфери метаном є дегазаційні та вентиляційні установки. В середньому на вугільних шахтах України виділяється близько 3 млрд м³ на рік метану, основна частина якого виноситься в атмосферу при провітрюванні шахт вентиляційними установками. Тільки незначна частина метану від систем дегазації використовується (в основному як паливо в шахтних котельних), а основна його частина також надходить в атмосферу. Через низьку концентрацію метану в дегазаційних трубопроводах дегазацій, непостійний дебіт сумішей, невідпрацьованість питання подальшого їх використання, найближчим часом не очікується суттєвого збільшення частки використовуваного метану.

У цілому, оцінюючи якість повітряного середовища у вугледобувних регіонах, слід зазначити істотне його забруднення з перевищенням ГДК шкідливих речовин, яке повсюдно спостерігається в крупних промислових центрах, де окрім підприємств вугільної галузі є значна кількість інших джерел викидів. У містах і селищах, де основними джерелами забруднення є підприємства вугільної галузі, також є локальні зони, якість повітряного середовища в яких не відповідає встановленим нормативам. Розміри і

положення цих зон визначаються станом погоди, напрямком вітру. Наявність таких зон пов'язана з локальними інтенсивними джерелами виділення шкідливих речовин: териконів, що горять, котельних, сушарок тощо.

Стан водного середовища

Якість водного середовища у вугледобувних регіонах визначається як кількістю і складом викидів, так і наявністю можливостей для їх розбавлення, здатністю фітопланктону і вищих рослин до поглинання і переробки токсичних речовин, фільтраційними характеристиками ґрунтів, наявністю водотривів, потужностей з очищення скидань і ін.

Підприємства вугільної галузі спричиняють значний вплив на стан водного середовища у вугледобувних регіонах. Причому цей вплив часто захоплює і суміжні території, особливо при скиданні шахтних вод в річки.

Щорічно водовідливними установками шахт вугільної галузі видається на поверхню близько 800 млн м³ вод, значна частина яких сильно мінералізована. До 15% шахтних вод використовується на власні потреби, а також іншими споживачами. Решта шахтних вод (близько 700 млн м³) скидається у відстійники і водоймища. Всі шахти оснащені устаткуванням для очищення шахтних вод від механічних і біологічних домішок, тому вся вода, що скидається у водоймища, проходить необхідне механічне очищення і знезараження (хлорування). Устаткування для демінералізації шахтних вод на шахтах відсутнє. Тому скидання у водоймища шахтних вод з високим вмістом солей обумовлює підвищення їх концентрації у водоймищах, засолення ґрунтів і інші негативні явища. Дуже високий вміст солей мають шахтні води низки шахт ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (до 35 г/л), ДП «Селідоввугілля» (до 24 г/л) та ін.

Проведені ще в 80-ті роки на шахтах «Петровська» і «Гернівська» експериментальні роботи з демінералізації шахтних вод показали, що процеси демінералізації є вельми енергоємними, а спорудження установок для їх ведення вимагає великих капітальних витрат, тому на найближчу перспективу слід чекати збереження існуючих обсягів скидання сильно мінералізованих вод.

Підприємства вугільної галузі є також значними джерелами забруднення підземних вод. Так, значна кількість мінералізованих вод із ставків-накопичувачів шахтних вод і шламонакопичувачів фільтрується, забруднюючи водоносні горизонти. Наприклад, за період експлуатації шахт ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» на інфільтрацію із ставків-накопичувачів пішло до 20 млн м³ шахтних вод з мінералізацією від 6 до 35 г/л.

Річки і водоймища забруднюються також за рахунок атмосферних вод, що стікають з поверхні териконів і плоских відвалів, вугільних складів шахт, а також промислових площадок підприємств. Так, з одного породного відвалу дощові стоки вимивають в рік до 400 т завислих речовин і до 8 т солей.

На забруднення річок і водоймищ істотний вплив мають також підтоплені території, що утворилися після відробки вугільних пластів. Тільки у Донбасі зафіксовано підтоплення територій в межах 25 шахтних полів. Як правило, після підтоплення мінералізація поверхневих і підземних вод помітно збільшується.

Стан земельних ресурсів

Оцінка стану земельних ресурсів вугледобувного регіону зазвичай здійснюється з погляду її придатності для стійкого існування територіальної екосистеми в умовах, що виникли під впливом техногенної діяльності, що відбулася у минулому. При цьому враховуються ділянки, які зайняті міськими агломераціями і промисловими об'єктами, площі земель з перевищенням ГДК за забрудненнями в ґрунтовому покриві і ступінь пошкодження цих земель рухомими формами забруднювачів, а також землі, виведені під впливом техногенної дії з сільськогосподарського обороту або такі, що стали непридатними для цих цілей.

Вплив підприємств вугільної промисловості на земельні ресурси, перш за все пов'язаний з виведенням з сільськогосподарського обороту земель, що відводяться під промислові площадки шахт і збагачувальних фабрик, породні відвали, шламонакопичувачі вуглезбагачувальних фабрик, ставки-накопичувачі тощо.

При роботі шахт і вуглезбагачувальних фабрик щорічно утворюється близько 70 млн т вуглепородних відходів, з яких 40 – 45 млн т складається у відвали. Всього, в результаті багаторічної роботи підприємств вугільної галузі, в Україні сформовано 1063 відвали, які займають площу близько 7200 га. У них зберігається понад 1,7 млрд м³ відходів. 95 % цих відвалів розташовано в Донбасі. Площа відвалів складає 6733 га, при об'ємі – понад 1,5 млрд м³.

Нині обсяги видачі породи на багатьох шахтах досягають обсягів видобутку вугілля, а в окремих випадках перевищують їх, що обумовлює необхідність подальшого відчуження земель під відвали. Крім того, вуглезбагачувальними фабриками щорічно скидається в шламонакопичувачі близько 2 млн т відходів збагачення флотації. Всього в шламонакопичувачі зберігається понад 70 млн т відходів, а їх площа досягає 850 га.

Зменшення обсягів складування відходів у вугледобувних регіонах можливо при їх використанні для виробництва будівельних матеріалів, в дорожньому будівництві, при рекультивації земель, при відсіпанні гребель, дамб і інших споруд. Для відсіпання земляного полотна при будівництві шосейних доріг, а також для відсіпання земляних споруд і вирівнювання нерівностей рельєфу щорічно використовується близько 2 млн м³ відходів. В індустрії будівельних матеріалів відходи вуглезбагачення знаходять застосування при виробництві цегли і легких заповнювачів бетону. Для цих цілей зараз використовується до 200 тис. т на рік відходів (проти 1 млн тонн відходів вуглезбагачувальних фабрик у 80-ті роки). Такі масштаби використання відходів не дозволяють вирішити проблему їх складування, тому в галузі ведеться пошук інших можливих шляхів її рішення, зокрема на низці шахт передбачалося спорудження дробильно-закладних комплексів і використання породи для закладки виробленого простору, що дозволило б в комплексі вирішити цілу низку проблем, пов'язаних з транспортуванням і складуванням породи, зменшенням деформації подрібленої земної поверхні, підвищенням стійкості гірничих виробок і зниженням вірогідності виникнення ендегенних пожеж у шахтах.

Проте найближчими роками масового освоєння технології видобутку вугілля із закладкою виробленого простору не передбачається, а отже, не передбачається і якого-небудь істотного впливу цих технологій на обсяги складування відходів і зменшення негативної дії відвалів на навколишнє середовище. Особливої гостроти набуває ця проблема в деяких регіонах Центрального Донбасу, де видобуток вугілля ведеться тривалий період і де багато шахт практично вичерпали балансові запаси корисних копалини.

Іншими причинами, які призводить до масового виведення земель з сільськогосподарського використання, є деформація земної поверхні і зміна режиму і складу ґрунтових вод. При цьому найбільш підверженим є території, розташовані в заплавах річок, зокрема в Львівсько-Волинському басейні і Західному Донбасі, екологічні проблеми яких вимагають особливого розгляду.

Екологічні наслідки видобутку вугілля в районах з обмеженими запасами

У результаті тривалого видобутку вугілля в деяких регіонах Донбасу значна частина запасів корисних копалин зосереджен на відносно невеликій глибині, в пластах значної потужності і кращими умовами залягання, виявилася вичерпаною. Через наявність в цих районах практично моногалузевої структури промислового комплексу і невирішене проблеми працевлаштування працівників при закритті шахт, з метою збереження рівня зайнятості населення керівництво міст і підприємств прагне до максимально можливого використання всіх наявних можливостей для продовження терміну функціонування шахт. До видобутку залучаються запаси корисних копалини що залягають на великій глибині, з пластами малої потужності і складної будови, а також запаси вугілля нижчих кондицій, зокрема за зольністю і вмістом сірки. Це обумовлює деякі специфічні особливості техногенного впливу на навколишнє середовище й екологічну ситуацію в таких вугледобувних регіонах.

Видобуток вугілля на багатьох шахтах Донбасу часто здійснюється з малопотужних пластів складної будови. Багато шахт відпрацьовують балансові запаси з кондицією за золою 40–50%, а деякі взагалі не мають промислових запасів і ведуть очисні роботи на забалансових запасах. Значна частина площ вугільних пластів знаходиться в зоні нестійкої покрівлі. Пласти, що розробляються в основному складної будови з наявністю породних прошарків, що зумовлює високу зольність пласта.

Враховуючи те, що для підтримки досягнутого рівня видобутку за відсутності балансових запасів у межах діючих шахт необхідно було або постійно залучати до відробки некондиційних запасів, або закривати шахти з повним зняттям плану видобутку, в галузі була обґрунтована економічна доцільність залучення на діючих шахтах у відробку забалансових запасів і ділянок із зольністю до 45% і потужністю понад 0,5 м.

Значне засмічення вугілля відбувається через відсутність техніки, що відповідає потужності пластів, які розробляються. Це призводить до необхідності присікання бічних порід і збільшує зольність вугілля, головним чином дрібних класів, на 6,8 - 7,0%.

Іншими чинниками, що збільшують зольність вугілля на підземному технологічному комплексі, є:

- змішування породи з підготовчих виробок з вугіллям при транспортуванні;

- порода покрівлі, яка обвалюється услід за виїмковим механізмом і сприяє засміченню вугілля;

- геологічні порушення в лавах (місцеві порушення, скидання), виїмання ніш на тонких пластах тощо.

У результаті перевищення зольності гірничої маси на 12–15% зрештою позначається на обсягах відходів вуглезбагачення. Положення ускладнюється існуючим методом обліку видобутку шляхом приведення фактичного обсягу до середньої норми зольності. При цьому немає штрафних санкцій за засмічення вугілля породою, оскільки за 1% перевищень зольності знижка складає 2,5%, тобто практично знімається тільки обсяг породи, що видобувається, причому завжди враховується середній показник зольності по шахті.

Існуюча система обліку об'єктивно не стимулює поліпшення якісних показників вугілля, що призвело до значного збільшення вмісту високозольного відсіву при розробці тонких пластів, зниженню виходу крупних і середніх класів.

Достатньої уваги не приділяється питанням реконструкції збагачувальних фабрик для вирішення проблеми збагачення класу 0–6 мм, доведення зольності штибу до 15–20%. Як наслідок, донині збагачувальні фабрики працюють в критичному режимі, практично не маючи в своєму розпорядженні вільних обсягів для розміщення відходів.

Натепер можливості складування твердих і рідких відходів на існуючих земельних відводах практично вичерпані, що створило надзвичайно складну екологічну обстановку в цих вугледобувних регіонах і обумовлює необхідність активного пошуку шляхів вирішення проблеми, пов'язаної зі зберіганням і залученням до господарського використання відходів вуглевидобування і збагачення.

Особливості видобутку вугілля шахтами Львівсько-Волинського басейну і Західного Донбасу полягають в тому, що розробка вугільних родовищ проводиться в заплавах річок Західний Буг і Самара, а також їх приток. В результаті інтенсивної підробки земної поверхні спостерігаються процеси осідання і затоплення (заболочування) значних земельних територій, що призводить до значного виведення з сільськогосподарського обороту орних земель, знищенню лісових угідь і підтопленню населених пунктів.

За своїми природними умовами Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн прийнято ділити на дві частини: Північну та Південну. Північна частина басейну представлена Волинським родовищем. Її площа складає близько 300 км². Родовище розташоване в басейні р. Студянка у верхній течії р. Західний Буг і характеризується різко вираженим розчленуванням рельєфу з амплітудою висот до 90 м при абсолютних відмітках від 180 до 270 м. Родовище відпрацьовується Нововолинською групою шахт. Шахти відпрацьовують два пласти (7 і 8), середня потужність яких коливається в

межах від 0,65 м до 0,85 м, а глибина залягання змінюється від 320 м до 416 м. Сумарна виймана потужність, що, в середньому складає 1,5 м при максимальних значеннях 2,5 – 2,7 м.

У результаті виймання вугілля просідання земної поверхні в середньому складають 1,2 -1,4 м, а при максимальних значеннях до 2,5 м. В результаті просідання в знижених частинах рельєфу (долинах і заплавах річок) відбувається підтоплення території. У місцях, де присутні слабопроникні глинисті породи, підтоплення спостерігається також і на вищих ділянках рельєфу. Це відбувається унаслідок того, що за рахунок поверхневих вод та атмосферних опадів на ділянках, що просіли, формуються скупчення води.

Південна частина Львівсько-Волинського басейну характеризується плоскішим рельєфом, абсолютні відмітки поверхні тут коливаються в межах 180–210 м, при глибині залягання відпрацьованих вугільних пластів від 450 м до 550 м і їх середній потужності в діапазоні від 0,8 до 1,2 м.

Шахти відпрацьовують три вугільні пласти і їх розшарування у верхній і нижній частинах. Просідання поверхні складає в середньому 3,6 м, а на окремих ділянках перевищує 4 метри. Через просідання поверхні і високого рівня підземних вод розвиваються процеси підтоплення. Нині подтоплено близько 600 га поверхні.

Рекультивация порушених поверхонь в басейні, яка здійснюється переважно підсіпкою з використанням шахтних порід і спорудженням загороджувальних гребель, дозволила дещо уповільнити процес виведення земель з сільськогосподарського використання. Однак існуючі темпи рекультивации недостатні для відновлення порушених земель, і в найближчій перспективі в регіоні прогнозується подальше збільшення площі підтоплення території.

Із загальних промислових запасів вугілля в Західному Донбасі, що становлять біля 1000 млн тонн, 535 млн тонн залягають під заплавою р. Самари, її приток і під населеними пунктами. В даний час видобуток вугілля в регіоні здійснюють шахти ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Просідання земної поверхні, які виникають в результаті виймання вугільних пластів, складає від 3-х до 6 метрів, що спричиняє за собою підтоплення і затоплення земель. Донині в регіоні підроблено біля 4500 га, з них близько 3000 га в заплаві р. Самари і її приток. Зі всіх порушених земель рекультивовано близько 2400 га. Рекультивация здійснюється шляхом підсіпки шахтною породою, будівництвом водоймищ для риборозведення і накопичень паводкових вод, створенням зон відпочинку. Практикується також дренаж порушених земель.

Як для Львівсько-Волинського басейну так і для Західного Донбасу характерне полого залягання пластів, великі площі залягання і високий рівень стояння ґрунтових вод. При підробці земної поверхні її осідання складає приблизно 90% вийнятої потужності і відбувається услід за посадкою покрівлі. Це обумовлює втрати родючого і потенційно родючого шарів і порушені землі не можуть більш використовуватися за первинним призначенням. Відбувається втрата найбільш цінних площ, зокрема сільгоспугідь і лісових масивів. Наявні

способи рекультивації порушених земель не дозволяють повною мірою відновити їх первинну якість.

Слід зазначити, що при видобутку вугілля підземним способом деформація земної поверхні виникає як в результаті виймання вугілля, так і в результаті збільшення щільності гірських порід, викликаного видаленням флюїдів (збезводнення і дегазація гірських порід). Тому освоєння і перехід на технологію видобутку корисних копалин з повною закладкою виробленого простору повною мірою не виключає просідання земної поверхні і втрат родючих площ. Зберегти родючість ґрунту, а у багатьох випадках і істотно його поліпшити, можливо за умови здійснення випереджаючої рекультивації, яка передбачає завчасне, до початку підробки, зняття і роздільне складування родючого чорноземного і підстилаючого шару, підсипку шахтною породою і подальше покриття її насипним підстилаючим і родючим шаром ґрунту. Якісне планування території при рекультивації, зниження коливань потужності родючого шару ґрунту в порівнянні з непорушеними землями призводить до значного підвищення ціни на землю. Повна стабілізація потужності поверхневого шару в 60 см дозволяє удвічі підвищити грошову оцінку земель після рекультивації в порівнянні з її первинною ціною, що дає можливість частково окупити витрати на рекультивацію. Крім того, при цьому практично вирішуються проблеми складування відходів вугледобування і при рекультивації можливе використання сучасного високопродуктивного устаткування.

Таким чином, проведення випереджаючої рекультивації дозволяє не тільки зберегти структуру земельних ресурсів і родючість ґрунтів, а й значно їх поліпшити. Проте здійснення такої рекультивації нині вимагає не тільки первинного виділення значних коштів, але і вирішення низки правових питань, регулюючих стосунки землекористувачів і користувачів надр, якими є гірничодобувні підприємства.

Екологічні проблеми закриття шахт

У процесі будівництва і експлуатації шахт у природному масиві порід і навколишньому середовищі формуються техногенні порушення в системі «порода-поверхня-вода». У багатьох вугледобувних регіонах ці порушення настільки значні, що стійке функціонування екосистеми і підтримка її в рівноважному стані можливі тільки при постійній дії людини на окремі компоненти середовища, наприклад, при постійному відкачуванні шахтних вод. При закритті шахт, для підтримки екосистеми в рівноважному стані, потрібне проведення великого обсягу підготовчих робіт, що обумовлює істотні економічні витрати. Інакше, в результаті змін, що відбулися, природні екосистеми можуть деградувати і перетворюватися в системи нижчого рівня з непридатними або малопридатними умовами для існування.

Наявний досвід закриття шахт показав, що в результаті недооцінки можливих екологічних наслідків закриття шахт і обмеженого фінансування природоохоронних заходів закриття шахт супроводжується виникненням цілої низки негативних екологічних наслідків, основні з яких:

- затоплення і підтоплення територій;

- забруднення підземних і поверхневих вод;
- зміна складових підземного і поверхневого стоку;
- формування нового техногенного рельєфу (додаткові просідання і підйом територій, деформації поверхні тощо).

Припинення відкачування підземних вод з шахт, що закриваються, призводить до відновлення рівнів підземних вод на територіях, які просіли під впливом гірничих робіт, що супроводжується затопленням і підтопленням територій, виникненням обвальних явищ, зміною режиму і складу підземних вод.

3.3 Соціально-економічні наслідки видобутку енергоносіїв у складних гірничо-геологічних умовах

Зі всього комплексу соціальних наслідків, якими супроводжуються процеси енергозабезпечення, насамперед розглянемо наслідки, обумовлені важкими, шкідливими і небезпечними умовами праці на шахтах вугледобувної галузі.

Вугільні шахти є вельми складною виробничою системою з особливо небезпечними умовами праці (вибухонебезпечними, пожежонебезпечними, небезпечними за обвалами, проривами води і газу і тому подібне), де непередбачені або раптові зміни гірничо-геологічних умов або природних сил, недотримання правил безпеки або неправильні дії працівників можуть спричинити тяжкі наслідки, що в деяких випадках призводять до численних людських жертв. Крім того, робота більшої частини працівників основних спеціальностей відноситься до категорії важких, а умови праці до важких і особливо шкідливих.

Складні гірничо-геологічні умови більшості вугільних родовищ України обумовлюють наявність великої кількості небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що істотно впливають на життя і здоров'я працюючих і обумовлюють високий рівень травматизму і профзахворювань у галузі.

Тільки за останні роки (2010 та 2011 роки) на вугледобувних шахтах країни у результаті аварій та нещасних випадків загинуло 292 та отримали травми 9143 працівники. При цьому, незважаючи на практично незмінні обсяги видобутку вугілля, в останні роки з'явилась негативна тенденція до збільшення числа загиблих працівників у виробничих умовах. Так, за 2011 рік у порівнянні з 2010 роком, цей показник зріс на 30 смертельних випадків.

Понад 40% діючих нині в Україні шахт введено в експлуатацію майже 50 років тому, причому вік багатьох із них вже перевищує 100 років. Більша частина шахт працює без реконструкції понад 20 років, практично на кожній шахті нині потрібна реконструкція вентиляційних установок.

Якщо в інших галузях промисловості старіння виробничих фондів призводить, в основному, до зниження продуктивності праці, то у вугільній ставить під загрозу життя і здоров'я тисяч шахтарів.

Нині значна частина підприємств вугільної промисловості, у першу чергу шахти, знаходяться у катастрофічному технічному стані. Нові шахти не

будуються, але і у діючих практично не закладаються нові стволи і горизонти. Більша частина гірничошахтного обладнання і устаткування морально застаріла і фізично зношена. Потребують заміни 58% підйомних машин, 53% вентиляторів головного провітрювання, 48% компресорів. Понад 60% шахт є важкопровітрюваними.

Близько 40% повітропроводів і трубопроводів головного водовідливу вражені корозією і дають великі витoki. Трубопроводи, крім того, мають занижений переріз через накопичення в них покладів твердих частинок, які містяться у шахтних водах.

Відсутній резерв підйомних пристроїв, головних та врівноважуючих канатів, копрових шківів. В аварійному стані знаходиться значна частина шахтних стволів. Не приділяється належної уваги дегазації шахт.

Продовжується погіршення гірничо-геологічних умов, середня глибина розробки наблизилась до 700 м, а на 35 шахтах вона досягла 1000 – 1300 м.

Більш як 90 відсотків шахт небезпечні за газом, а 70 відсотків – за вибухами вугільного пилу. На 30 відсотках шахт температура повітря в багатьох вибоях перевищує санітарну норму, що потребує спеціального регулювання теплових умов. Більше половини шахт розробляють пласти, небезпечні за раптовими викидами вугілля, газу і гірничими ударами, на яких щорічно в середньому відбувається біля 300 газодинамічних явищ, що створюють аварійні ситуації. 47 шахт розробляють пласти, небезпечні за самозайманням.

Найбільший економічний збиток внаслідок аварій по вугільній промисловості України обумовлюється екзогенними й ендегенними пожежами (у середньому близько 42 і 30% від загальної величини збитку відповідно), обваленнями (близько 15%), вибухами (близько 8%), викидами (близько 4%).

У середньому за рік на підприємствах галузі трапляється біля 10 тисяч нещасних випадків, у тому числі до 150 – зі смертельними наслідками. Особливий резонанс у суспільстві викликають аварії на вугільних шахтах, що супроводжуються масовим травматизмом і загибеллю трудящих. Такі, як вибухи на шахті ім. Засядька.

Тривожна ситуація у вугільній промисловості склалася з професійними захворюваннями, наприклад пневмоконіозами і пиловими бронхітами. Концентрація пилу на робочих місцях в очисних і прохідницьких вибоях часто на два порядки перевищує встановлені гранично допустимі концентрації.

Спостерігаються значні відхилення від нормальних температурних умов роботи. На найбільш глибоких горизонтах шахт температура повітря (без застосування спеціальних заходів для його охолодження) доходить до 29 – 30 °С і більш при відносній вологості понад 80%, що істотно перевищує встановлені норми. Особливо несприятливі кліматичні умови спостерігаються на найбільш глибоких горизонтах шахт Центрального Донбасу.

На підприємствах вугільної галузі майже 200 тис. чоловік одержують компенсаційні виплати в зв'язку зі стійкою втратою працездатності (30% від загального числа працюючих). На ці виплати витрачається коштів у 6 разів

більше, ніж на поліпшення умов праці. Така ситуація важким тягарем лягає на вугільну галузь, багато в чому визначаючи її низьку ефективність.

Спостерігається різке падіння престижу шахтарської праці, зниженню припливу молодих людей до галузі, внаслідок чого розпочався незворотний процес старіння кадрів і швидке зниження чисельності кваліфікованих робочих на підземних роботах, що не могло не відобразитися на стані безпеки праці.

3.4 Економічна оцінка аварійності та небезпек, що притаманні процесам енергозабезпечення

У загальному випадку між параметрами аварійних процесів і гірничотехнічними параметрами існують функціональні зв'язки, неврахування яких призводить до значних помилок оцінки параметрів фактичного і прогнозованого стану умов праці, а характер матеріальних наслідків аварій, що виникають на вугільних шахтах, залежить від гірничо-геологічних умов, умов праці на них, а також обсягів і ефективності витрат на заходи щодо захисту працівників від шкідливих і небезпечних виробничих чинників. Оцінювання шкідливих і небезпечних виробничих чинників і систем захисту від них завжди є багатоцільовим. Як пріоритетну й узагальнюючу слід прийняти оцінку шкідливих і небезпечних виробничих явищ по соціально-економічному збитку, а оцінка ефективності заходів і систем захисту працюючих від шкідливих і небезпечних виробничих чинників – по економічних і соціальних ефектах від їх впровадження.

Умови роботи на конкретному робочому місці визначаються сукупністю значної кількості небезпечних і шкідливих чинників, які неможливо об'єднати і зіставити між собою за допомогою фізичних показників. У цій ситуації, єдиним рішенням може бути їх об'єднання через економічні показники. Тому, як методологічна основа при оцінці безпеки і шкідливості виробництва, може бути прийняте наступне положення: інтегральною мірою безпеки і шкідливості технологічного процесу або виробництва є економічна оцінка небезпечних і шкідливих виробничих чинників, характерних для даного процесу або виробництва. Враховуючи те, що виникнення аварій і нещасних випадків, обумовлених впливом небезпечних виробничих чинників, носить імовірнісний характер, економічна оцінка цих явищ має бути єдиною і враховувати очікувані економічні збитки при виникненні нещасних випадків і аварій $M(U_i)$ і імовірнісну природу виникнення цих явищ. У такому разі економічна оцінка i -го виду аварії на об'єкті матиме вигляд

$$P_i = p_i M(U_i), \quad (3.1)$$

де p_i – вірогідність виникнення аварії i -го виду на об'єкті.

Як об'єкт в даному випадку може виступати вибій, дільниця, установка, поверхневий комплекс, шахта у цілому і тому подібне. Вибір об'єкта залежить від цілей і завдань оцінки, а також наявності достовірної інформації про очікувану величину збитків від аварій і вірогідності їх виникнення.

Для групи об'єктів одного типу економічна оцінка i -го виду аварії

$$P_n = [1 - (1 - p_i)^k] M(U_i), \quad (3.2)$$

де k – кількість об'єктів одного типу.

У зв'язку з тим, що такі явища як пожежа, вибух і раптовий викид, окрім небезпечного впливу на людину, знищують або пошкоджують матеріальні цінності, то очікувані економічні збитки $M(U)$ складаються з прямих збитків, витрат на ремонт і відновлення об'єктів, матеріального збитку від травматизму за весь період виплат відповідно до чинного законодавства.

Нормативна економічна оцінка безпеки однотипних об'єктів або процесів шахти, на яких зайняті робочі у цьому разі складе

$$P_n = [1 - (1 - p_n)^k] M(U), \quad (3.3)$$

де p_n – нормативна вірогідність виникнення аварії на об'єкті.

Звичайно, фактичне значення економічної оцінки відрізняється від нормативної, оскільки для даного виробництва частота виникнення пожеж, вибухів, викидів p , як правило, більше p_n , а значення $M(U)$ для даного виробництва і даного виду аварії залишиться незмінним.

Соціально-економічну оцінку безпеки може бути розрахована на базі існуючої статистичної та відомчої звітності і дозволяє здійснювати агрегування і ранжирування об'єктів за рівнем безпеки і використовувати це ранжирування для планово-прогнозних розрахунків, пов'язаних як з управлінням виробничими ресурсами для побудови інвестиційної політики в галузі енергозабезпечення, так і управлінням поточними витратами на підвищення рівня безпеки конкретного об'єкта.

Загальну соціально-економічну оцінку безпеки шахти можна розбити на дві складові:

- соціально-економічну оцінку аварій;
- соціально-економічну оцінку нещасних випадків.

Як аварія, так і нещасний випадок є випадковими подіями і методологія їх оцінки повинна мати загальний характер. Враховуючи те, що кількість нещасних випадків, що відбулися протягом року на одній шахті, як правило, обчислюється сотнями, їх поточна і прогнозна оцінка здійснюється в основному шляхом математичної обробки статистичних даних про соціально-економічні наслідки травматизму за останній період часу й екстраполяції цих даних на попередні інтервали часу.

При соціально-економічній оцінці аварій такий підхід виявляється неприйнятний. Це обумовлено тим, що соціально-економічні наслідки аварій зазвичай визначаються тільки по аваріях, які призвели до людських жертв або спричинили значні матеріальні збитки (наприклад, ендегенні пожежі), тобто фактично по аваріях 1-ї і 2-ї категорій. Частота виникнення таких подій на окремо узятій шахті незначна. Так, вибухи метану на конкретній газовій шахті могли не відбуватися протягом тривалого періоду часу (десятки років), а то і за весь період її роботи. Проте це не означає, що соціально-економічна оцінка вибухонебезпеки такої шахти буде нульова, а здійснювати роботи з

профілактики вибухів на такій шахті непотрібно. Загроза вибуху метану на газовій шахті завжди існує, а те, що таке подія не наступила, пояснюється хорошою забезпеченістю дільниць повітрям, наявністю і правильною експлуатацією засобів аерогазового контролю, застосуванням ефективних схем дегазації, проведенням робіт щодо запобігання місцевих скупчень метану й іншими причинами, які вже носять не випадковий, а детермінований характер.

Один із можливих методологічних підходів до прогнозування економічних наслідків аварій полягає в проведенні економічної оцінки найбільш небезпечних явищ (пожеж, вибухів, викидів тощо). При цьому загальна економічна оцінка шахти може бути отримана шляхом підсумовування економічних оцінок вказаних явищ.

Суть запропонованого методологічного підходу до економічної оцінки аварійної небезпеки шахт за такими найбільш характерними для вугледобувної галузі видами аварій як екзогенні й ендогенні пожежі полягає в наступному.

Виникнення екзогенних і ендогенних пожеж хоча і носить випадковий характер, однак значення вірогідності виникнення пожеж і характер їх розвитку неоднакові для різноманітних умов видобутку вугілля. Це обумовлено відмінностями гірничо-геологічних, технологічних і організаційних умов роботи шахт, а також оснащенням засобами протипожежного захисту.

Небезпека пожежі об'єктів обумовлена наявністю горючих матеріалів природного (вугілля, метан) і виробничого характеру (дерево кріплення, конвеєрна стрічка, мастильні матеріали тощо). Висока концентрація енергетичних потужностей створює передумови для виникнення теплового імпульсу -джерела екзогенних пожеж.

Шахти відрізняються кількістю і складом об'єктів, та і самі об'єкти нерівноцінні як за виробничою потужністю, так і за вартістю основних фондів, тому дві шахти з однаковим складом об'єктів і захищені у відповідності з правилами безпеки можуть мати різноманітні значення пожежної небезпеки хоча б тому, що енергетична потужність і вартість об'єктів різні. Вірогідність виникнення пожежі характеризується наявністю можливих теплових імпульсів. Вірогідність розвитку залежить від наявності у виробках горючих матеріалів і труднощі гасіння пожежі.

Очікувані збитки від екзогенної пожежі є характеристикою, яка враховує як вірогідність розвитку пожежі до різних категорій, так і відповідні цим категоріям матеріальні втрати. Для оцінки небезпеки виникнення пожежі доцільно виділення однорідних груп шахт шляхом врахування таких основних чинників як вид енергії, газоносність, глибина розробки і кут падіння пласта. При розбитті на групи спочатку визначається ієрархія чинників у послідовності їх значущості, а після цього кожен чинник розбивається на непересічні інтервали, які визначають приналежність шахти до конкретної групи. Метод дає можливість перейти до вивчення основних характеристик, які впливають на екзогенну небезпеку пожежі без урахування впливу гірничо-геологічних і гірничотехнічних чинників.

Економічна оцінка екзогенної небезпеки пожежі на шахті визначалася як добуток вірогідності виникнення екзогенної пожежі на математичне очікування

збитків від екзогенної пожежі $M(U)$ за умови, що його виникнення є випадкова подія. Повна модель визначення економічної оцінки екзогенної небезпеки пожежі має наступний вигляд

$$\Pi_{\text{екз}} = \sum_{j=1}^m [1 - (1 - p_j)^{k_j}] M_j(U), \quad (3.4)$$

де j – індекс об'єкта; m – кількість різноманітних видів об'єктів на шахті; p_j – вірогідність пожежі на одному j -му об'єкті; k_j – кількість даних об'єктів j -го вигляду.

На частоту виникнення ендегенних пожеж і економічні наслідки від них значний вплив мають такі чинники, як схильність вугілля до самозаймання, система розробки, кут залягання пласта, потужність пласта і його газоносність. Для визначення однорідних з погляду гірничо-геологічних і гірничотехнічних чинників груп шахт було використано потужність і кут падіння пласта, як найбільш характерні чинники. За потужністю пласта всі шахти доцільно розділити на вісім груп, а за кутом падіння - на три групи.

Економічна оцінка ендегенної небезпеки пожежі сукупності об'єктів шахти визначається за формулою

$$\Pi_{\text{енд}} = \sum_{j=1}^8 \sum_{m=1}^3 v_m^j [1 - (1 - n_m^j)^{K_m^{ij}}] M_m^j(U), \quad (3.5)$$

де m – індекс, який визначає тип об'єктів шахти; K_m^{ij} – кількість об'єктів m -го типу, які відносяться до j -ї групи; v_m^j – частка пожеж, які виникають на об'єктах m -го типу j -ї групи в загальній кількості пожеж на об'єктах j -ї групи.

Для визначення економічної оцінки збитків від небезпеки вибуху всі шахти, виходячи з гірничо-геологічних і гірничотехнічних чинників, доцільно розділити на групи, які в найбільшій мірі впливають на вірогідність виникнення вибухів. Для газових шахт, за одних і тих же технологічних і організаційних умов, характерна різна швидкість утворення метано-повітряної суміші вибухової концентрації. Вірогідність виникнення протягом року вибуху на шахті, яка належить j -й групі, визначається аналогічно вірогідності пожежі.

Значення вірогідності вибуху, на об'єкті і вірогідності впливу небезпечних чинників вибуху на працюючих в шахті не тотожні, оскільки для шахти при оцінці небезпеки вибуху, поняття дільниці і шахти нероздільні через миттєве розповсюдження вибуху і його продуктів по переважній більшості виробок. Масштаби аварій залежать від наявності зон небезпечних скупчень метано-повітряної суміші у виробках шахти, об'ємів цих зон, пилової небезпеки виробок тощо.

Виділення груп шахт за ознакою можливої швидкості утворення вибухонебезпечної метано-повітряної суміші, підтверджується статистичними даними про середні збитки. Шахті з меншою кількістю об'єктів відповідатиме менша вірогідність вибуху. Зазначені особливості вимагають самостійного розгляду і розробки нормативної вірогідності впливу небезпечних чинників вибуху на людей, що працюють в шахті. Порівняння фактичних і наново

розроблених нормативних значень вірогідності дозволить з більшою вірогідністю оцінювати шахти за рівнем небезпеки вибуху.

Економічна оцінка небезпеки вибуху в шахті визначається з виразу

$$\Pi_{\text{внб}} = \sum_{j=1}^3 [1 - (1 - p_{ij})^{k_3}] M_{ij}(U), \quad (3.6)$$

де $M_{ij}(U)$ – очікуваний збиток від вибуху на об'єкті i -го типу j -ї групи шахт ($i=1$ – очисні вибої, $i=2$ – вибої підготовчих виробок, $i=3$ – інші виробки) k_3 – середньорічна кількість об'єктів i -го типу на шахті.

Визначення економічної оцінки небезпеки викидів шахти базується на детальному аналізі даних про раптові викиди, які спостерігалися на шахтах Центрального і Донецько-Макиївського районів Донбасу. При цьому слід враховувати те, що небезпека викидів залежить від кількості очисних і підготовчих вибоїв на кожному небезпечному за викидами пласті.

Економічна оцінка небезпеки викидів шахти має вигляд

$$\Pi_{\text{вук}} = \sum_{j=1}^{S_l} x_{jl} \sum_{i=1}^2 v_{il} [1 - (1 - p_j)^{K_{ij}}] M_{ij}(U), \quad (3.7)$$

де S_l – кількість пластів небезпечних за викидами в l -му районі; x_{jl} – частка викидів на j -му пласті l -го району в загальній кількості викидів по цьому району; v_{li} – частка викидів на об'єктах i -го типу l -го району в загальній кількості викидів по цьому району; K_{ij} – кількість об'єктів i -го типу на j -му пласті.

Використовуючи викладений методологічний підхід може бути здійснена економічна оцінка всіх основних видів аварій і зрештою отримана загальна по

підприємству економічна оцінка аварійності: $\Pi_{\text{ав}} = \sum_{i=1}^n \Pi_i$, (3.8)

де Π_i – економічна оцінка i -го виду аварії; n – кількість основних видів аварій.

Важкі умови праці на вугільних шахтах, наявність численних шкідливих виробничих чинників є причиною надзвичайно високого рівня профзахворювань трудящих. Кількість заново виявлених професійних захворювань протягом року на одній шахті, як правило, обчислюється десятками. Прогнозна економічна оцінка шкідливих виробничих чинників, за аналогією з оцінкою небезпечних виробничих чинників, може бути здійснена шляхом математичної обробки статистичних даних про величину виплат працівникам шахти і особам, які втратили працездатність унаслідок професійних захворювань, та екстраполяції цих даних на попередні часові інтервали. Проте така оцінка може виявитися вельми неточною з наступних причин. Професійні захворювання, на відміну від травм, розвиваються протягом тривалих проміжків часу. Тому поточні показники щодо захворюваності відображають не тільки реальний стан умов праці, але і значною мірою обумовлені умовами у більш віддалені періоди. Друга причина

пов'язана з соціально-трудовами переміщеннями трудящих і полягає в тому, що зміни в стані здоров'я працюючих обумовлені не тільки роботою на даному підприємстві, а й умовами праці на попередньому місці роботи. Тому навіть створення сприятливих умов праці на конкретному підприємстві не гарантує виключення випадків професійних захворювань, що заново виявляються.

Враховуючи викладене, оцінка економічних втрат, які виникають унаслідок наявності шкідливих виробничих чинників, повинна враховувати фактичний стан умов праці на підприємстві, а при її визначенні необхідно враховувати тривалість впливу на працюючих шкідливих чинників, чисельність тих, хто працюють в зоні впливу шкідливих чинників, важкість роботи та інші показники, які характеризують умови праці. Тому на відміну від оцінки аварій і небезпечних виробничих чинників така оцінка повинна носити не випадковий, а детермінований характер.

Розглянемо можливу модель оцінки шкідливих чинників на прикладі найпоширенішого із них – запиленості повітря.

Економічна оцінка цього чинника повинна враховувати особливості процесів пилоутворення, час перебування у контакті з пилом, кількість людей, які працюють в умовах підвищеної запиленості на даному об'єкті.

В основу такої оцінки може бути покладена інформація про річні виплати за новими регресними позовами за останні роки (наприклад, за останні п'ять років), обумовленими виявленням професійних захворювань пов'язаних з пиловим чинником. У простому випадку, при стабільній чисельності тих трудящих, які працюють в місцях з підвищеною запиленістю, а також за умови відсутності істотної зміни умов праці за пиловим чинником, пов'язаної з впровадженням нових технологій, проведенням робіт по знепилюванню повітря, переміщенням робіт на інші ділянки з властивостями вугілля і гірських порід, що відрізняються, зміною умов провітрювання і тому подібне прогнозна економічна оцінка чинника може бути отримана шляхом екстраполяції наявних даних щодо виплати на майбутні періоди часу. У кожному випадку ці дані мають бути відкоректовані з урахуванням можливих змін умов праці і чисельності трудящих, які працюють в місцях з підвищеною запиленістю. Величина корекції може бути отримана шляхом зіставлення рангів об'єкта за пиловим чинником. Для побудови рангу може бути використана величина гранично допустимого часу перебування у контакті з пилом людей, які працюють на даному об'єкті, яка визначає, після закінчення якого терміну в легенях робочого накопичується критична маса пилу, що виключає вірогідність захворювання. За цим показником встановлюється час повної заміни складу робочих на цьому об'єкті. Ранг підземного об'єкта вугільної шахти за чинником запиленості повітря визначається за формулою

$$R = 0,0282 NCK_{\alpha}(V, d) , \quad (3.9)$$

де N – кількість робочих на об'єкті; $K_{\alpha}(V, d)$ – коефіцієнт, який враховує важкість роботи і дисперсний склад пилу; C – концентрація пилу, мг/м³.

Таким чином, ранг об'єкта вугільної шахти за чинником запиленості визначає середньорічну чисельність працівників, виведених із запилених умов у зв'язку з обмеженням часу контакту з пилом для запобігання захворюванню. Величина рангу тим вище, чим більше працівників зайнято на об'єкті, чим вище рівень залишкової запиленості, як за усіма фракціями, так і за респірабельними фракціями пилу, чим більшу кількість змін у середньому за рік працюють робочі на цьому об'єкті і чим важчу роботу вони виконують.

Підсумовуючи отримані значення економічної оцінки аварійності, шкідливих і небезпечних виробничих чинників, отримаємо сумарну прогнозну оцінку небезпечних і шкідливих явищ вуглевидобування по конкретному об'єкту: $P_{\text{сум}} = P_{\text{ав}} + P_{\text{неб}} + P_{\text{шк}}$. (3.10)

Врахування економічної оцінки небезпечних і шкідливих явищ вуглевидобування та інших об'єктів енергозабезпечення дає можливість більш обґрунтовано приймати рішення, спрямовані на збереження і розвиток потенціалу вугледобувної галузі промисловості, а також здійснювати вибір і обґрунтування рішень щодо проектування та будівництва нових об'єктів енергозабезпечення з урахуванням соціально-екологічних аспектів.

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТА ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ БІОІНДИКАЦІЇ

4.1 Характеристика екологічної ситуації на гірничодобувних територіях та підходи до її оцінки

Стратегія сталого розвитку є невід'ємною складовою екологічної безпеки промислових територій і містить такі основні напрями:

- підвищення рівня екологічної безпеки в умовах поточного виробництва в різних галузях промисловості;
- ліквідація масштабних негативних екологічних наслідків, які виникли за період діяльності промислових підприємств.

Вирішення питань з наукового забезпечення обох напрямів потребує розробки нових достовірних методів оцінки ступеня забруднення об'єктів довкілля.

Промислові агломерації, які утворилися на територіях з розвинутим мінерально-сировинним комплексом, металургійною, металообробною та енергетичною промисловістю, є джерелом надходження у довкілля значної кількості речовин техногенного походження. Це в першу чергу стосується забруднення об'єктів довкілля важкими металами (ВМ), розповсюдження яких у довкіллі пов'язано з повітряною, водною та фізико-хімічною міграцією.

Обсяги надходження у довкілля металів внаслідок техногенної діяльності суспільства у сотні і тисячі разів перевищують їх фонові концентрації, що у глобальному масштабі дорівнює або перевищує їх промисловий видобуток.

Хімічне забруднення ґрунтів ВМ в основному відбувається через атмосферу при осіданні парів, аерозолів, пилу. ВМ можуть зберігатися в ґрунтах довгі роки, включатись в екологічні ланцюги і тим самим обумовлювати їх довготривалу дію, що підвищує ризик виникнення хронічних інтоксикацій в організмі людини. Це підтверджується оцінкою медиків і гігієністів та їх висновками щодо підвищеної кількості хворих людей за рахунок накопичення ВМ в органах та тканинах, які проживають в промислових регіонах, у порівнянні з умовно чистими територіями [10–12].

На теперішній час не має загальноприйнятого методологічного підходу щодо оцінки специфіки впливу перелічених видів промисловості на розповсюдження та концентрацію ВМ, які за ступенем токсичності є пріоритетними забруднювачами на територіях промислових агломерацій.

Різноманітність ґрунтів, широкий спектр хімічного складу забруднювачів різних галузей промисловості та техногенне навантаження різного рівня обмежує можливості традиційної оцінки ступеня забруднення ґрунтів промислових територій шляхом порівняльної оцінки з ГДК ВМ у ґрунтах. Це також пов'язано з варіабельністю значень ГДК саме для рухомих форм ВМ.

Ці проблеми особливо актуальні для техногенно-навантажених регіонів України, у тому числі Дніпропетровської області, яка є однією з найбільших

індустріально-розвинених та високоурбанізованих. На території області створена потужна енергетична база, яка стала основою розвитку гірничо-металургійного комплексу. Навколишнє середовище Дніпропетровщини зазнає негативного впливу від скидів забруднюючих речовин у водойми, викидів шкідливих речовин в атмосферу та накопичення значних обсягів небезпечних, у тому числі токсичних і радіоактивних відходів виробництва.

Дослідження проводили на території Дніпропетровської області, на якій були виділені різні за видом гірничої промисловості міста: Вільногірськ (видобуток поліметалічних руд), Жовті Води (уранові руди), Павлоград (вугільна промисловість), Нікополь (гірничо-металургійна промисловість). Як контрольна була використана територія курорту ЛОК «Солоний Лиман» Новомосковського району Дніпропетровської області. На території кожного міста були вибрані від двох до чотирьох тест-полігонів, які охоплювали як промислові, так і селітебні зони. На кожному з полігонів виділяли від 4 до 8 моніторингових точок, на яких за участю представників державних екологічних інспекцій проводився відбір зразків ґрунтів та рослин. Всього досліджено 52 моніторингові точки.

4.2 Біоіндикаційна оцінка екологічного стану гірничопромислових центрів Дніпропетровської області

Традиційними методами оцінки забруднення навколишнього середовища є різні хіміко-аналітичні дослідження, які дають змогу встановлювати фактичне значення концентрації найрізноманітніших речовин, але не дають відповіді на питання про загальну токсичність і мутагенність забруднених об'єктів довкілля та ступінь її небезпеки для біоти та людини. Тому перспективним є використання методів біоіндикації, які дозволяють визначити комплексний екологічний стан об'єктів навколишнього середовища [13].

Відомо, що більшість рослин швидко реагує на низькі концентрації забруднюючих речовин, та їх реакція піддається прогнозу, тому рослини вважаються більш чутливими до дії забруднюючих речовин, ніж тварини та людина. Рослини є доступним експериментальним матеріалом, який легко розмножувати та можна жертвувати у великих обсягах для отримання найбільш точної оцінки.

Класичним методом для дослідження токсичної та мутагенної дії забруднювачів навколишнього середовища на живі об'єкти є тест на корневих клітинах цибулі (так званий *Allium*-тест), який дозволяє виконати досить швидкий скрінінг хімічних сполук з визначенням їх потенційного біологічного ризику. Важливими перевагами даного методу є висока кореляція результатів, отриманих на інших тест-системах [14].

Комплексна оцінка токсико-мутагенної активності ґрунтів досліджуваних територій здійснювалася з використанням *Allium*-тесту (тест на корневих клітинах цибулі). Також було оцінено потенційну токсичність повітряного басейну досліджуваних територій за допомогою тесту «Стерильність пилку фітоіндикаторів» [13, 15].

Показники біоіндикаційних та популяційних блоків було переведено в єдину безрозмірну систему умовних показників ушкодженості (УПУ) біосистем [15]. Для оцінки рівня ушкодженості біоіндикаторів та стану об'єктів навколишнього середовища використовували єдину уніфіковану шкалу [15].

Результати біоіндикаційної оцінки токсичності та мутагенності ґрунтів та атмосферного повітря на території досліджуваних міст Дніпропетровської області наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Біоіндикаційна оцінка токсичності та мутагенності ґрунтів та атмосферного повітря на територіях промислових агломерацій Дніпропетровської області

№ про-би	Тест-полігон	Біотест		
		УПУ ₁	УПУ ₂	УПУ ₂
1	Район Південного трубного заводу м. Нікополь	0,381	0,626	0,256
2	Район Нікопольського феросплавного заводу	0,515	0,557	0,566
3	Центр м. Нікополь	0,555	0,530	0,504
4	Район с. Новопавлівка та с. Лапінка, м. Нікополь	0,385	0,653	0,562
5	Селітебна зона м. Жовті Води	0,471	0,743	0,634
6	Промислова зона м. Жовті Води	0,648	0,715	0,801
7	Селітебна зона м. Вільногірськ	0,427	0,633	0,531
8	Промислова зона м. Вільногірськ	0,617	0,712	0,895
9	Селітебна зона м. Павлоград	0,465	0,478	0,308
10	Промислова зона м. Павлоград	0,517	0,632	0,631
11	Рекреаційна зона курорту «Солоний лиман»	0,105	0,036	0,120
12	Сільськогосподарська зона курорту «Солоний лиман»	0,193	0,102	0,239

УПУ₁, УПУ₂, УПУ₃ – рівень ушкодження біоіндикаторів за тестами «Стерильність пилку фітоіндикаторів», «Мітотичний індекс» і «Частота аберантних хромосом» відповідно.

Аналіз даних табл. 4.1 свідчить про те, що умовний показник ушкодженості, який характеризує токсичність атмосферного повітря, змінюється від 0,105 до 0,648 у.о. Це вказує на те, що на дослідженій території екологічний стан атмосфери змінюється від «еталонного» на території курорту «Солоний Лиман» до «незадовільного» у містах Нікополь і Павлоград та «катастрофічного» у містах Жовті Води і Вільногірськ. Слід відмітити, що у промислових центрах області спостерігається збільшення токсичності атмосферного повітря у промислових зонах у порівнянні з селітебними. У цілому, токсичність атмосферного повітря на території гірничопромислових міст Дніпропетровської області у 3,6–6,1 рази більше, ніж у рекреаційній зоні курорту «Солоний лиман».

Умовний показник ушкодженості, який характеризує токсичність ґрунтів змінюється від 0,036 до 0,743 у.о. Це вказує на те, що на дослідженій території, екологічний стан ґрунтів змінюється від «еталонного» на території курорту «Солоний Лиман» до «незадовільного» у містах Нікополь і Павлоград та

«катастрофічного» у містах Жовті Води і Вільногірськ. Слід відмітити, що у промислових центрах області спостерігається збільшення токсичності ґрунтів у промислових зонах у порівнянні з селітебними. Виключенням є м. Жовті Води, де виявлена однакова токсичність ґрунтів як у промисловій, так і у селітебній зонах. У цілому токсичність ґрунтів на територіях промислових міст Дніпропетровської області у 13,3–20,6 рази більше ніж у рекреаційній зоні курорту «Солоний лиман».

Що стосується мутагенності ґрунтів, то на території м. Жовті Води за цією ознакою відмічено «катастрофічний» стан як у промисловій, так і у селітебній зонах. У м. Павлоград на території промзони стан ґрунтів – «катастрофічний», а у селітебній – «незадовільний». На території м. Нікополь спостерігається приблизно однаковий «незадовільний» стан ґрунтів, за виключенням району Південного трубного заводу, де стан ґрунтів – «задовільний». У м. Вільногірськ на території промзони стан ґрунтів оцінюється як «катастрофічний», у селітебній зоні – «незадовільний». Що стосується контрольної території, то тут відмічено «задовільний» стан ґрунтів у сільськогосподарській зоні та «еталонний» у рекреаційній. Мутагенність ґрунтів у містах Жовті Води, Вільногірськ, Нікополь та Павлоград у 2,1–7,5 рази вище, ніж на території курорту «Солоний Лиман».

4.3 Оцінка ступеня забрудненості ґрунтів важкими металами

Основним критерієм гігієнічної оцінки забрудненості ґрунтів хімічними речовинами є гранично допустимі концентрації (ГДК), або орієнтовно допустима концентрація (ОДК) хімічних речовин у ґрунті [16].

Оцінка ступеня небезпеки забруднення ґрунту хімічними речовинами проводиться за кожною речовиною з урахуванням загальних закономірностей: фактичний вміст компонентів забруднення ґрунту, перевищення над ГДК, коефіцієнт $K_o = C/\text{ГДК}$, персистентність, розчинність у воді і рухомість у ґрунті і глибина забрудненого шару контрольованою речовиною й ін [17].

Для одержання об'єктивної інформації про розподіл і міграцію токсикантів, зокрема ВМ, у таких природних системах, як «ґрунт-рослина», «рослина-людина» необхідно визначати вміст у ґрунті рухомих форм ВМ, тобто всі форми елементів, що переходять у водну та сольову витяжку [18, 19]. Це пов'язано з тим, що саме рухомі форми забезпечують доставку металів з депонуючого середовища, яким є ґрунт, у суміжні середовища.

Гранично допустимі концентрації хімічних речовин у ґрунті встановлюються з урахуванням найменшого з чотирьох основних показників шкідливості, котрі визначаються експериментально (транслокаційний – характеризує перехід шкідливої речовини із ґрунту до рослини, міграційний водний – характеризує здатність переходу речовини із ґрунту в ґрунтові води та водні джерела, міграційний повітряний показник шкідливості характеризує перехід речовини із ґрунту в атмосферне повітря, загальносанітарний показник шкідливості – характеризує вплив забруднюючої речовини на самоочисну

властивість ґрунтів і біологічну активність) [20]. Враховуючи клас небезпеки хімічного елемента, його ГДК і максимальне значення допустимого рівня вмісту елемента (K_{max}), тобто максимальне значення з чотирьох показників шкідливості, визначали ступінь забруднення ґрунтів за одним хімічним елементом (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Критерій оцінки ступеня забруднення ґрунтів неорганічними речовинами [21]

Вміст у ґрунтах, мг/кг	Категорія забрудненості ґрунтів		
	1 клас	2 клас	3 клас
Клас небезпеки речовини			
$> K_{max}$	дуже сильна	дуже сильна	сильна
Від ГДК до K_{max}	дуже сильна	сильна	середня
Від 2-х фонових значень до ГДК	слабка	слабка	слабка

Рівень забруднення ґрунтів характеризується величиною коефіцієнта концентрації K_{C_i} , який знаходили за формулою:

$$K_{C_i} = \frac{C_i}{C_\phi}, \quad (4.1)$$

де C_i – концентрація рухомої форми ВМ у ґрунті, мг/кг; C_ϕ – фонові концентрації рухомої форми важкого металу в ґрунті, мг/кг.

При поліелементному забрудненні для оцінки забруднення територій розраховували сумарний показник забруднення, котрий являє собою адитивну суму перевищень коефіцієнтів концентрацій одного хімічного елемента над фоновим рівнем:

$$Z_c = \sum_1^n K_{C_i} - (n-1) \quad (4.2)$$

де K_c – коефіцієнт концентрації елемента; n – кількість елементів. Для характеристики рівня небезпеки забруднених територій для здоров'я населення, використовували шкалу, наведено у табл. 4.3 [21].

Таблиця 4.3 – Орієнтовна оціночна шкала небезпеки забрудненості ґрунтів за показником Z_c

Категорія забрудненості ґрунтів	Величина Z_c	Зміна показників здоров'я населення біля джерела забруднення
Допустима	Менше 16	Найбільш низький рівень захворюваності дітей і мінімальна частота зустрічаємості функціональних відхилень
Помірно небезпечна	16-32	Збільшення загальної захворюваності
Небезпечна	32-128	Збільшення загальної захворюваності, кількості дітей, які часто хворіють, з хронічними захворюваннями, порушення функціонального стану серцево-судинної системи
Надзвичайно небезпечна	Більше 128	Збільшення захворюваності дитячого населення, порушення репродуктивної функції жінок (збільшення токсикозів вагітності, кількості передчасних пологів, мертвонароджуваності, гіпотрофії новонароджених)

Вміст важких металів у рухомій формі в ґрунтах визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі «Сатурн» в лабораторії геоєкології НДІ геології Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара з використанням ацетатно-амонійного буферного розчину. Для хімічного аналізу використовували зразки ґрунту, на яких за допомогою біотестів визначали токсичність і мутагенність ґрунтів. Проводили хімічний аналіз 36 зразків ґрунту, відібраного на 10 тест-полігонах міст Жовті Води, Нікополь, Вільногірськ і Павлоград і 11 проб на двох тест-полігонах ЛОК «Солоний лиман».

Результати хімічного аналізу вмісту ВМ у пробах ґрунту наведено в табл.4.4, аналіз якої вказує на різноманітну концентрацію ВМ у досліджуваних пробах, що пояснюється наявністю специфічних видів виробництва, які притаманні для кожного з досліджуваних промислових центрів.

Таблиця 4.4 – Вміст важких металів в пробах ґрунту, відібраного в різних гірничопромислових містах Дніпропетровської області

№ проби	Тест-полігон	Концентрація, мг/кг (рухомі форми)							
		Mn	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Co	Cd
1	Район Південного трубного заводу м. Нікополь	175,0±	60,0±	26,5±	1,8±	1,4±	2,2±	0,4±	0,02±
		5,0	2,0	1,0	0,1	0,1	0,05	0,03	0,01
2	Район Нікопольського феросплавного заводу	350,0±	40,0±	20,0±	2,6±	1,4±	1,5±	0,4±	0,02±
		5,0	2,0	1,0	0,06	0,1	0,10	0,03	0,01
3	Центр м. Нікополь	213,0±	75,0±	25,0±	2,0±	0,9±	0,8±	0,4±	0,02±
		2,12	1,15	0,91	0,09	0,04	0,07	0,02	0,01

4	Район с.Новопавлівка та с. Лапінка, м. Нікополь	313,0± 1,87	25,0± 1,14	30,0± 1,05	2,0± 0,07	1,4± 0,09	1,2± 0,09	0,4± 0,02	0,02± 0,01
5	Селітебна зона м. Жовті Води	150,0± 3,87	90,0± 1,53	10,0± 0,97	2,0± 0,12	1,4± 0,12	2,4± 0,10	1,0± 0,05	0,3± 0,02
6	Промислова зона м. Жовті Води	200,0± 4,56	90,0± 1,22	52,5± 0,87	3,2± 0,06	5,0± 0,09	4,0± 0,09	0,5± 0,02	0,5± 0,04
7	Селітебна зона м. Вільногірськ	220,0± 8,46	35,0± 1,73	11,0± 0,91	3,8± 0,09	2,0± 0,04	2,4± 0,04	0,8± 0,04	0,02± 0,01
8	Промислова зона м. Вільногірськ	100,0± 5,0	50,0± 2,00	22,0± 1,0	3,8± 0,10	2,8± 0,1	2,2± 0,05	0,8± 0,04	2,0± 0,1
9	Селітебна зона м. Павлоград	75,0± 1,47	26,0± 1,47	13,5± 0,18	1,6± 0,09	1,4± 0,09	1,0± 0,09	0,4± 0,03	0,4± 0,03
10	Промислова зона м. Павлоград	62,5± 0,88	31,0± 0,58	6,5± 0,17	2,6± 0,17	2,0± 0,1	1,3± 0,06	0,8± 0,04	0,4± 0,04
11	Рекреаційна зона курорту Солоний лиман	70,0± 2,89	20,0± 0,93	3,5± 0,08	0,6± 0,04	0,8± 0,02	1,3± 0,04	0,5± 0,04	0,02± 0,01
12	Сільськогосподарська зона курорту «Солоний лиман»	90,0± 3,62	25,0± 1,22	5,5± 0,28	0,6± 0,04	1,0± 0,07	1,3± 0,03	0,4± 0,03	0,03± 0,01
	ГДК	140,0	-	23,0	6,0	3,0	4,0	5,0	-
	Клас небезпеки	3	1	1	2	2	2	2	1
	<i>K_{max}</i>	1860	260	200	6	72	14	100 0	-

Для оцінки ступеня забруднення ґрунтів ВМ проводилося порівняння фактичних концентрацій металів у досліджуваних зразках з ГДК (табл. 4.5). Аналіз отриманих даних вказує на те, що на території м. Жовті Води спостерігається перевищення концентрації цинку над ГДК у 2,28, марганцю – у 1,43, а також хрому – у 1,67 рази. У м. Нікополь відмічено перевищення вмісту цинку над ГДК у 1,30 рази та марганцю – у 2,5 рази. Необхідно відмітити, що в селітебній зоні м. Вільногірськ виявлено перевищення вмісту марганцю у ґрунті над ГДК у 1,6 раз.

Таблиця 4.5 – Відхилення від ГДК вмісту важких металів в досліджуваних пробах ґрунту

Метали	№ тест-полігону											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C _{Mn}	1,25	2,5	1,52	2,24	1,07	1,43	1,57	0,71	0,54	0,45	0,5	0,64
C _{Zn}	1,15	0,87	1,09	1,30	0,43	2,28	0,48	0,96	0,59	0,28	0,15	0,24
C _{Cr}	0,30	0,43	0,33	0,33	0,33	0,53	0,63	0,63	0,27	0,43	0,10	0,10
C _{Cu}	0,47	0,47	0,3	0,47	0,47	1,67	0,67	0,93	0,47	0,67	0,27	0,33
C _{Ni}	0,55	0,38	0,2	0,38	0,6	1,0	0,6	0,55	0,25	0,33	0,33	0,33
C _{Co}	0,08	0,08	0,08	0,08	0,2	0,1	0,16	0,16	0,08	0,16	0,10	0,08

Результати розрахунків ступеня забруднення ґрунтів за одним хімічним елементом з урахуванням чотирьох показників шкідливості наведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Ступінь забруднення досліджуваних ґрунтів важкими металами

Метали	№ тест-полігону											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mn	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ
Zn	ДС	СЛ	ДС	ДС	СЛ	ДС	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ
Cr	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ
Cu	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	С	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ
Ni	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ
Co	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ	СЛ

Примітка. Ступінь забруднення ґрунтів: СЛ – слабкий; СР – середній; С – сильний; ДС – дуже сильний.

За отриманими даними виявили середній рівень забруднення ґрунтів марганцем у містах Жовті Води, Нікополь і селітебній зоні м. Вільногірськ. У містах Нікополь та Жовті Води ґрунти надмірно забрудненні цинком, а крім того, промислова зона м. Жовті Води – міддю.

Так, на території м. Нікополя пріоритетними металами є марганець, цинк. У м. Жовті Води відмічено найбільший вміст марганцю, цинку, нікелю та міді. Для м. Павлоград пріоритетними ВМ є цинк та хром. У м. Вільногірськ – хром, кадмій і нікель. На контрольній території підвищеного вмісту ВМ не відмічено.

Оскільки вміст ВМ у досліджуваних пробах ґрунту має незначне перевищення над ГДК, для визначення рівня забрудненості ґрунтів ВМ було проведено зіставлення концентрацій металів з умовно фоновими концентраціями (в якості яких використовували дані, отримані на території ЛОК «Солоний Лиман», оскільки дана територія зазнає мінімального техногенного навантаження, крім того, найближче промислове підприємство розташоване на відстані не менше 20 км) (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Співвідношення вмісту важких металів у досліджуваних пробах ґрунту до контролю

№ полігону	Mn	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Co	Cd
1	2,21	2,69	6,01	3,00	1,57	1,69	0,08	0,8
2	4,43	1,80	4,54	4,33	1,56	1,15	0,08	0,8
3	2,69	3,37	5,67	3,33	1,01	0,62	0,08	0,8
4	3,96	1,12	6,80	3,33	1,57	0,92	0,08	0,8
5	1,90	4,04	2,27	3,33	1,57	1,85	0,2	12
6	2,53	4,04	11,90	5,33	5,62	3,08	0,1	20
7	2,78	1,57	2,49	6,33	2,25	1,85	0,16	0,8
8	1,26	2,25	4,99	6,33	3,15	1,69	0,16	80
9	0,95	1,17	3,06	2,67	1,57	0,77	0,08	16
10	0,79	1,39	1,47	4,33	2,25	1,00	0,16	16
11	0,89	0,90	0,79	1,00	0,90	1,00	0,1	0,8
12	1,14	1,12	1,25	1,00	1,12	1,00	0,08	1,2

Наведені в табл. 4.7 дані вказують на те, що на території промислових центрів відмічається перевищення концентрацій ВМ над фоновими в 80 разів, а

найбільше перевищення спостерігається за вмістом кадмію у пробах ґрунту, відібраних на території промислової зони м. Вільногірськ, а на території мм. Жовті Води та Павлограда – у 16 – 20 разів. Слід звернути увагу на те, що даний метал відноситься до класу дуже небезпечних металів, крім того, у даних містах також спостерігається значне перевищення над фоновою концентрацією вмісту у ґрунтах свинцю, цинку, хрому, міді, нікелю, котрі теж є небезпечними хімічними елементами. Перевищення концентрації менш небезпечного металу – марганцю – у 1,14 – 4,43 рази над фоновою відмічено на всіх досліджуваних територіях, крім м. Павлоград. Необхідно відзначити, що перевищення концентрації кобальту у пробах ґрунту не відмічається як при порівнянні з ГДК, так і з фоновою концентрацією.

Необхідно врахувати, що геохімічний фон є регіональною або локальною характеристикою ґрунтів, а забрудненість ґрунтів визначається наявністю геохімічною аномалії на даній території, тому для ранжування територій необхідно провести порівняльну характеристику вмісту рухомої форми ВМ у ґрунті з фоновою регіональною концентрацією [22]. Для цього використовували новий розрахунково-графічний метод визначення регіонального і локального геохімічних фонів, який відрізняється від багатьох існуючих методів варіаційної статистики простотою застосування при масових техногеохімічних дослідженнях територій.

Розрахунки фонового вмісту окремих елементів у різних об'єктах навколишнього середовища виконували шляхом групування вмісту елементів за їх характерними інтервалами (в нашому випадку – шість інтервалів). У кожному інтервалі враховувався середній вміст \bar{x} у своїй групі. Фоновий вміст C_f – характеризує не менше 2/3 проб з мінімальним вмістом. Фон розраховувався як сума середнього вмісту елемента, не менше як у 2/3 проб, поділена на кількість цих проб [23]. Результати розрахунків наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Фонова концентрація рухомих форм важких металів у ґрунті C_f , мг/кг

Mn	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Co	Cd
62,62	15,12	5,9	0,94	0,84	1,15	0,2	0,08

Для оцінки забрудненості ґрунтів ВМ були розраховані коефіцієнти забруднення ґрунтів хімічними речовинами (K_c) (табл. 4.9), за допомогою порівняння фактичних значень концентрацій рухомих форм ВМ у ґрунтах до фонових. Розрахувавши K_c з'ясувалося, що забруднення є поліелементним, і для оцінки забруднення ґрунтів розраховали сумарний показник забруднення (Z_c) (табл. 4.10).

Таблиця 4.9 – Коефіцієнт забруднення ґрунтів важкими металами, K_c

№ полігону	K_{cMn}	K_{cPb}	K_{cZn}	K_{cCr}	K_{cCu}	K_{cNi}	K_{cCo}	K_{cCd}
1	2,79	3,97	4,49	1,91	1,67	1,91	2,00	0,25
2	5,59	2,65	3,39	2,77	1,67	1,30	2,00	0,25
3	3,39	4,96	4,24	2,13	1,07	0,70	2,00	0,25
4	4,99	1,65	5,08	1,06	1,67	1,04	2,00	0,25
5	2,40	5,95	1,69	2,13	1,67	2,09	5,00	3,75
6	3,19	5,95	8,90	3,40	5,95	3,48	2,50	6,25
7	3,51	2,31	1,86	4,04	2,38	2,09	4,00	0,25
8	1,60	3,31	3,73	4,04	3,33	1,91	4,00	25,00
9	1,20	1,72	2,29	1,70	1,67	0,87	2,00	5,00
10	1,00	2,05	1,10	2,77	2,38	1,13	4,00	5,00
11	1,12	1,32	0,59	0,64	0,95	1,13	2,50	0,25
12	1,44	1,65	0,93	0,64	1,19	1,13	2,00	0,38

Аналіз даних табл. 4.10 показує, що небезпечними для здоров'я населення є ґрунти на територіях промислових зон міст Вільногірськ і Жовті Води, бо значення коефіцієнта Z_c перевищує величину 32. Також можна стверджувати, що на території ЛОК «Солоний Лиман» ґрунти піддаються найменшому впливу антропогенної діяльності, тому що мають величину коефіцієнта $Z_c=1,5$, отже загроза для здоров'я населення відсутня. Відповідно до результатів фізико-хімічного аналізу можна виділити території з «помірно небезпечним» забрудненням ґрунтів – селітебна зона м. Жовті Води, і «допустимим» – інші досліджувані території. Слід відмітити, що на території промислових центрів спостерігається перевищення коефіцієнта Z_c у 6,3 – 26 разів у порівнянні з контрольною територією.

Таблиця 4.10 – Ранжування гірничопромислових міст Дніпропетровської області за рівнем небезпеки для здоров'я населення

	№ тест-полігону											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Z_c	12,0	12,6	11,7	10,8	17,7	32,6	13,4	39,9	9,4	12,4	1,5	2,4
РНТ	Д	Д	Д	Д	ПН	Н	Д	Н	Д	Д	Д	Д

Примітка. Категорія забруднення ґрунтів (Д – допустима; ПН – помірно небезпечна; Н – небезпечна).

На територіях тест-полігонів (промислові зони міст Жовті Води та Вільногірськ), де виявлено небезпечний для здоров'я рівень забруднення ґрунтів рухомими формами ВМ, коефіцієнт сумачії Z_c змінюється від 32,63–39,92, а рівень ушкодження біоіндикаторів ($УІІУ$) змінюється від 0,617–0,895, що вказує на «критичний» і «небезпечний» стан біоіндикаторів і відповідно «катастрофічний» стан ґрунтів за токсико-мутагенною активністю, і, навпаки, на контрольній території $Z_c=1,5$ (допустимий рівень забруднення ґрунтів) і

УПУ=0,036–0,120, що вказує на «сприятливий» стан біоіндикаторів і «еталонний» стан ґрунтів. Таким чином, на територіях з інтенсивним розвитком гірничої промисловості відмічається збільшення коефіцієнта сумації забруднення ґрунтів ВМ, що в свою чергу віддзеркалюється в підвищенні рівня ушкодженості біоіндикаторів і вказує на підвищення токсичності та мутагенності досліджуваних об'єктів довкілля.

4.4 Обґрунтування можливості використання методів біоіндикації для оцінки рівнів забрудненості ґрунтів важкими металами

У результаті аналізу отриманих експериментальних даних з'ясувалося, що досліджувані ґрунти мають однаковий екологічний стан за результатами фізико-хімічного методу і методів біоіндикації. Тому виникла необхідність проведення статистичного аналізу даних фізико-хімічного та біоіндикаційних методів екологічної оцінки ґрунтів.

Для обґрунтування можливості використання цитогенетичних методів біоіндикації для кількісної оцінки ступеня забрудненості ґрунтів рухомими формами ВМ необхідно встановити залежності зміни ушкодженості біоіндикаторів від рівня забрудненості досліджуваних територій ВМ.

4.4.1 Кореляційний аналіз вмісту рухомих форм важких металів у ґрунтах і рівнів ушкодженості біоіндикаторів

Для оцінки рівня впливу ВМ на стан біоіндикаторів був проведений множинний кореляційно-регресійний аналіз. Було обчислено парний і множинний коефіцієнти кореляції у відповідності з традиційними математичними методами статистики. Результати розрахунків наведено в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Коефіцієнти парної кореляції між вмістом важких металів у ґрунті та рівнем ушкодженості біоіндикаторів

	C _{Mn}	C _{Pb}	C _{Zn}	C _{Cr}	C _{Cu}	C _{Ni}	C _{Co}	C _{Cd}	УПУ ₁	УПУ ₂	УПУ ₃
C _{Mn}	1	0,173	0,490	0,166	0,046	0,102	-0,288	-0,340	0,271	0,388	0,257
C _{Pb}	0,173	1	0,566	0,375	0,468	0,621	0,274	0,148	0,595	0,566	0,494
C _{Zn}	0,490	0,566	1	0,325	0,715	0,591	-0,309	0,153	0,596	0,528	0,496
C _{Cr}	0,166	0,375	0,325	1	0,644	0,570	0,522	0,543	0,773	0,699	0,772
C _{Cu}	0,046	0,468	0,715	0,644	1	0,846	0,201	0,470	0,632	0,509	0,692
C _{Ni}	0,102	0,621	0,591	0,570	0,846	1	0,341	0,275	0,411	0,476	0,511
C _{Co}	-0,288	0,274	-0,309	0,522	0,201	0,341	1	0,424	0,266	0,435	0,512
C _{Cd}	-0,340	0,148	0,153	0,543	0,470	0,275	0,424	1	0,500	0,354	0,639
УПУ ₁	0,271	0,595	0,596	0,773	0,632	0,411	0,266	0,500	1	0,844	0,852
УПУ ₂	0,388	0,566	0,528	0,699	0,509	0,476	0,435	0,354	0,844	1	0,788
УПУ ₃	0,257	0,494	0,496	0,772	0,692	0,511	0,512	0,639	0,852	0,788	1

Наведені дані свідчать про наявність суттєвої кореляції між вмістом рухомих форм ВМ (а саме: *Pb*, *Zn*, *Cr*, *Cu*, *Cd*) у ґрунті та показниками біоіндикації, розрахованими за тестом «Стерильність пилку фітоіндикаторів», оскільки коефіцієнти кореляції $R_{xy} > 0,5$. Середній кореляційний зв'язок відмічено і між показниками біоіндикації за тестом «Мітотичний індекс» та концентраціями рухомих форм ВМ *Pb*, *Zn*, *Cr*, *Cu* у ґрунті на досліджуваних територіях. Між показниками біоіндикації, розрахованими за тестом «Частота аберантних хромосом», і концентраціями рухомих форм ВМ (*Cr*, *Cu*, *Ni*, *Co*, *Cd*) у пробах ґрунтів також відмічено середній і сильний кореляційний зв'язок.

Крім індивідуальної токсичності ВМ, має місце ефект сумачії біологічної дії – збільшення ефекту одного виду дії за наявності іншої, тобто збільшення ефекту сумісної дії одного з чинників. Тому одночасно з аналізом двомірних сукупностей було застосовано статистичний аналіз багатомірних кореляційних зв'язків (табл. 4.12 – 4.14).

Таблиця 4.12 – Коефіцієнти множинної кореляції між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та рівнем ушкодження біоіндикаторів за тестом «Стерильність пилку фітоіндикаторів»

	C_{Mn}	C_{Pb}	C_{Zn}	C_{Cr}	C_{Cu}	C_{Ni}	C_{Co}	C_{Cd}
C_{Mn}	1	0,619*	0,596*	0,786**	0,677*	0,471	0,450	0,686*
C_{Pb}	0,619*	1	0,673*	0,840**	0,717**	0,597	0,604*	0,726*
C_{Zn}	0,596*	0,673*	1	0,854***	0,665*	0,600	0,761**	0,726*
C_{Cr}	0,786**	0,840**	0,854***	1	0,792**	0,774**	0,789**	0,779**
C_{Cu}	0,677*	0,717**	0,665*	0,792**	1	0,673*	0,647*	0,672*
C_{Ni}	0,471	0,597	0,600	0,774**	0,673*	1	0,433	0,518
C_{Co}	0,450	0,604*	0,761**	0,789**	0,647*	0,433	1	0,454
C_{Cd}	0,686*	0,726*	0,726*	0,779**	0,672*	0,518	0,454	1

Примітки: у цій та табл. 4.13 і 4.14 вірогідність помилки: 1. * – $p < 0,05$; 2. ** – $p < 0,01$; 3. *** – $p < 0,001$

Таблиця 4.13 – Коефіцієнти множинної кореляції між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та рівнем ушкодження біоіндикаторів за тестом «Мітотичний індекс»

	C_{Mn}	C_{Pb}	C_{Zn}	C_{Cr}	C_{Cu}	C_{Ni}	C_{Co}	C_{Cd}
C_{Mn}	1	0,638*	0,549*	0,752**	0,626*	0,586	0,691*	0,646*
C_{Pb}	0,638*	1	0,620*	0,772**	0,630*	0,588	0,637*	0,629*
C_{Zn}	0,549	0,620*	1	0,768**	0,560	0,566	0,821*	0,596
C_{Cr}	0,752**	0,772**	0,768**	1	0,703*	0,705*	0,704*	0,700*
C_{Cu}	0,626*	0,630*	0,560	0,703*	1	0,516	0,612*	0,525
C_{Ni}	0,586	0,588	0,566	0,705*	0,516	1	0,557	0,529
C_{Co}	0,691*	0,637*	0,821**	0,704*	0,612*	0,557	1	0,473
C_{Cd}	0,646*	0,629*	0,596	0,700*	0,525	0,529	0,473	1

Таблиця 4.14 – Коефіцієнти множинної кореляції між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та рівнем ушкодженості біоіндикаторів за тестом «Частота аберантних хромосом»

	C _{Mn}	C _{Pb}	C _{Zn}	C _{Cr}	C _{Cu}	C _{Ni}	C _{Co}	C _{Cd}
C _{Mn}	1	0,524	0,496	0,783**	0,728*	0,551	0,664*	0,814*
C _{Pb}	0,524	1	0,559	0,803**	0,718**	0,559	0,630*	0,756*
C _{Zn}	0,496	0,559	1	0,814**	0,692**	0,565	0,857***	0,755*
C _{Cr}	0,783**	0,803**	0,814**	1	0,813**	0,777**	0,783**	0,815*
C _{Cu}	0,728*	0,718**	0,692*	0,813**	1	0,706*	0,790**	0,778*
C _{Ni}	0,551	0,559	0,565	0,777**	0,706*	1	0,625*	0,728*
C _{Co}	0,664*	0,630*	0,857***	0,783**	0,790**	0,625*	1	0,692*
C _{Cd}	0,814**	0,756**	0,755**	0,815**	0,778**	0,728*	0,692*	1

Обчислені коефіцієнти множинної кореляції вказують на те, що зв'язок є прямим у всіх випадках, тобто: це є підтвердженням того, що при збільшенні вмісту у ґрунті рухомих форм ВМ умовний показник ушкодженості біоіндикаторів збільшується, а значить – погіршується стан фітоіндикаторів.

4.4.2 Побудова моделей прямолінійної регресії між відгуками біоіндикаторів та вмістом у ґрунті рухомих форм важких металів

Після того, як було визначено, що між вмістом у ґрунті рухомих форм ВМ і відгуками біоіндикаторів існує середній, сильний і дуже сильний зв'язок, виникає потреба у знаходженні ліній регресії різного характеру.

Моделі двофакторної лінійної регресії. Лінійне рівняння регресії, що описує залежність між вмістом у ґрунті двох рухомих форм ВМ і параметрами біоіндикації матиме вигляд:

$$УПУ_i = b_0 + b_1 \cdot C_{Me1} + b_2 \cdot C_{Me2}, \quad (4.3)$$

де $УПУ_i$ – відповідні умовні показники ушкодженості, розраховані за тестами «Стерильність пилку фітоіндикаторів», «Мітотичний індекс» і «Частота аберантних хромосом», у.о.;

b_0 – вільний член рівняння;

b_1 і b_2 – параметри рівняння;

C_{Me1} і C_{Me2} – вміст у ґрунті рухомих форм відповідно першого та другого ВМ, мг/кг.

Для знаходження параметрів даного рівняння використовували метод найменших квадратів. Тісноту зв'язку між результативною ознакою та сукупністю факторних ознак визначали за допомогою сукупного коефіцієнта кореляції:

$$R_{УПУ C_{Me1} C_{Me2}} = \sqrt{\frac{\sigma_{УПУ C_{Me1} C_{Me2}}^2}{\sigma_{УПУ}^2}}, \quad (4.4)$$

$$\sigma_{УПУ C_{Me1} C_{Me2}} = \frac{1}{n} (b_0 \sum УПУ_i + b_1 \sum C_{Me1} УПУ_i + b_2 \sum C_{Me2} УПУ_i) - УПУ_i^2 \quad (4.5)$$

$$\sigma_{УПУ}^2 = \frac{\sum УПУ_i^2}{n} - \left(\frac{\sum УПУ_i}{n} \right)^2 \quad (4.6)$$

Ступінь впливу факторів на результативну ознаку вимірювали за допомогою коефіцієнта детермінації (R^2), що характеризує частку варіації результативної ознаки, яка лінійно пов'язана з варіацією включених у рівняння регресії факторних ознак $R^2 = (R)^2$.

У результаті математичного аналізу було отримано рівняння лінійних регресій і встановлені відповідні коефіцієнти кореляції і детермінації. Нижче приведено рівняння лінійних регресій, котрі мають середній і сильний зв'язок за коефіцієнтом детермінації. Аналіз наведених у табл. 4.15 – 4.17 регресійних рівнянь виявив, що поява стерильного пилку в рослин залежить від наявності у ґрунті вмісту рухомих форм ВМ (Cr , Co , Cd), оскільки коефіцієнт детермінації у відповідних залежностях досягає величини, більшої за 60%. При взаємодії Cr , Co , Cd з іншими ВМ збільшується ймовірність появи стерильного пилку. Така ж сама ситуація спостерігається і з появою аберантних хромосом у меристематичних клітинах фітоіндикаторів, але до вказаного переліку додається ще й мідь. У випадку впливу ВМ на величину мітотичного індексу не відмічається сильного зв'язку. Таким чином, можна стверджувати, що досліджуваним металам більш притаманна мутагенна дія на живі компоненти навколишнього середовища у порівнянні з токсичним впливом.

Таблиця 4.15 – Моделі множинної лінійної регресії між показниками біоіндикації, розрахованими за тестом «Стерильність пилку фітоіндикаторів» ($УПУ_i$), і вмістом у ґрунті рухомих форм ВМ (C_{Me1} , C_{Me2})

Модель двофакторної лінійної регресії	Коефіцієнт множинної кореляції (R)	Коефіцієнт детермінації (D), %	Критерій Фішера	Рівень вірогідності, (P)
$УПУ_i = 0,169 + 0,0002C_{Mn} + 0,108C_{Cr}$	0,786	61,8	3,819	<0,01
$УПУ_i = 0,217 + 0,0004C_{Mn} + 0,086C_{Cu}$	0,677	45,8	2,756	<0,05
$УПУ_i = 0,24 + 0,001C_{Mn} + 0,19C_{Cd}$	0,686	47,0	2,827	<0,05
$УПУ_i = 0,245 + 0,002C_{Pb} + 0,004C_{Zn}$	0,673	45,3	2,728	<0,05
$УПУ_i = 0,139 + 0,002C_{Pb} + 0,092C_{Cr}$	0,840	70,5	4,642	<0,01
$УПУ_i = 0,215 + 0,002C_{Pb} + 0,063C_{Cu}$	0,717	51,3	3,082	<0,01
$УПУ_i = 0,228 + 0,004C_{Pb} + 0,082C_{Co}$	0,604	36,5	2,275	<0,05
$УПУ_i = 0,246 + 0,003C_{Pb} + 0,12C_{Cd}$	0,726	52,8	3,171	<0,05
$УПУ_i = 0,157 + 0,004C_{Zn} + 0,093C_{Cr}$	0,854	73,0	4,934	<0,001
$УПУ_i = 0,271 + 0,003C_{Zn} + 0,058C_{Cu}$	0,665	44,2	2,668	<0,05
$УПУ_i = 0,071 + 0,009C_{Zn} + 0,364C_{Co}$	0,761	57,9	3,520	<0,01
$УПУ_i = 0,287 + 0,006C_{Zn} + 0,119C_{Cd}$	0,726	52,7	3,163	<0,05
$УПУ_i = 0,191 + 0,09C_{Cr} + 0,032C_{Cu}$	0,792	62,8	3,897	<0,01
$УПУ_i = 0,209 + 0,115C_{Cr} - 0,008C_{Ni}$	0,774	59,9	3,665	<0,01

$УПУ_1=0,25+0,125C_{Cr}-0,137C_{Co}$	0,789	62,3	3,858	<0,01
$УПУ_1=0,211+0,032C_{Cr}+0,102C_{Cd}$	0,779	60,7	3,726	<0,01
$УПУ_1=0,332+0,139C_{Cu}-0,078C_{Ni}$	0,673	45,3	2,728	<0,05
$УПУ_1=0,23+0,084C_{Cu}+0,106C_{Co}$	0,647	41,9	2,549	<0,05
$УПУ_1=0,29+0,071C_{Cu}+0,074C_{Cd}$	0,672	45,2	2,726	<0,05

Примітка. Наведені в табл. 4.15 – 4.17 регресійні рівняння є адекватними згідно критерію Фішера.

Слід відзначити, що між умовним показником ушкодженості, розрахованим за тестом «Мітотичний індекс», і вмістом у ґрунті цинку та хрому відмічено сильний зв'язок, такий же, як між умовним показником ушкодженості, розрахованим за тестом «Частота аберантних хромосом», і вмістом у ґрунті цинку та кобальту. Крім того, якщо відома концентрація одного з металів, можна розрахувати вміст іншого металу у ґрунті, або, знаючи концентрацію двох металів, можна оцінити рівень ушкодженості індикаторів.

Таблиця 4.16 – Моделі множинної лінійної регресії між показниками біоіндикації, розрахованими за тестом «Мітотичний індекс» ($УПУ_2$), і вмістом у ґрунті рухомих форм важких металів (C_{Me1} , C_{Me2})

Модель двофакторної лінійної регресії	Коефіцієнт множинної кореляції (R)	Коефіцієнт детермінації (D), %	Критерій Фішера	Рівень вірогідності (P)
$УПУ_2=0,229+0,001C_{Mn}+0,003C_{Pb}$	0,638	40,7	2,488	<0,05
$УПУ_2=0,286+0,0004C_{Mn}+0,009C_{Zn}$	0,549	30,1	1,968	-
$УПУ_2=0,096+0,0007C_{Mn}+0,138C_{Cr}$	0,752	56,6	3,421	<0,01
$УПУ_2=0,166+0,0009C_{Mn}+0,106C_{Cu}$	0,626	39,2	2,410	<0,05
$УПУ_2=0,19+0,0009C_{Mn}+0,095C_{Ni}$	0,586	34,3	2,167	-
$УПУ_2=0,078+0,001C_{Mn}+0,395C_{Co}$	0,691	47,7	2,867	<0,05
$УПУ_2=0,197+0,001C_{Mn}+0,23C_{Cd}$	0,646	41,7	2,539	<0,05
$УПУ_2=0,305+0,001C_{Pb}+0,009C_{Zn}$	0,620	38,4	2,369	<0,05
$УПУ_2=0,159+0,001C_{Pb}+0,137C_{Cr}$	0,772	59,6	3,646	<0,01
$УПУ_2=0,272+0,002C_{Pb}+0,093C_{Cu}$	0,630	39,7	2,432	<0,05
$УПУ_2=0,293+0,002C_{Pb}+0,069C_{Ni}$	0,588	34,6	2,180	-
$УПУ_2=0,285+0,003C_{Pb}+0,135C_{Co}$	0,637	40,6	2,478	<0,05
$УПУ_2=0,326+0,003C_{Pb}+0,125C_{Cd}$	0,629	39,6	2,425	<0,05
$УПУ_2=0,126+0,007C_{Zn}+0,121C_{Cr}$	0,768	59,0	3,598	<0,01
$УПУ_2=0,292+0,007C_{Zn}+0,049C_{Cu}$	0,560	31,4	2,030	-
$УПУ_2=0,302+0,009C_{Zn}+0,021C_{Ni}$	0,566	32,0	2,058	-
$УПУ_2=0,01+0,012C_{Zn}+0,478C_{Co}$	0,821	67,4	4,316	<0,01
$УПУ_2=0,303+0,009C_{Zn}+0,11C_{Cd}$	0,596	35,5	2,226	-
$УПУ_2=0,185+0,129C_{Cr}+0,03C_{Cu}$	0,703	49,4	2,968	<0,05
$УПУ_2=0,196+0,149C_{Cr}-0,001C_{Ni}$	0,705	49,7	2,986	<0,05
$УПУ_2=0,27+0,17C_{Cr}-0,213C_{Co}$	0,704	49,6	2,974	<0,05
$УПУ_2=0,191-0,018C_{Cr}+0,153C_{Cd}$	0,700	49,0	2,940	<0,05
$УПУ_2=0,349+0,144C_{Cu}-0,052C_{Ni}$	0,516	26,6	1,805	-
$УПУ_2=0,253+0,105C_{Cu}+0,127C_{Co}$	0,612	37,5	2,319	<0,05
$УПУ_2=0,321+0,097C_{Cu}+0,053C_{Cd}$	0,525	27,6	1,850	-

$УПУ_2=0,28+0,096C_{Ni}+0,104C_{Co}$	0,577	31,0	2,014	-
$УПУ_2=0,323+0,086C_{Ni}+0,109C_{Cd}$	0,529	28,0	1,871	-
$УПУ_2=0,417+0,095C_{Co}+0,13C_{Cd}$	0,473	0,224	1,613	-

При збільшенні концентрації двох ВМ у ґрунті можна отримати прогноз про рівень ушкодження біоіндикаторів з похибкою 20% і оцінити екологічний стан ґрунтів на досліджуваній території. Знайдені емпіричні рівняння регресії вказують на те, що при збільшенні рівня ушкодженості біоіндикаторних тест-систем на 0,1 у.о. при постійному вмісті у ґрунті рухомої форми одного з двох важких металів вміст іншого змінився в середньому на коефіцієнт $0,1b_1$, і навпаки – при постійному числі X_2 величина X_1 змінюється в середньому на коефіцієнт $0,1b_2$.

Таблиця 4.17 – Моделі множинної лінійної регресії між показниками біоіндикації, розрахованими за тестом «Частота аберантних хромосом» ($УПУ_3$), і вмістом у ґрунті рухомих форм важких металів (C_{Me1} , C_{Me2})

Модель двофакторної лінійної регресії	Коефіцієнт множинної кореляції (R)	Коефіцієнт детермінації (D), %	Критерій Фішера	Рівень вірогідності (P)
$УПУ_3=0,232+0,0004C_{Mn}+0,004C_{Pb}$	0,524	27,4	1,845	-
$УПУ_3=0,341+0,00005C_{Mn}+0,008C_{Zn}$	0,496	24,6	1,715	-
$УПУ_3=0,113+0,0003C_{Mn}+0,158C_{Cr}$	0,783	61,4	3,780	<0,01
$УПУ_3=0,163+0,0006C_{Mn}+0,138C_{Cu}$	0,728	53,0	3,186	<0,05
$УПУ_3=0,187+0,005C_{Mn}+0,129C_{Ni}$	0,551	30,4	1,982	-
$УПУ_3=-0,064+0,001C_{Mn}+0,682C_{Co}$	0,664	44,0	2,661	<0,05
$УПУ_3=0,177+0,001C_{Mn}+0,34C_{Cd}$	0,814	66,3	4,205	<0,01
$УПУ_3=0,268+0,003C_{Pb}+0,005C_{Zn}$	0,559	31,3	2,025	-
$УПУ_3=0,095+0,002C_{Pb}+0,144C_{Cr}$	0,803	64,5	4,042	<0,01
$УПУ_3=0,196+0,002C_{Pb}+0,12C_{Cu}$	0,718	51,6	3,098	<0,01
$УПУ_3=0,223+0,003C_{Pb}+0,087C_{Ni}$	0,559	31,2	2,020	-
$УПУ_3=0,093+0,003C_{Pb}+0,434C_{Co}$	0,630	39,7	2,435	<0,05
$УПУ_3=0,253+0,004C_{Pb}+0,24C_{Cd}$	0,756	57,2	3,465	<0,01
$УПУ_3=0,11+0,005C_{Zn}+0,144C_{Cr}$	0,814	66,3	4,211	<0,01
$УПУ_3=0,252+0,00005C_{Zn}+0,14C_{Cu}$	0,692	47,9	2,877	<0,05
$УПУ_3=0,251+0,005C_{Zn}+0,088C_{Ni}$	0,565	31,9	2,054	-
$УПУ_3=-0,17+0,012C_{Zn}+0,784C_{Co}$	0,857	73,4	4,987	<0,001
$УПУ_3=299+0,007C_{Zn}+0,239C_{Cd}$	0,755	57,1	3,458	<0,01
$УПУ_3=0,133+0,117C_{Cr}+0,067C_{Cu}$	0,813	66,1	4,189	<0,01
$УПУ_3=0,135+0,15C_{Cr}+0,028C_{Ni}$	0,777	60,4	3,703	<0,01
$ПУ_3=0,102+0,146C_{Cr}+0,159C_{Co}$	0,783	61,3	3,772	<0,01
$УПУ_3=0,193+0,129C_{Cr}+0,127C_{Cd}$	0,815	66,5	4,225	<0,01
$УПУ_3=0,296+0,186C_{Cu}-0,069C_{Ni}$	0,706	49,8	2,992	<0,05
$УПУ_3=0,046+0,125C_{Cu}+0,414C_{Co}$	0,790	62,4	3,861	<0,01
$УПУ_3=0,269+0,102C_{Cu}+0,167C_{Cd}$	0,778	60,6	3,717	<0,01
$УПУ_3=0,093+0,1C_{Ni}+0,407C_{Co}$	0,625	39,0	2,400	<0,05
$УПУ_3=0,263+0,095C_{Ni}+0,223C_{Cd}$	0,728	53,0	3,187	<0,05
$УПУ_3=0,26+0,313C_{Co}+0,213C_{Cd}$	0,692	47,9	2,876	<0,05

Моделі планування. Відрізок ряду Тейлора. З отриманих рівнянь були вибрані три регресії, які відповідно описують залежність між трьома біопараметрами та вмістом ВМ, а також мають найбільші коефіцієнти детермінації. Для того, щоб збільшити значимість вказаних рівнянь, побудували модель досліду – відрізок ряду Тейлора загального вигляду:

$$УПУ_i = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i C_{Mei} + \sum_{i<j} b_{ij} C_{Mei} C_{Mej} + \sum_{i=1}^k b_{ii} C_{Mei}^2 \quad (4.7)$$

де УПУ₁, УПУ₂, УПУ₃ – рівень ушкодження біоіндикаторів за тестами «Стерильність пилку фітоіндикаторів», «Мітотичний індекс» і «Частота аберантних хромосом» відповідно; *b* – коефіцієнти регресії.

Для знаходження коефіцієнтів регресії застосовували програму Statistica V5.5. Результати розрахунків наведено в табл. 4.18 – 4.20.

Таблиця 4.18 – Результати статистики при знаходженні коефіцієнтів регресії, яка описує частоту зустрічаємості стерильного пилку і вмісту у ґрунті цинку й хрому

Continue... R= ,94079471 RI= ,88509468 Adjusted RI= ,78934024 F(5, 6)=9,2434 p<,00870 Std.Error of estimate: ,07334						
N=12	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(6)	p-level
Intercpt			-,036356	,092280	-,39397	,707221
VAR3	,46881	,492499	,005423	,005697	,95191	,377898
VAR4	2,23345	,685775	,321596	,098745	3,25683	,017317
VAR5	,35438	,757634	,001253	,002678	,46774	,656477
NEWVAR	-,47116	,733208	-,000099	,000154	-,64260	,544244
NEWVAR	-1,74334	,679930	-,055569	,021673	-2,56400	,042678

Примітки: N – кількість тест-полігонів; R – коефіцієнт кореляції; RI – коефіцієнт детермінації; p – вірогідність помилки; B – частинні коефіцієнти регресії; Те ж саме в табл. 4.18 – 4.20.

Таблиця 4.19 – Результати статистики при знаходженні коефіцієнтів регресії, яка описує величину мітотичного поділу меристематичних клітин кореневої системи біоіндикаторів і вмісту у ґрунті рухомих форм цинку та кобальту

Continue... R= ,95912132 RI= ,91991370 Adjusted RI= ,85317512 F(5, 6)=13,784 p<,00307 Std.Error of estimate: ,08863						
N=12	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(6)	p-level
Intercpt			-,747830	,495586	-1,50898	,182038
VAR3	3,37755	,797528	,056550	,013353	4,23502	,005470
VAR4	1,61975	1,404546	1,712137	1,484656	1,15322	,292682
VAR5	-1,22946	,656898	-,041997	,022439	-1,87161	,110432
NEWVAR	-1,43829	,406143	-,000437	,000123	-3,54134	,012199
NEWVAR	-,37124	1,276095	-,298743	1,026905	-,29092	,780910

Таблиця 4.20 – Результати статистики при знаходженні коефіцієнтів регресії, яка описує частоту зустрічаємості аберантних хромосом у клітинах кореневої системи фітоіндикаторів і вмісту у ґрунті рухомих форм цинку й кобальту

Continue... R= ,89221390 RI= ,79604564 Adjusted RI= ,62608367 F(5, 6)=4,6837 p<,04344 Std.Error of estimate: ,14277						
N=12	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(6)	p-level
Intercept			-,422574	,798363	-,52930	,615599
VAR3	,702477	1,272721	,011873	,021511	,55195	,600921
VAR4	1,463662	2,241421	1,561796	2,391701	,65301	,537954
VAR5	,664964	1,048299	,022930	,036148	,63433	,549273
NEWVAR	-,698363	,648137	-,000214	,000199	-1,07749	,322662
NEWVAR	-,990973	2,036434	-,805013	1,654289	-,48662	,643790

Знайшовши коефіцієнти регресії, модель досліджу матиме загальний вигляд:

$$УПУ_1(C_{Zn}, C_{Cr}) = -0,036 + 0,005 \cdot C_{Zn} + 0,322 \cdot C_{Cr} + 0,001 \cdot C_{Zn} \cdot C_{Cr} - 0,0001 \cdot C_{Zn}^2 - 0,056 \cdot C_{Cr}^2,$$

$$R^2 = 0,885$$

$$УПУ_2(C_{Zn}, C_{Co}) = -0,748 + 0,057 \cdot C_{Zn} + 1,712 \cdot C_{Co} - 0,042 \cdot C_{Zn} \cdot C_{Co} - 0,0004 \cdot C_{Zn}^2 - 0,299 \cdot C_{Co}^2,$$

$$R^2 = 0,919$$

$$УПУ_3(C_{Zn}, C_{Co}) = -0,423 + 0,012 \cdot C_{Zn} + 1,562 \cdot C_{Co} + 0,023 \cdot C_{Zn} \cdot C_{Co} - 0,0002 \cdot C_{Zn}^2 - 0,2805 \cdot C_{Co}^2,$$

$$R^2 = 0,796$$

Двофакторний аналіз впливу ВМ виявив наявність синергічного ефекту, що вказує на необхідність проведення багатофакторного аналізу для встановлення зв'язків між концентрацією рухомих форм ВМ (*Mn, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Co, Cd*) і реакціями біоіндикаторів, котрі характеризують токсикомутагенну активність ґрунтів.

Багатофакторна лінійна регресія. Багатофакторне лінійне рівняння, яке описує прямий зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм ВМ і показником ушкодженості біоіндикаторів, має загальний вигляд:

$$УПУ_{1,2,3} = b_0 + b_1 \cdot C_{Mn} + b_2 \cdot C_{Pb} + b_3 \cdot C_{Zn} + b_4 \cdot C_{Cr} + b_5 \cdot C_{Cu} + b_6 \cdot C_{Ni} + b_7 \cdot C_{Co} + b_8 \cdot C_{Cd} \quad (4.8)$$

де b_0, b_1, \dots, b_8 – параметри багатофакторної лінійної регресії;

C_{Me} – вміст у ґрунті рухомих форм ВМ (*Mn, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Co, Cd*), мг/кг.

Частинні коефіцієнти регресії $b_1 \dots b_8$ показують, як змінюється результативна ознака $УПУ_i$ зі зміною факторної ознаки (концентрація у ґрунті одного з хімічних елементів: *Mn, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Co, Cd*) на умовну одиницю за умови, що інші факторні ознаки залишаються незмінними. Для знаходження параметрів багатофакторної лінійної моделі $b_0 \dots b_8$ використовували метод найменших квадратів, а також проводили розрахунки в стандартних пакетах MS Office та у програмі Statistica V5.5. Вихідні матриці для знаходження коефіцієнтів регресії наведені на рис. 4.1 – 4.3.

$$\begin{cases}
 b_0 + 90 \cdot b_{Mn} + 25 \cdot b_{Pb} + 5,5 \cdot b_{Zn} + 0,6 \cdot b_{Cr} + 1,0 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,03 \cdot b_{Cd} = 0,193 \\
 b_0 + 70 \cdot b_{Mn} + 20 \cdot b_{Pb} + 3,5 \cdot b_{Zn} + 0,6 \cdot b_{Cr} + 0,8 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,5 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,105 \\
 b_0 + 220 \cdot b_{Mn} + 35 \cdot b_{Pb} + 11 \cdot b_{Zn} + 3,8 \cdot b_{Cr} + 2,0 \cdot b_{Cu} + 2,4 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 2,0 \cdot b_{Cd} = 0,427 \\
 b_0 + 100 \cdot b_{Mn} + 50 \cdot b_{Pb} + 22 \cdot b_{Zn} + 3,8 \cdot b_{Cr} + 2,8 \cdot b_{Cu} + 2,2 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 2,0 \cdot b_{Cd} = 0,617 \\
 b_0 + 75 \cdot b_{Mn} + 260 \cdot b_{Pb} + 13,5 \cdot b_{Zn} + 1,6 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,0 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,4 \cdot b_{Cd} = 0,465 \\
 b_0 + 62,5 \cdot b_{Mn} + 31 \cdot b_{Pb} + 6,5 \cdot b_{Zn} + 2,6 \cdot b_{Cr} + 2 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 0,4 \cdot b_{Cd} = 0,517 \\
 b_0 + 150 \cdot b_{Mn} + 90 \cdot b_{Pb} + 10 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 2,4 \cdot b_{Ni} + 1,0 \cdot b_{Co} + 0,3 \cdot b_{Cd} = 0,417 \\
 b_0 + 200 \cdot b_{Mn} + 90 \cdot b_{Pb} + 52,5 \cdot b_{Zn} + 3,2 \cdot b_{Cr} + 5 \cdot b_{Cu} + 4 \cdot b_{Ni} + 0,5 \cdot b_{Co} + 0,5 \cdot b_{Cd} = 0,648 \\
 b_0 + 213 \cdot b_{Mn} + 75 \cdot b_{Pb} + 25 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 0,9 \cdot b_{Cu} + 0,8 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,555 \\
 b_0 + 175 \cdot b_{Mn} + 60 \cdot b_{Pb} + 26,5 \cdot b_{Zn} + 1,8 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 2,2 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,381 \\
 b_0 + 313 \cdot b_{Mn} + 25 \cdot b_{Pb} + 30 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,2 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,385 \\
 b_0 + 350 \cdot b_{Mn} + 40 \cdot b_{Pb} + 20 \cdot b_{Zn} + 2,6 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,5 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,515
 \end{cases}$$

Рисунок 4.1 – Вихідна матриця для знаходження коефіцієнтів регресії, що описує зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм восьми ВМ та біопоказником, розрахованим за тестом «Стерильність пилку фітоіндикаторів»

$$\begin{cases}
 b_0 + 90 \cdot b_{Mn} + 25 \cdot b_{Pb} + 5,5 \cdot b_{Zn} + 0,6 \cdot b_{Cr} + 1,0 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,03 \cdot b_{Cd} = 0,102 \\
 b_0 + 70 \cdot b_{Mn} + 20 \cdot b_{Pb} + 3,5 \cdot b_{Zn} + 0,6 \cdot b_{Cr} + 0,8 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,5 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,036 \\
 b_0 + 220 \cdot b_{Mn} + 35 \cdot b_{Pb} + 11 \cdot b_{Zn} + 3,8 \cdot b_{Cr} + 2,0 \cdot b_{Cu} + 2,4 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 2,0 \cdot b_{Cd} = 0,633 \\
 b_0 + 100 \cdot b_{Mn} + 50 \cdot b_{Pb} + 22 \cdot b_{Zn} + 3,8 \cdot b_{Cr} + 2,8 \cdot b_{Cu} + 2,2 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 2,0 \cdot b_{Cd} = 0,712 \\
 b_0 + 75 \cdot b_{Mn} + 260 \cdot b_{Pb} + 13,5 \cdot b_{Zn} + 1,6 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,0 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,4 \cdot b_{Cd} = 0,478 \\
 b_0 + 62,5 \cdot b_{Mn} + 31 \cdot b_{Pb} + 6,5 \cdot b_{Zn} + 2,6 \cdot b_{Cr} + 2 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 0,4 \cdot b_{Cd} = 0,632 \\
 b_0 + 150 \cdot b_{Mn} + 90 \cdot b_{Pb} + 10 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 2,4 \cdot b_{Ni} + 1,0 \cdot b_{Co} + 0,3 \cdot b_{Cd} = 0,743 \\
 b_0 + 200 \cdot b_{Mn} + 90 \cdot b_{Pb} + 52,5 \cdot b_{Zn} + 3,2 \cdot b_{Cr} + 5 \cdot b_{Cu} + 4 \cdot b_{Ni} + 0,5 \cdot b_{Co} + 0,5 \cdot b_{Cd} = 0,715 \\
 b_0 + 213 \cdot b_{Mn} + 75 \cdot b_{Pb} + 25 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 0,9 \cdot b_{Cu} + 0,8 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,530 \\
 b_0 + 175 \cdot b_{Mn} + 60 \cdot b_{Pb} + 26,5 \cdot b_{Zn} + 1,8 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 2,2 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,626 \\
 b_0 + 313 \cdot b_{Mn} + 25 \cdot b_{Pb} + 30 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,2 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,653 \\
 b_0 + 350 \cdot b_{Mn} + 40 \cdot b_{Pb} + 20 \cdot b_{Zn} + 2,6 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,5 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,557
 \end{cases}$$

Рисунок 4.2 – Вихідна матриця для знаходження коефіцієнтів регресії, що описує зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм восьми ВМ та біопоказником, розрахованим за тестом «Мітотичний індекс»

$$\begin{cases}
 b_0 + 90 \cdot b_{Mn} + 25 \cdot b_{Pb} + 5,5 \cdot b_{Zn} + 0,6 \cdot b_{Cr} + 1,0 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,03 \cdot b_{Cd} = 0,239; \\
 b_0 + 70 \cdot b_{Mn} + 20 \cdot b_{Pb} + 3,5 \cdot b_{Zn} + 0,6 \cdot b_{Cr} + 0,8 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,5 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,120; \\
 b_0 + 220 \cdot b_{Mn} + 35 \cdot b_{Pb} + 11 \cdot b_{Zn} + 3,8 \cdot b_{Cr} + 2,0 \cdot b_{Cu} + 2,4 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 2,0 \cdot b_{Cd} = 0,531; \\
 b_0 + 100 \cdot b_{Mn} + 50 \cdot b_{Pb} + 22 \cdot b_{Zn} + 3,8 \cdot b_{Cr} + 2,8 \cdot b_{Cu} + 2,2 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 2,0 \cdot b_{Cd} = 0,895; \\
 b_0 + 75 \cdot b_{Mn} + 260 \cdot b_{Pb} + 13,5 \cdot b_{Zn} + 1,6 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,0 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,4 \cdot b_{Cd} = 0,308; \\
 b_0 + 62,5 \cdot b_{Mn} + 31 \cdot b_{Pb} + 6,5 \cdot b_{Zn} + 2,6 \cdot b_{Cr} + 2 \cdot b_{Cu} + 1,3 \cdot b_{Ni} + 0,8 \cdot b_{Co} + 0,4 \cdot b_{Cd} = 0,631; \\
 b_0 + 150 \cdot b_{Mn} + 90 \cdot b_{Pb} + 10 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 2,4 \cdot b_{Ni} + 1,0 \cdot b_{Co} + 0,3 \cdot b_{Cd} = 0,634; \\
 b_0 + 200 \cdot b_{Mn} + 90 \cdot b_{Pb} + 52,5 \cdot b_{Zn} + 3,2 \cdot b_{Cr} + 5 \cdot b_{Cu} + 4 \cdot b_{Ni} + 0,5 \cdot b_{Co} + 0,5 \cdot b_{Cd} = 0,801; \\
 b_0 + 213 \cdot b_{Mn} + 75 \cdot b_{Pb} + 25 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 0,9 \cdot b_{Cu} + 0,8 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,504; \\
 b_0 + 175 \cdot b_{Mn} + 60 \cdot b_{Pb} + 26,5 \cdot b_{Zn} + 1,8 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 2,2 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,256; \\
 b_0 + 313 \cdot b_{Mn} + 25 \cdot b_{Pb} + 30 \cdot b_{Zn} + 2 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,2 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,562; \\
 b_0 + 350 \cdot b_{Mn} + 40 \cdot b_{Pb} + 20 \cdot b_{Zn} + 2,6 \cdot b_{Cr} + 1,4 \cdot b_{Cu} + 1,5 \cdot b_{Ni} + 0,4 \cdot b_{Co} + 0,02 \cdot b_{Cd} = 0,566.
 \end{cases}$$

Рисунок 4.3 – Вихідна матриця для знаходження коефіцієнтів регресії, що описує зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм восьми ВМ і біопоказником, розрахованим за тестом «Частота аберантних хромосом»

Результати розрахунків, отримані в програмі Statistica V5.5 для знаходження параметрів лінійної регресії, яка описує залежність між біопараметрами та вмістом у ґрунті рухомих форм ВМ, наведено в табл. 4.21 – 4.23.

Таблиця 4.21 – Параметри лінійної регресії, що описує прямий зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм важких металів і показником ушкодженості біоіндикаторів, розрахованим за тестом «Стерильність пилку фітоіндикаторів»

MULTIPLE REGRESS.		R= ,96969729 RI= ,94031283 Adjusted RI= ,78114705 F(8,3)=5,9078 p<,08585 Std.Error of estimate: ,07475				
N=12	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(3)	p-level
Intercept			,143594	,098065	1,46427	,239337
NEWVAR	,134988	,291556	,000226	,000488	,46299	,674889
VAR2	,518411	,288747	,003228	,001798	1,79538	,170467
VAR3	,155609	,588842	,001800	,006811	,26426	,808692
VAR4	,512588	,279464	,073808	,040240	1,83418	,163985
VAR5	,700350	,551348	,097241	,076552	1,27025	,293564
VAR6	-,952857	,349604	-,171009	,062743	-2,72553	,072212
VAR7	,103997	,322316	,075946	,235377	,32266	,768136
VAR8	,056687	,236533	,016078	,067087	,23966	,826038

Таблиця 4.22 – Параметри лінійної регресії, що описує прямий зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм важких металів і показником ушкодженості біоіндикаторів, розрахованим за тестом «Мітотичний індекс»

Continue...						
R= ,92730930 RI= ,85990254 Adjusted RI= ,48630930 F(8,3)=2,3017 p<,26571 Std.Error of estimate: ,16577						
N=12	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t (3)	p-level
Intercept			-,213330	,217468	-,980972	,398945
MEASUR2	-,081641	,446680	-,000198	,001083	-,182773	,866630
MEASUR3	-,187116	,442377	-,001686	,003987	-,422978	,700801
MEASUR4	1,447173	,902139	,024230	,015105	1,604157	,207017
MEASUR5	,444322	,428155	,092606	,089237	1,037760	,375682
MEASUR6	-,594823	,844696	-,119544	,169762	-,704185	,532057
MEASUR7	-,289306	,535613	-,075155	,139139	-,540141	,626620
MEASUR8	,963270	,493806	1,018211	,521971	1,950704	,146173
MEASUR9	-,158983	,362382	-,065269	,148773	-,438716	,690541

Таблиця 4.23 – Параметри лінійної регресії, яка описує прямий зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм важких металів та показником ушкодженості біоіндикаторів, розрахованим за тестом «Частота абераційних хромосом»

Continue...						
R= ,99506041 RI= ,99014521 Adjusted RI= ,96386577 F(8,3)=37,678 p<,00631 Std.Error of estimate: ,04438						
N=12	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t (3)	p-level
Intercept			-,154659	,058223	-2,65631	,076580
MEASUR2	,593277	,118469	,001452	,000290	5,00787	,015326
MEASUR3	,292888	,117328	,002664	,001067	2,49632	,087991
MEASUR4	-,134907	,239267	-,002280	,004044	-,56384	,612265
MEASUR5	-,108536	,113556	-,022836	,023892	-,95580	,409686
MEASUR6	1,071165	,224031	,217315	,045451	4,78132	,017392
MEASUR7	-,771356	,142056	-,202278	,037252	-5,42995	,012259
MEASUR8	,507786	,130968	,541832	,139749	3,87718	,030381
MEASUR9	,370698	,096111	,153628	,039831	3,85696	,030796

У результаті математичних обчислень отримано наступні рівняння багатofакторної регресії:

$$\text{УПУ}_1 = 0,144 + 0,0002C_{Mn} + 0,003C_{Pb} + 0,002C_{Zn} + 0,074C_{Cr} + 0,097C_{Cu} - 0,171C_{Ni} + 0,076C_{Co} + 0,016C_{Cd} \quad (4.9)$$

$$R_1 = 0,968, R_1^2 = 0,937, F_b = 15,24, F_{11;10;0.05} = 2,865$$

$$\text{УПУ}_2 = -0,213 - 0,0002C_{Mn} - 0,002C_{Pb} + 0,024C_{Zn} + 0,093C_{Cr} - 0,12C_{Cu} - 0,075C_{Ni} + 1,018C_{Co} - 0,065C_{Cd} \quad (4.10)$$

$$R_2 = 0,926, R_2^2 = 0,858, F_b = 6,50, F_{11;10;0.05} = 2,865$$

$$\text{УПУ}_3 = -0,155 + 0,001C_{Mn} + 0,003C_{Pb} - 0,002C_{Zn} - 0,023C_{Cr} + 0,217C_{Cu} - 0,202C_{Ni} + 0,542C_{Co} + 0,154C_{Cd} \quad (4.11)$$

$$R_3 = 0,994, R_3^2 = 0,988, F_b = 93,11, F_{11;10;0.05} = 2,865$$

Після проведення статистичної оцінки коефіцієнтів регресії встановлено, що найменш вагомий внесок у зазначених вище трьох восьмифакторних моделях вносять частинні коефіцієнти, які показують, як у середньому змінюється результативна ознака УПУ_i зі зміною факторної ознаки – концентрація у ґрунті Mn , Pb і Zn , на умовну одиницю за умови, що інші факторні ознаки залишаються незмінними. Тож можна зробити висновки, що їхнім внеском на появу стерильного пилку, а також зміни мітотичного процесу

та появу аберантних хромосом у кореневій системі рослин можна знехтувати. Нульовий коефіцієнт $b_0 = 0,144$ (рівняння 4.9) вказує на те, що при відсутності впливу на біоіндикатори ВМ, які знаходяться у рухомій формі в ґрунті, існує природний рівень ушкодженості (спонтанна стерильність пилку рослин), зумовлена дією метеорологічних умов (вологості повітря, ґрунтів, температури, іонізуючого випромінювання тощо). Величина $УПУ_0=0,144$ оцінюється за шкалою екологічної ситуації за результатами біоіндикації як «еталонна» екологічна ситуація, а стан біоіндикаторів «сприятливий». А знак мінус при нульових коефіцієнтах $b_0 = -0,213$ (рівняння 4.10) і $b_0 = -0,155$ (рівняння 4.11) аргументує те, що існує рівень, за якого згадані вище вісім хімічних елементів є необхідними мікроелементами для повноцінного розвитку та росту кореневої системи рослин.

Таким чином, можна зробити висновок, що отримані лінійні моделі є адекватними для прогнозування екологічного стану ґрунтів за рівнем ушкодженості біоіндикаторів з урахуванням вмісту у ґрунті рухомих форм ВМ. Це дає змогу зменшити грошові витрати на проведення хімічного аналізу при проведенні допоміжної оцінки екологічного стану ґрунтів з використанням цитогенетичних методів біоіндикації. При виявленні точок із значним рівнем ушкодження біоіндикаторів для уточнення причини такого явища хімічний аналіз стає необхідним.

4.5 Удосконалення методики оцінки ступеня небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами

У результаті проведених досліджень встановлено, що на території міст, де виявлено найвищий рівень ушкодження біоіндикаторів, спостерігаються високі коефіцієнти сумарної забрудненості ґрунтів Z_c . Це дозволило побудувати модель, яка характеризує прямий вплив негативної дії забруднених ґрунтів на рівень ушкодженості біоіндикаторів (рис. 4.4). Аналіз моделі виявив, що при стовідсотковій відсутності ушкодженості біоіндикаторів величина сумарного показника забрудненості ґрунтів становить $Z_c \approx 4$, тобто рівень ушкодженості біоіндикаторів «низький», а рівень небезпеки території – «допустимий». Підставивши кінцеві значення інтервалів величини $ІУПУ = 1$ у дану модель, отримали значення величини $Z_c \approx 200$.

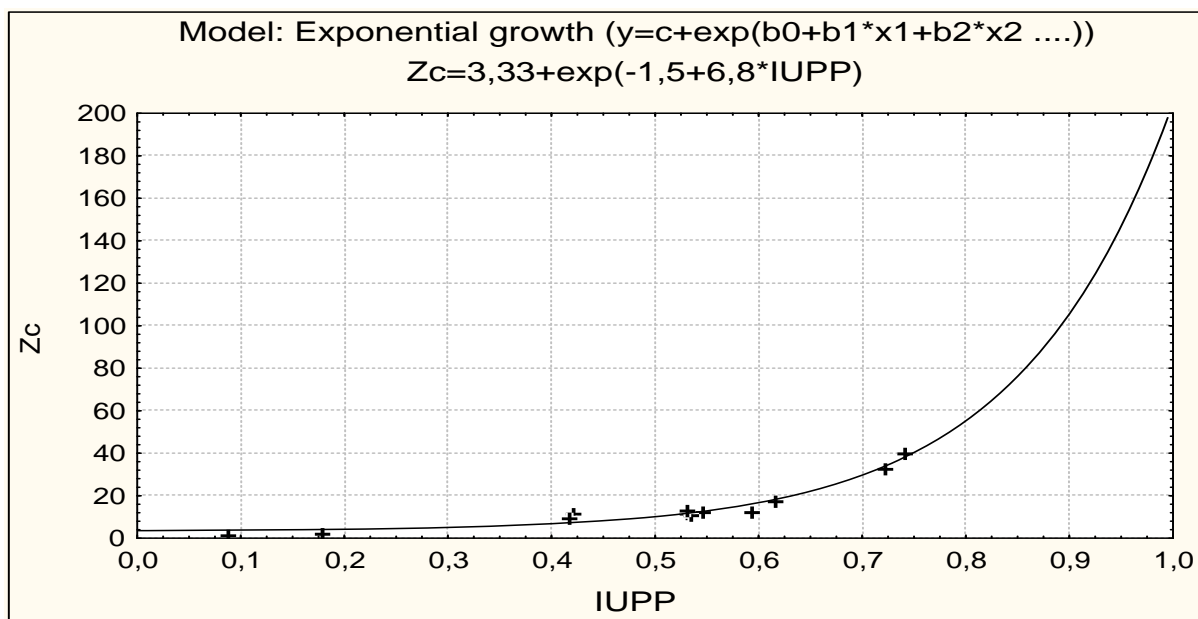


Рисунок 4.4 – Залежність коефіцієнта сумачі Z_c від інтегрального умовного показника ушкодженості біоіндикаторів ІУПУ

Підставивши кінцеві значення кожного з інтервалів шкали оцінки ушкодженості біоіндикаторів в отриману модель (рис. 4.4), визначили відповідні значення коефіцієнтів сумачі Z_c . Співставлення діапазонів шкал оцінки рівнів ушкодженості біоіндикаторів і небезпеки забрудненості ґрунтів за показником Z_c дозволило створити узагальнену оціночну шкалу оцінки небезпеки від забруднення ґрунтів ВМ за результатами біоіндикації (табл. 4.24). Отримана шкала дозволяє визначити рівень забруднення території важкими металами за відповідним рівнем ушкодженості біоіндикаторних тест-систем.

Таблиця 4.24 – Шкала оцінки небезпеки від забруднення ґрунтів важкими металами за результатами біоіндикації

Діапазон чисельних значень ІУПУ	Діапазон чисельних значень, Z_c	Рівень ушкодженості біоіндикаторів	Стан біосистем та здоров'я людини	Екологічна ситуація	Рівень небезпеки території
0,000 ÷ 0,150	0,0 ÷ 4,0	Низький	Сприятливий	Еталонна	Допустима
0,151 ÷ 0,300	4,1 ÷ 8,0	Нижче за середній	Насторожуючий	Задовільна	Допустима
0,301 ÷ 0,450	8,1 ÷ 16,0	Середній	Конфліктний	Незадовільна	Помірно небезпечна
0,451 ÷ 0,600	16,1 ÷ 32,0	Вище за середній	Загрозливий	Незадовільна	Помірно небезпечна
0,601 ÷ 0,750	32,1 ÷ 128,0	Високий	Критичний	Катастрофічна	Небезпечна
0,751 і вище	128,1 і вище	Максимальний	Небезпечний	Катастрофічна	Надзвичайно небезпечна

Таким чином, в результаті проведених досліджень були отримані наступні результати:

- Проведено парний і множинний кореляційний аналіз між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунтах і відповідними відгуками біоіндикаторів; визначено, що зв'язки між рівнями ушкодженості високочутливих біоіндикаторів і концентраціями рухомих форм ВМ у ґрунтах є прямими з середньою та сильною кореляцією. Множинні коефіцієнти кореляції мають більшу величину. Так, якщо при парному кореляційному аналізі значення коефіцієнта кореляції між концентраціями рухомих форм ВМ у ґрунті та відгуками біоіндикаторів знаходиться в діапазоні $R=0,257\div 0,852$, то при множинному кореляційному аналізі – $R=0,433\div 0,857$.

- Отримано двофакторні моделі прямої лінійної регресії між відгуками біоіндикаторів і вмістом у ґрунті рухомих форм ВМ, які були уточнені відрізком ряду Тейлора. За наявності даних про відповідний рівень ушкодженості біоіндикаторів і вміст у ґрунті рухомих форм ВМ одного з ВМ можна відтворити дані про концентрацію рухомих форм ВМ іншого ВМ. Так, наприклад, використовуючи дані моделі за математичними обчисленнями можна з'ясувати, якщо на території селітебної зони м. Павлоград рівень ушкодженості біоіндикаторів за тестом «Частота абераційних хромосом» збільшиться на 0,150 у.о., а величина вмісту у ґрунті рухомих форм ВМ цинку залишається протягом тривалого часу постійною, то вміст кобальту збільшиться на 0,2 мг/кг, тобто збільшиться мутагенність ґрунтів і погіршиться їх екологічний стан.

Після проведення багатосторонньої оцінки зв'язку між концентраціями рухомих форм ВМ і відгуками біоіндикаторів побудовано восьмифакторні моделі. Використовуючи дані моделі, можна прогнозувати або передбачити концентрацію рухомих форм ВМ у ґрунтах, знаючи відповідну реакцію біоіндикатора.

– Встановлено зв'язки між рівнями ушкодженості високочутливих біоіндикаторів та концентраціями рухомих форм ВМ у ґрунтах.

– Обґрунтовано можливість використання цитогенетичних методів біоіндикації для кількісної оцінки ступеня забрудненості ґрунтів рухомими формами ВМ.

– Отримано шкалу оцінки небезпеки від забруднення ґрунтів ВМ за рівнем ушкодженості біоіндикаторів.

РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ, ЯКІ ФУНКЦІОНУЮТЬ НА ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЯХ УКРАЇНИ

5.1 Оптимізація використання енергетичного потенціалу регіону засобами економіко-математичного моделювання

У сучасних умовах розвитку світового енергетичного ринку енергетика України завжди була базовою галуззю та й нині залишається основою національної економіки й важливим фактором її розвитку.

Безперечно, від стійкої роботи та сталого розвитку паливно-енергетичного комплексу сьогодні залежить майбутнє нашої країни. Для забезпечення стабільного економічного розвитку енергетичної галузі вкрай необхідна розробка певних програм, кардинальних реформ, визначення основних напрямів розвитку, спрямованих на постійний розвиток паливно-енергетичного комплексу.

Однією з найважливіших, найактуальніших галузей паливно-енергетичного комплексу України є вугільна промисловість.

Актуальність функціонування вугільної галузі України обумовлена її надзвичайно важливим місцем в економіці нашої держави, адже вугілля виступає єдиним національним енергоносієм, який здатний забезпечити енергетичну безпеку і, як наслідок, задовольнити існуючі потреби за рахунок власних ресурсів.

Від його постачання залежить стабільність роботи теплових та гідроелектростанцій. Наприклад, з усієї України саме у Донбасі здійснюється видобуток найцінніших коксівних марок вугілля, що є значним енергоресурсом у металургійному виробництві. Крім цього, вугілля також слугує побутовим паливом.

Український ринок вугілля у форматі світового енергетичного ринку має критичне значення для економіки та виступає найбільш впливовим фактором підтримки стабільності, економічного та соціального розвитку.

Вугілля – єдиний енергоносіє в Україні, власні обсяги видобутку якого є потенційно достатніми для практично повного забезпечення потреб національної економіки. За окремими оцінками, прогностичні запаси вугілля становлять 117,5 млрд т (з них 70 млрд – високоякісне енергетичне), у т.ч. 56,7 млрд т – розвідані запаси, з них енергетичних марок – 39,3 млрд т. Із загальних запасів вугілля понад 8 млрд т становлять запаси лігнітів, з яких понад 2 млрд т можна видобувати відкритим способом (табл. 5.1 – 5.2.).

Таблиця 5.1 – Енергетичний потенціал вугілля України

Стаття балансу	2010 (факт)	Прогноз			
		2015	2020	2025	2030
<i>Базовий сценарій</i>					
Прибуткова частина					
I. Ресурси, всього	72,8	75,9	84,6	94,1	105,2
1. Видобуток вугілля рядового, всього, у тому числі:	75	83,5	92,8	103,3	115
– для коксування	24	27,3	31	35,2	40
– енергетичного	51	56,2	61,8	68,1	75
з нього готового :	54,8	62,6	71,5	81,6	93,2
– для коксування	17,5	20,5	23,9	27,8	32,4
– енергетичного	37,2	42,2	47,6	53,8	60,8
2. Імпорт	12,1	7,6	7,6	7,0	6,5
3. Залишки у сховищах на початок періоду	5,9	5,7	5,5	5,5	5,5
Витратна частина					
II. Розподіл ресурсів- усього	72,8	75,9	84,6	94,1	105,2
1. Споживання вугілля нетто, у т.ч.:	59,6	67,1	66,6	70,9	76,0
2. Втрати при транспортуванні, зберіганні та розподілі	1,9	2,1	1,8	1,8	1,6
3. Споживання вугілля бруто, всього	61,5	69,2	68,4	72,7	77,5
4. Експорт вугілля	6,2	1,5	10,2	14,4	20,5
5. Залишки у сховищах на кінець періоду	5,1	5,2	6	7	7,2
<i>Песимістичний сценарій</i>					
Прибуткова частина					
I. Ресурси, всього	72,8	75,7	83,7	92,5	103,5
1. Видобуток вугілля рядового, всього, у тому числі:	75	83,5	92,8	103,3	115
– для коксування	24	27,3	31	35,2	40
Стаття балансу	2010 (факт)	Прогноз			
– енергетичного	51	56,2	61,8	68,1	75
з нього готового :	54,8	62,6	71,5	81,6	93,2
– для коксування	17,5	20,5	23,9	27,8	32,4
– енергетичного	37,2	42,2	47,6	53,8	60,8
2. Імпорт	12,1	7,6	6,9	5,6	5,3
3. Залишки у сховищах на початок періоду	5,9	5,5	5,3	5,3	5,0
Витратна частина					
II. Розподіл ресурсів- усього	72,8	75,7	83,7	92,5	103,5

1. Споживання вугілля нетто, у т.ч.:	59,6	62,7	58,6	63,9	66,3
2. Втрати при транспортуванні, зберіганні та розподілі	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7
3. Споживання вугілля бруutto, всього	61,5	64,7	60,4	65,6	68,0
4. Експорт вугілля	6,2	5,5	17,7	21,9	27,4
5. Залишки у сховищах на кінець періоду	5,1	5,5	5,6	5	8,1
<i>Оптимістичний сценарій</i>					
Прибуткова частина					
I. Ресурси, всього	72,8	76,0	85,4	95,1	106,6
1. Видобуток вугілля рядового, всього, у тому числі:	75	83,5	92,8	103,3	115
– для коксування	24	27,3	31	35,2	40
– енергетичного	51	56,2	61,8	68,1	75
з нього готового :	54,8	62,6	71,5	81,6	93,2
– для коксування	17,5	20,5	23,9	27,8	32,4
– енергетичного	37,2	42,2	47,6	53,8	60,8
2. Імпорт	12,1	7,6	8,2	7,9	7,9
3. Залишки у сховищах на початок періоду	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5
Витратна частина					
II. Розподіл ресурсів усього	72,8	76,0	85,4	95,1	106,6
1. Споживання вугілля нетто, у т.ч.:	59,6	68,5	71,5	82,6	92,3
2. Втрати при транспортуванні, зберіганні та розподілі	1,9	2,1	2,2	2,1	1,9
3. Споживання вугілля бруutto, всього	61,5	70,7	73,7	84,7	94,2
4. Експорт вугілля	6,2	0	4,5	3,3	6,4
5. Залишки у сховищах на кінець періоду	5,1	5,3	7,2	7,1	6,0

Таблиця 5.2 – Енергетичний потенціал вугілля України, розподілений за основними вуглевидобувними підприємствами

№ з/п	Підприємство	Виробнича потужність, тис т.	Марка вугілля
1.	Шахти, які внесені до списку перспективних для приватизації	47296	
2.	Потенційно перспективні шахти, які можуть бути інвестиційно привабливими при створенні відповідних умов	21304	
3	Шахти, які приватизовані до 2010 р., у т.ч.:	36935	
	ДХК «Павлоградвугілля»	15020	ДГ,Г
	ВАТ «Краснодонвугілля»	5800	Ж _к ,К _к
	ВАТ «ш. Комсомолец Донбасу»	4155	П _Е
	ПАТ «ш/у Покровське»	4670	К _к
	ОП «ш. ім. Засядька»	1650	Ж _к
	ТОВ «Краснолиманське»	1050	Ж _к
	ЗАТ «ш. Жданівська»	900	П _Е
	ВАТ «ш. Білозерська»	1130	Г _к
ДВАТ «ш. Білореченська»	1160	Г _Е	

	ВАТ «Укрвуглебуд»	190	к
	ВАТ «ш/у ім. Чапаєва»	300	П _Е
	ТОВ «ш. Світанок-1»	260	П _Е
	ТОВ «ш. Садова»	230	А _Е
	ТДВ «ш. Новодзержинська»	130	Ж _К
	ДВАТ «ш. Надія»	290	Ж _Е
	Всього	105535	
4	Шахти, будівництво яких розпочато до 2007р., у т.ч.:	7800	
	«Добропільська-Капітальна» ДП	2400	Г
	«Добропільлявугілля» (2015)		
	«Краснолиманська-Глибока» Самостійна (2018)	3000	Ж
	№10 «Нововолинська» ДП «Волиньвугілля»	900	Г _Е
	«Західно-Донбаська №6/42» ВАТ «Павлоградвугілля» (2013)	1500	Г _Е
5	Шахти, які пропонують для будівництва на розвіданих вугільних ділянках, у т.ч.:	10600	
	«Новосвітловська» №3-4, Луганська обл.	3000	Г _К
	«Червоноградська» №3, Львівська обл.	2100	
	«Тяглівська» №1, Львівська обл.	1500	Г _К
	«Любельська», Львівська обл.	4000	ДЖ _К
6	Додатковий видобуток «ш/у Покровське»	7000	К _К
	ВСЬОГО:	130935	
7	Буровугільна промисловість	19200	Б
	ЗАГАЛЬНИЙ ПОТЕНЦІАЛ:	150135	

Отже, як видно із табл. 5.1, видобуток вугілля в Україні має певну позитивну тенденцію до збільшення, навіть при песимістичному сценарії. Однак і досі актуальними залишаються деякі питання, пов'язані із видобутком вугілля та функціонуванням вуглевидобувних підприємств у цілому.

Як видно із табл. 5.1, у витратній частині за пунктом «Залишки у сховищах на кінець періоду» наявна деяка кількість вугілля. Для кожного окремого вугледобувного підприємства наявність залишок на складі призводить до виникнення певних витрат. Підприємство прагне до мінімізації цих витрат, але дуже важко звичайними розрахунковими методами визначити оптимальні плани з видобутку вугілля, при яких залишки на складі були б або відсутні зовсім, або мінімальні. У вирішенні таких складних питань доречно застосування методів економіко-математичного моделювання. У рамках цього дослідження запропоновано методику визначення оптимальних обсягів видобутку з метою мінімізації витрат на його зберігання та максимізації прибутку на прикладі ВАТ «Орджонікідзевугілля».

5.2 Побудова економіко-математичної моделі визначення оптимальних обсягів видобутку вугілля

Економічна постановка завдання. Поставлено завдання максимізації прибутку вугледобувного підприємства ВАТ «Орджонікідзевугілля» шляхом визначення оптимального обсягу виробництва. Нині на підприємстві існує проблема надлишку запасів рядового вугілля, давальницької сировини, концентрату, а це, в свою чергу, сприяє збільшенню витрат, пов'язаних зі зберіганням, що негативно впливає на рівень прибутку підприємства.

Таким чином, визначення оптимальних обсягів видобутку дозволить не тільки мінімізувати затрати вугледобувного підприємства а, й тим самим, знизити його собівартість, що дозволить, в свою чергу, підвищити рівень прибутку.

Отже, встановлено наступні цілі:

1. Визначити мінімальний рівень затрат по кожному з видів, що обумовлює собівартість продукції.
2. Визначити оптимальні обсяги виробництва по кожному з видів сировини з урахуванням мінімального рівня затрат.

Математична постановка задачі: Згідно з методичними принципами векторної оптимізації усі технічні рішення мають бути розглянуті як варіанти розвитку шахти. Таким чином, і методи побудови економіко-математичної моделі повинні мати набір варіантів, які відповідають мінімуму збитків або втрат ефективних запасів.

Будь-яка завдача, пов'язана з підтриманням потужності, і, як наслідок, вибором оптимальних параметрів даного підприємства, характеризується певними особливостями, основні з яких такі:

1. Цільова функція у таких задачах, як правило, є багатоекстремальною.
2. Недостатня і неповна інформація про систему «шахтний фонд» робить неможливим використання точних методів аналізу.
3. Немає можливості сформулювати універсальний критерій, у якому були б враховані всі особливості системи «шахтний фонд».

Визначення будь яких задач оптимізації пов'язано із визначенням як-то цілі оптимізації, так і критеріїв оптимізації. Загальна постановка задачі оптимізації для кожного конкретного підприємства має свої відмінні особливості. Це пов'язано із тим, що шахти перебувають у різних економічних станах, а отже і мають різні економічні потреби та шляхом їх вирішення. Задача оптимізації містить три компоненти (цільову функцію F , обмеження g , і граничні умови).

Серед основних цілей оптимізації на вуглевидобувних підприємствах можливо виділити наступні:

- збільшення обсягів з видобутку вугілля;
- збільшення прибутку вугледобувного підприємства;
- збільшення виробничих потужностей та ін.

У цій роботі як критерій оптимізації вибрано прибуток вуглевидобувного підприємства.

Операційна математична модель являє собою агрегат (сукупність) алгоритмів, які описують функціональні властивості проєктованого об'єкта. Ця модель у просторі фазових координат утворених гіперповерхонь входять у модель обмежень, відтворює (синтезує) образ об'єкта, що проєктується, що відповідає всім техніко-економічним вимогам, які висувуються в рамках даних конкретних завдань проєктування.

У будь-яких математичних моделях можна виділити наступні елементи: вихідні дані, залежності, що описують цільову функцію й обмеження.

Залежності між змінними як цільові функції, так і обмеження, можуть бути лінійними і нелінійними. Поєднання різноманітних елементів моделі призводить до різних класів задач оптимізації, які вимагають різних методів рішення й різних програмних засобів.

Для економічних систем найбільш характерні задачі оптимізації та розподілу ресурсів, які вирішуються методом лінійного програмування, для якого розроблені надійні алгоритми, реалізовані в постачаємому з ЕОМ програмному забезпеченні; більш складні задачі (цілочисельні, нелінійні) оптимізації можна звести до задач лінійного програмування.

Із зазначених залежностей у відповідності з основною метою проєктування формується цільова функція:

$$\Phi = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; a_1, a_2, a_3, \dots, a_m),$$

Решта зв'язку параметрів, записаних у вигляді рівностей і нерівностей, є обмеженнями, що разом з цільовою функцією становлять математичну модель об'єкта, яка на цьому етапі створення повинна бути піддана випробуванням на комп'ютері і, в разі необхідності, скоригована на рівні якісної моделі або математичного опису.

Побудована таким чином математична модель відтворює образ проєктованого об'єкта, що відповідає всім техніко-економічним вимогам, які висувуються в рамках даних конкретних задач проєктування, і може бути занесена в банк математичних моделей системи автоматизованого проєктування.

Обмеження зазвичай висловлюють певні залежності між змінними величинами, які за своєю суттю можуть бути теоретичними (формульними) і статистичними. Теоретичні залежності зазвичай справедливі за будь-яких умов і для їх отримання не потрібно ніяких додаткових вимірів. Однак на практиці досить часто між параметрами моделі немає відомої функціональної залежності.

Що стосується обмежень, які використовуються при побудові задачі оптимізації на вугледобувному підприємстві, то тут можна виділити наступні:

- обмеження, пов'язані з витратами на виробництво вугільної продукції, що обумовлюють її собівартість; витрати подані у табл. 1
- обмеження, пов'язанні з потужністю вугледобувного підприємства;
- обмеження, пов'язані із трудовими ресурсами, подано у табл.5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати ВАТ «Орджонікідзе вугілля» на виробництво вугілля (грн)

№ п/п	Обмеження	Рядове вугілля	Давальницька сировина	Концентрат	Разом макс.
	1	2	3	4	5
	По групі витрат:				
1	Витрати на придбання допоміжних матеріалів	146000	138000	129000	450000
2	Витрати на паливо та електроенергію	59600	32500	43400	135500
3	Витрати на оплату працівників шахт та комерційних служб	80000	78600	74300	240000
4	Відрахування на соціальні заходи	12000	18000	11000	41000
5	Витрати на службові відрядження працівників, зайнятих збутом продукції	1900	2100	2800	6800
6	Витрати на послуги вуглевидобувних підприємств та організацій	400	800	600	2000
7	Витрати на послуги вантажно-транспортних управлінь	1900	1700	2100	6000
8	Транспортні витрати	3200	2900	3000	10000
9	Оплата експортного мита та митних зборів	1100	2100	1900	6000
10	Витрати на страхування продукції, транспортно-експедиційні витрати	11500	9800	9000	32000
11	Витрати на рекламу та дослідження ринку	5600	4800	6000	18000
12	Інші витрати	15000	12000	16000	50000
13	Витрати на охорону	9700	8000	6900	25000
14	Податки, збори	16000	17900	15000	55000
15	Витрати на підготовку кадрів	7000	6400	5000	20000
16	Витрати на послуги зв'язку	4000	3800	4300	13000
17	Канцелярські витрати	1500	1900	1600	8000
18	Витрати на послуги комерційних банків	900	1100	1000	5000
19	Роботи та послуги не комерційного характеру	2000	2400	6000	11000
20	Вартість покупної води та послуг каналізації та громадського харчування	1100	1200	900	3200

Продовження табл. 5.3

	1	2	3	4	5
21	Витрати для утримання приміщень для харчування робітників підприємств	900	890	960	3000
22	Вартість аналізів якості вугілля	600	590	780	2000
23	Витрати на перевезення працівників до місця роботи і назад	960	860	740	3000
24	Витрати на страхування	270	300	350	10000
25	Витрати на охорону праці	750	720	690	22000
26	Витрати, пов'язані з використанням природної сировини	1800	1400	1300	5000
27	Послуги виробничого характеру	800	810	800	2500
28	Витрати на допоміжні матеріали	1600	1000	1460	4500
29	Витрати на паливо	5800	6000	6200	19000
30	Витрати на готову вугільну продукцію	1350	1020	980	4000
31	Трудові ресурси	956	680	801	3000

За результатами аналізу виробничої діяльності вуглевидобувного підприємства ВАТ «Орджонікідзевугілля» встановлено, що максимальна потужність з виробництва становить:

- рядового вугілля – 12000 тис. тонн за квартал,
- давальницької сировини – 10000 тис. тонн за квартал,
- концентрату – 6000 тис. тонн за квартал.

Таким чином, цільова функція – максимізація прибутку вуглевидобувного підприємства з урахуванням середньої прогнозованої ціни матиме вигляд:

$$F=995,15x_1+1060,77x_2+1430,78x_3,$$

де x_1 – обсяг рядового вугілля;

x_2 – обсяг давальницької сировини;

x_3 – обсяг концентрату.

Обмеження:

- 1 Витрати на придбання допоміжних матеріалів $146000x_1+13800x_2+129000x_3\leq 450000$,
- 2 Витрати на паливо та електроенергію $59600x_1+32500x_2+43400x_3\leq 135500$,
- 3 Витрати на оплату працівників шахт та комерційних служб $80000x_1+78600x_2+74300x_3\leq 240000$,
- 4 Відрахування на соціальні заходи $12000x_1+18000x_2+11000x_3\leq 41000$,
- 5 Витрати на службові відрядження працівників, зайнятих збутом продукції $1900x_1+2100x_2+2800x_3\leq 6800$,

6	Витрати на послуги вуглевидобувних підприємств та організацій	$400x_1+800x_2+600x_3\leq 2000,$
7	Витрати на послуги вантажно-транспортних управлінь	$1900x_1+1700x_2+2100x_3\leq 6000,$
8	Транспортні витрати	$3200x_1+2900x_2+3000x_3\leq 10000,$
9	Оплата експортного мита та митних зборів	$1100x_1+2100x_2+1900x_3\leq 6000,$
10	Витрати на страхування продукції, транспортно-експедиційні витрати	$11500x_1+9800x_2+9000x_3\leq 32000,$
11	Витрати на рекламу та дослідження ринку	$5600x_1+4800x_2+6000x_3\leq 18000,$
12	Інші витрати	$15000x_1+12000x_2+16000x_3\leq 50000,$
13	Витрати на охорону	$9700x_1+8000x_2+6900x_3\leq 25000,$
14	Податки, збори	$16000x_1+17900x_2+15000x_3\leq 55000,$
15	Витрати на підготовку кадрів	$7000x_1+6400x_2+5000x_3\leq 20000,$
16	Витрати на послуги зв'язку	$4000x_1+3800x_2+4300x_3\leq 13000,$
17	Канцелярські витрати	$1500x_1+1900x_2+1600x_3\leq 8000,$
18	Витрати на послуги комерційних банків	$900x_1+1100x_2+1000x_3\leq 5000,$
19	Роботи та послуги не комерційного характеру	$2000x_1+2400x_2+6000x_3\leq 11000,$
20	Вартість покупної води та послуг каналізації та громадського харчування	$1100x_1+1200x_2+900x_3\leq 3200,$
21	Витрати на утримання приміщень для харчування робітників підприємств	$900x_1+890x_2+960x_3\leq 33000,$
22	Вартість аналізів якості вугілля	$600x_1+590x_2+780x_3\leq 2000,$
23	Витрати на перевезення працівників до місця роботи і назад	$960x_1+860x_2+740x_3\leq 3000,$
24	Витрати на страхування	$270x_1+300x_2+350x_3\leq 10000,$
25	Витрати на охорону праці	$750x_1+720x_2+690x_3\leq 22000,$
26	Витрати, пов'язані з використанням природної сировини	$1800x_1+810x_2+1460x_3\leq 5000,$
27	Послуги виробничого характеру	$800x_1+810x_2+800x_3\leq 2500,$
28	Витрати на допоміжні матеріали	$1600x_1+1000x_2+1460x_3\leq 4500,$

29	Витрати на паливо	$5800x_1+6000x_2+6200x_3\leq 19000,$
30	Витрати на готову вугільну продукцію	$1350x_1+1020x_2+980x_3\leq 4000,$
31	Трудові ресурси	$956x_1+680x_2+801x_3\leq 3000,$ $x_1, x_2, x_3 \geq 0,$
32	Потужність підприємства	$x_1 \leq 12000, x_2 \leq 10000, x_3 \leq 8000$

Розрахунок виконано за методом Ньютона з використанням надбудови MS Excel «Пошук рішення».

Отримано наступні результати:

- обсяг виробництва за x_1 – 11276 тис тонн/квартал
- обсяг виробництва за x_2 – 10329 тис тонн/квартал
- обсяг виробництва за x_3 – 8000 тис тонн/квартал

У результаті рішення оптимізаційної задачі отримано максимально можливе значення прибутку, яке склало 336256 грн/квартал.

Зазначений вище підхід може бути використаний для будь якого вугільного підприємства, адже проблема мінімізації витрат на зберігання надлишкових запасів завжди залишається актуальною. З іншого боку, застосування цього підходу дозволить максимізувати прибуток вугледобувного підприємства за рахунок оптимізації виробничих планів і мінімізації витрат. Також позитивною властивістю запропонованої економіко-математичної моделі є її адаптивність до будь яких умов, за рахунок того, що в обмеження моделі можуть бути введені додаткові витрати, притаманні тому чи іншому вугледобувному підприємству. Оптимізаційна економіко-математична модель може бути ще розширена за рахунок додаткових обмежень виробничого характеру залежно від специфіки виробництва.

5.3 Метод динамічного програмування для вирішення оптимізаційних задач

Наступним важливим питанням на будь-якому вугледобувному підприємстві є оптимізація розміщення обмежених інвестиційних ресурсів. Для вирішення задач такого типу найбільш доречним буде застосування методу динамічного програмування, використання якого проілюстровано на прикладі вугледобувного підприємства ВАТ «Орджонікідзевугілля».

Задача динамічного програмування (ДП) є багатоетапною або багатокроковою. Їх розв'язання містять кілька етапів (кроків) і на кожному з них визначається рішення деякої конкретної задачі.

За допомогою керуючих впливів U_i ($i = 0, n-1$) об'єкт необхідно перевести за N кроків із заданого початкового стану S_0 в заданий кінцевий стан S_n . На i -му кроці під дією управління U_{i-1} об'єкт переходить зі стану S_{i-1} в стан S_i . Ефективність управління на кожному кроці оцінюється функцією втрат r_i . Тоді функція мети для всієї задачі дорівнює:

$$R = \sum_{i=1}^n r_i \quad (5.1)$$

Задача ДП полягає у визначенні такого вектора управлінь $U=(U_1^0, U_2^0, \dots, U_n^0)$, який переключав би систему з S_0 в S_n і забезпечував би екстремальне значення цільової функції (1):

$$R = \sum_{i=1}^n r_i \rightarrow \underset{n}{extr} \quad (5.2)$$

У подальшому для визначеності будемо розглядати задачу на пошук максимуму R . Позначимо: F_k - максимальне значення цільової функції при переході системи зі стану S_k в S_n . Тоді

$$F_k(S'_k) = \max(\sum_{i=1}^n r_i) \quad (5.3)$$

В основі методу розв'язання задачі ДП лежить принцип оптимальності Р. Беллмана, який формулюється так: незалежно від того, яким чином система потрапила в даний стан, управління на даному кроці треба вибрати так, щоб сумарний виграш на даному кроці плюс оптимальний виграш на всіх наступних кроках був би максимальним. Цей принцип називається Рекурентним співвідношенням Р. Беллмана:

$$F_k(S_k) = \max_n [r_k(u) + F_{k+1}(S_{k+1})] \quad (5.4)$$

З допомогою співвідношення (5.4) задача ДП вирішується, починаючи з останнього кроку. Покладемо $k = n-1$. Тоді:

$$F_{n-1}(S_{n-1}) = \max_n [r_{n-1}(u) + F_n(S_n)] \quad (5.5)$$

Тут $F_n(S_n) = 0$. Тоді для усіх можливих станів S_{n-1} перебувають $F_{n-1}(S_{n-1})$ та відповідні U_{n-1} які називаються умовно-оптимальними управліннями. Для передостаннього кроку:

$$F_{n-2}(S_{n-2}) = \max_n [r_{n-2}(u) + F_{n-1}(S_{n-1})] \quad (5.6)$$

Визначаються F_{n-2} і U_{n-2} для всіх можливих станів S_{n-2} з урахуванням знайдених раніше $F_{n-1}(S_{n-1})$. Цей процес продовжується до початкового стану, яке відоме (задане), тобто:

$$F_0(S_0) = \max_n [r_0(u) + F_1(S_1)] = \max_n R \quad (5.7)$$

Таким чином, визначається максимум цільової функції $F_0(S_0, X) = \max R$ і оптимальне керування $U=(U_1^0, U_2^0, \dots, U_n^0)$.

Хоча метод динамічного програмування суттєво спрощує вихідні задачі, та безпосереднє його використання, як правило, пов'язане з громіздкими обчисленнями. Для подолання цих труднощів розробляються наближені методи динамічного програмування.

Загальна сума коштів, виділених на реконструкцію ДП «Орджонікідзевугілля» на 2012 рік, складала один мільйон гривень. На основі

техніко-економічних розрахунків встановлено, що в результаті реконструкції, залежно від кількості витрачених коштів, шахти будуть мати потужність, наведену в табл. 5.4. Необхідно визначити оптимальний розподілення коштів між шахтами, що забезпечує максимальне збільшення їх потужності. Таким чином, у цій оптимізаційній задачі використовується критерій – сумарна продуктивність шахт.

Таблиця 5.4 – Потужність вугільних шахт в результаті реконструкції

№ шахти	Кошти, що вкладаються в розвиток (тис. грн)					
	0	200	400	600	800	1000
	Потужність в результаті розвитку (тис. т)					
1	1500	1800	1690	1023	1890	1743
2	2468	2597	2549	2876	2035	1562
3	3089	2468	2178	2962	4579	3012
4	465	800	890	910	1024	986
5	974	990	985	932	945	764
6	1679	1764	2034	2210	2109	1908

Нехай $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ капіталовкладення у розвиток відповідно: шахти ім. Карла Маркса; шахти «Булавинська»; шахти «Ольховатська»; шахти «Вуглегірська»; шахти «Єнакіївська»; шахта «Полтавська», Позначимо через $f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x)$ - функції зміни продуктивності першого, другого, третього і четвертого підприємств при вкладенні в їх розвиток x тис. грн. Цим функціям відповідають рядки 1, 2, 3, 4, 5 в табл.5.1.

Визначимо максимум функції цілі

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4) = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x).$$

При цьому на капіталовкладення $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ накладені обмеження $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = A$, тис. грн.

В основі методу динамічного програмування, що використовується для вирішення поставленої задачі, лежить принцип оптимальності.

Згідно з цим принципом, вибравши деякий початковий розподіл ресурсів, виконуємо багатокрокову оптимізацію, причому на найближчому кроці вибираємо такий розподіл ресурсів, щоб він у сукупності з оптимальним розподілом на всіх наступних кроках призводив до максимального виграшу на всіх кроках, що залишились, включаючи даний.

Виділимо в нашій задачі 3 кроки:

A тис. грн вкладаються в першу та другу шахту одночасно;

A тис. грн вкладаються в першу, другу, третю шахту разом;

A тис. грн вкладаються в першу, другу, третю, четверту шахту разом;

A тис. грн вкладаються в першу, другу, третю, четверту, п'яту шахту разом.

A млн грн вкладаються в шість шахт одночасно.

Позначимо: $F_{1,2}(A), F_{1,2,3}(A), F_{1,2,3,4}(A), F_{1,2,3,4,5}(A), F_{1,2,3,4,5,6}(A)$ відповідно оптимальні розподілу коштів для 1 – 5 кроків.

Алгоритм методу динамічного програмування складається з двох етапів. На першому етапі виконується умовна оптимізація, яка полягає в тому, що для кожного з трьох кроків знаходять умовний оптимальний виграш. На другому етапі виконується безумовна оптимізація. Використовуючи результати першого етапу, знаходять величини капіталовкладень у розвиток шахт $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$, що забезпечують максимальну продуктивність групи підприємств.

Перший етап містить наступні кроки:

1) Обчислення максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень $x = 0, 200, 400, 600, 800, 1000$, які використовуються тільки для шахт 1 і 2. Розрахунок ведеться за формулою

$$F_{1,2}(A) = \max [f_1(x) + f_2(A - x)];$$

$$0 \leq x \leq 6;$$

$$0 \leq A \leq 1000.$$

Результати розрахунку наведено в табл.5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень, які використовуються тільки для шахт 1 і 2

		0	200	400	600	800	1000
F_2		2468	2597	2549	2876	2035	1562
0	1500	3968	4097	4049	4376	3535	3062
200	1800	<u>4268</u>	<u>4397</u>	4349	<u>4676</u>	3835	
400	1690	4158	4287	4239	4566		
600	1023	3491	3620	3572			
800	1890	4358	4487				
1000	1743	4211					

$$F_2(0) = 3968;$$

$$F_2(200) = \max = 4268;$$

$$F_2(400) = \max = 4397;$$

$$F_2(600) = \max = 4491;$$

$$F_2(800) = \max = 4676;$$

$$F_2(1000) = \max = 4572.$$

2) Обчислення максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень $x = 0, 200, 400, 600, 800, 1000$, які використовуються тільки для шахт 1, 2, 3. Розрахунок ведеться за формулою

$$F_{1,2}(A) = \max [f_{1,2}(x) + f_3(A - x)];$$

$$0 \leq x \leq 6;$$

$$0 \leq A \leq 1000.$$

Результати розрахунку наведено в табл.5.6

Таблиця 5.6 – Розрахунок максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень, які використовуються тільки для шахт 1, 2, 3

F_{123}		0	200	400	600	800	1000
		3089	2468	2178	2962	4579	3012
0	3968	7057	6436	6146	6930	8547	6980
200	4268	7357	6736	6446	7230	8847	
400	4397	7486	6865	6575	7359		
600	4491	7580	6959	6669			
800	4676	7765	7144				
1000	4572	7661					

$$F_{123}(0) = 7057;$$

$$F_{123}(200) = \max = 7357;$$

$$F_{123}(400) = \max = 7486;$$

$$F_{123}(600) = \max = 7580;$$

$$F_{123}(800) = \max = 8547;$$

$$F_{123}(1000) = \max = 8847.$$

3) Обчислення максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень $x = 0, 200, 400, 600, 800, 1000$, які використовуються тільки для шахт 1, 2, 3, 4. Розрахунок ведеться за формулою

$$F_{1,2}(A) = \max [f_{1,2,3}(x) + f_4(A - x)];$$

$$0 \leq x \leq 6;$$

$$0 \leq A \leq 1000.$$

Результати розрахунку представлені в табл.5.7

Таблиця 5.7 – Розрахунок максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень, які використовуються тільки для шахт 1, 2, 3, 4

F_{1234}		0	200	400	600	800	1000
		465	800	890	910	1024	986
0	7057	7522	7857	7947	7967	8081	8043
200	7357	7822	8157	8247	8267	8381	
400	7486	7951	8286	8376	8396		
600	7580	8045	8380	8470			
800	8547	9012	9347				
1000	8847	9312					

$$F_{1234}(0) = 7522;$$

$$F_{1234}(200) = \max = 7857;$$

$$F_{1234}(400) = \max = 8157;$$

$$F_{1234}(600) = \max = 8286;$$

$$F_{1234}(800) = \max = 9012;$$

$$F_{1234}(1000) = \max = 9347.$$

4) Обчислення максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень $x = 0, 200, 400, 600, 800, 1000$, які використовуються тільки для шахт 1, 2, 3, 4, 5. Розрахунок ведеться за формулою

$$F_{1,2}(A) = \max [f_{1,2,3,4}(x) + f_5(A - x)];$$

$$0 \leq x \leq 6;$$

$$0 \leq A \leq 1000.$$

Результати розрахунку представлені в табл.5.8

Таблиця 5.8 – Розрахунок максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень, які використовуються тільки для шахт 1, 2, 3, 4, 5

F_{12345}		0	200	400	600	800	1000
		974	990	985	932	945	764
0	7522	8496	8512	8507	8454	8467	8286
200	7857	8831	8847	8842	8789	8802	
400	8157	9131	9147	9142	9089		
600	8286	9260	9276	9271			
800	9012	9986	10002				
1000	9347	10321					

$$F_{12345}(0) = 8496;$$

$$F_{12345}(200) = \max = 8831;$$

$$F_{12345}(400) = \max = 9131;$$

$$F_{12345}(600) = \max = 9260;$$

$$F_{12345}(800) = \max = 9986;$$

$$F_{12345}(1000) = \max = 10321.$$

5) Обчислення максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень $x = 0, 200, 400, 600, 800, 1000$, які використовуються тільки для шахт 1, 2, 3, 4, 5, 6. Розрахунок ведеться за формулою:

$$F_{1,2}(A) = \max [f_{1,2,3,4,5}(x) + f_6(A - x)];$$

$$0 \leq x \leq 6;$$

$$0 \leq A \leq 1000.$$

Результати розрахунку наведено в табл. 5.9

Таблиця 5.9 – Розрахунок максимуму критерію оптимізації для різних значень капіталовкладень, які використовуються тільки для шахт 1, 2, 3, 4, 5, 6

		0	200	400	600	800	1000
		1679	1764	2034	2210	2109	1908
0	8496	10175	10260	10530	10706	10605	10404
200	8831	10510	10595	10865	11041	10940	
400	9131	10810	10895	11165	11341		
600	9260	10939	11024	11294			
800	9986	11665	11750				
1000	10321	12000					

На цьому перший етап рішення задачі динамічного програмування закінчується.

Перейдемо до другого етапу розв'язання задачі динамічного програмування – безумовної оптимізації. На цьому етапі використовуються табл. 5.6 – 5.9. Визначимо оптимальні капіталовкладення в розвиток шахт для $A = 0, 200, 400, 600, 800, 1000$. Для цього виконаємо наступні розрахунки.

1. Нехай обсяг капіталовкладень, виділених на розвиток шахт, складає $A = 1000$ тис. грн.

Визначимо обсяг капіталовкладень на розвиток шостої шахти. Для цього використовуємо табл. 5.9. Виберемо на ній діагональ, відповідну $A = 1000$, з чисел візьмемо максимальне – 12000 тис. т. Відзначаємо стовпець, в якому стоїть ця величина. Далі визначаємо в зазначеному стовпці обсяг капіталовкладень у шосту шахту $x_6 = 0$.

На розвиток першої, другої, третьої, четвертої, п'ятої шахти залишається $A = 1000 - x_6 = 1000$ тис. грн.

2. Визначимо обсяг капіталовкладень на розвиток п'ятої шахти. Для цього використовуємо табл. 5.8. Виберемо на ній діагональ, відповідну $A = 1000$, з чисел візьмемо максимальне = 10321 тис. т. Відзначаємо стовпець, в якому стоїть ця величина. Далі визначаємо в зазначеному стовпці обсяг капіталовкладень в п'яту шахту $x_5 = 0$.

На розвиток першої, другої, третьої, четвертої шахти залишається $A = 1000 - x_5 = 1000$ тис. грн.

3. Визначимо обсяг капіталовкладень на розвиток четвертої шахти. Для цього використовуємо табл. 5.7. Виберемо на ній діагональ, відповідну $A = 1000$, з чисел візьмемо максимальне = 9347 тис. т. Відзначаємо стовпець, в якому стоїть ця величина. Далі визначаємо в зазначеному стовпці обсяг капіталовкладень у шосту шахту $x_4 = 200$.

На розвиток першої, другої, третьої шахт залишається $A = 1000 - x_4 = 800$ тис. грн.

4. Визначимо обсяг капіталовкладень на розвиток третьої шахти. Для цього використовуємо табл. 5.6. Виберемо на ній діагональ, відповідну $A = 800$, з чисел візьмемо максимальне – 8547 тис. т. Відзначаємо стовпець, в якому стоїть ця величина. Далі визначаємо в зазначеному стовпці обсяг капіталовкладень у третю шахту $x_3 = 800$.

На розвиток першої, другої шахт залишається $A = 1000 - x_3 = 0$ тис. грн.

Таким чином, для капіталовкладень обсягом $A = 1$ млн грн оптимальним є вкладення в розвиток третьої шахти 800 тис. грн, четвертої – 200 тис. грн, в розвиток першої, другої, п'ятої та шостої шахт кошти не вкладаються.

Отже, нині в Україні, як і у попередні роки, дуже гостро стоїть питання раціонального використання власного енергетичного потенціалу. Вугілля у загальному обсязі енергетичних ресурсів займає найбільш вагомим місце, тому питання, пов'язані із раціоналізацією його використання, завжди будуть актуальними. В рамках цього параграфу за допомогою економіко-математичного моделювання вирішені такі питання як: оптимізація обсягів видобутку вугілля та оптимізація розподілу інвестиційних ресурсів,

спрямованих на підвищення ефективності функціонування вугледобувних підприємств. Питання, поставлені та вирішені в рамках цього дослідження, зможуть привнести позитивний вклад з боку економічної ефективності функціонування вугледобувних підприємств як невід'ємної складової енергетичного потенціалу країни.

5.4 Концептуальні засади запровадження системи показників для оцінки рівня економічного розвитку підприємств

Основними цілями та пріоритетами економічного розвитку промислових територій України є запровадження принципів сталого економічного зростання та підвищення конкурентоспроможності промислового потенціалу шляхом формування умов для забезпечення міських та загальнодержавних потреб у промисловій продукції за рахунок збільшення обсягів виробництва конкурентоспроможної, екологічно чистої, експортноорієнтованої та імпортозамінної продукції.

Розглядаючи урбанізовані та промислові України у цілому, та Дніпропетровського регіону зокрема, слід відзначити, що в центральній та східній частинах України домінують саме промислові підприємства, від рівня розвитку яких і залежить ступінь урбанізації та рівень економічного розвитку регіону. Але звичайно рівень розвитку промисловості знаходиться у прямій залежності з екологічною ситуацією у регіоні, тому говорячи про економічну ефективність та економічний розвиток, слід також приділяти увагу екологічній складовій та звертати увагу на соціальні аспекти; такий підхід у свою чергу забезпечить формування та впровадження у практику концепції сталого розвитку.

Розглядати досягнення економічної ефективності промисловими підприємствами слід на прикладі галузей, які є провідними та формують промисловий потенціал міст та населених пунктів регіону. Однією з провідних галузей для Дніпропетровщини та України у цілому є гірничорудна промисловість, яка є серйозним учасником на світовому ринку. На території України знаходиться близько 20% світових запасів залізної руди. Вітчизняний гірничорудний сектор нараховує 26 підприємств, які випускають весь спектр залізорудної сировини: руду, концентрат, окатиші та агломерат. Балансові запаси України по запасах залізної руди складають понад 30 млрд тонн. Україна є шостим за величиною виробником залізорудної сировини у світі та восьмим за обсягом експорту залізорудної продукції. Згідно статистики, багатство підземних сховищ південно-східної частини України забезпечить неперервну діяльність місцевих виробників ще на 90 – 95 років при щорічному двовідсотковому рості обсягів добутку.

Нині в Україні розвідано 80 родовищ. Найбільшим з них є Криворізький залізорудний басейн, промислові запаси якого становлять 16 млрд тонн (70% всіх запасів руди в Україні) і обсяг видобутку більш ніж 80%. Тут є багаті та бідні руди. Багаті руди можна використовувати в металургії без збагачення. Промислові запаси багатих руд без збагачення складають понад 43% всіх

відомих запасів багатих руд України. Їх видобуток складає понад 40% від всього видобутку. На сьогодні експлуатується понад 90% запасів багатих руд і понад 50% бідних. Вміст заліза в багатих рудах у середньому складає 57,6%. Однак розробка багатих залізних руд не забезпечує потреб металургії. Тому ведеться розробка бідних руд – залізних кварцитів. Ці руди легко збагачуються. Процес збагачення здійснюється на п'яти гірничо-збагачувальних комбінатах: Південному, Новокриворізькому, Центральному, Північному та Інгулецькому [24, 25].

Світова криза негативно вплинула на виробництво та реалізацію залізорудної сировини. Показники прибутковості гірничо-збагачувальних комбінатів у 2009 році знизилися в порівнянні з 2008 роком, але за оцінками консалтингової компанії «Влант», вже в 2010 році світова торгівля залізною рудою збільшилася на 11% у порівнянні з 2009 роком, що стало рекордним показником за останні роки (для порівняння, в 2001–2007 роках середньорічні темпи проросту були на рівні 7,5%). В абсолютному виразі міжнародна торгівля склала майже 1,1 млрд тонн. При цьому завдяки значному росту цін (протягом року світові індикатори зросли в 1,5–2 рази) більшість експортерів різко збільшила виручку від реалізації продукції. Таким чином, експорт України у вартісному виразі зріс на 98%, а сумарний обсяг світового експортного ринку перевищив 100 млрд доларів.

Головними факторами стійкого зростання ринку залізної руди в 2010 році були відновлений попит зі сторони промислово розвинутих країн і збереження досягнутих обсягів імпорту в КНР. Країни Європейського союзу повернули більше половини падіння імпорту залізної руди, яке сталося у 2009 році, імпорт Японії практично повернувся до докризових показників, а закупівель Республіки Корея і Тайвань встановили нові історичні максимуми. В 2010 році збільшився імпорт залізної руди зі сторони більшості другорядних покупців – Росії, США, Канади, Саудівської Аравії, Аргентини [24].

Ситуація, яка склалася у галузі, вимагає запровадження нових методів та підходів щодо оцінки рівня економічного розвитку підприємств галузі, такий підхід може бути адаптований для всіх промислових підприємств, з урахуванням ситуації, що існує на момент оцінки рівня економічного розвитку.

Тож переходячи безпосередньо до **рекомендації щодо формування системи показників оцінки економічного розвитку підприємств, які функціонують на промислових територіях України**, слід відзначити, що оскільки підприємство як економічна система має складну внутрішню структуру, а розвиток підприємства залежить від розвитку внутрішніх підсистем, з яких складається дана система, можна розглядати такі внутрішні механізми розвитку підприємства з різних точок зору. Вибрана стратегія оцінки результативності діяльності підприємства відіграватиме у даному випадку ключову роль, бо напрям стратегічної оцінки повинний характеризувати діяльність підприємства за ключовими векторами.

Аналізуючи результати діяльності підприємства за ключовими напрямками, найбільш доцільно розглядати результативність відповідно до структури видів діяльності (рис. 5.1) [26].

Виходячи з зазначених видів діяльності підприємства, слід будувати стратегію управління результативністю, його функціонування (зокрема у гірничорудній промисловості) на майбутні періоди, а також розглядати ключові чинники, які мають відображати безпосередній та опосередкований вплив на основні господарські процеси на підприємстві. Відповідна класифікація запропонована на рис. 5.2 [27].

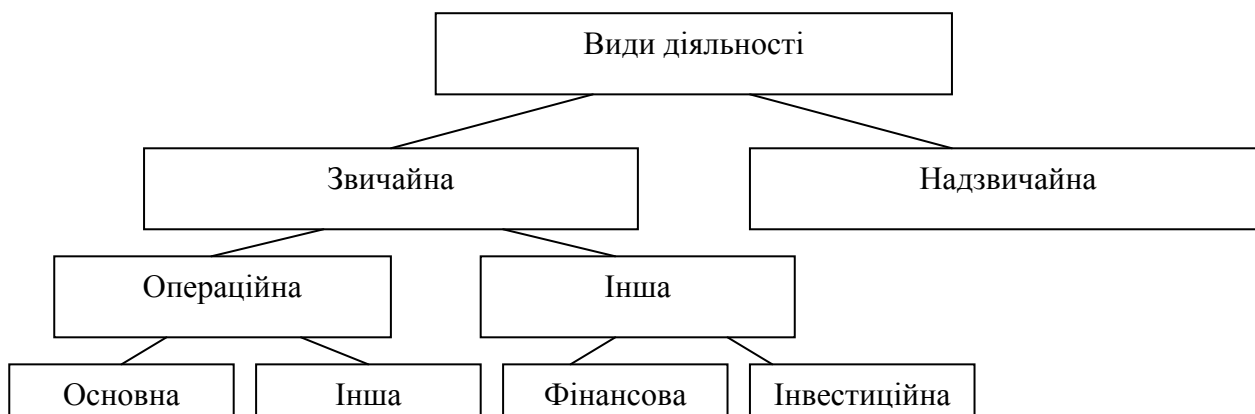


Рисунок 5.1 – Класифікація видів діяльності підприємства за джерелами фінансових результатів [28, 29]

Вважається, що найбільш доцільно поділити чинники на безпосередні та опосередковані, адже підприємство, як економічна система вирізняється унікальністю своєї внутрішньої структури, і це викликає необхідності виділення безпосередніх (прямих) факторів та їх виокремлення з сукупності опосередкованих (загальних) факторів. До чинників, які безпосередньо впливають на результативність функціонування підприємства, відносимо фактори, пов'язані з його операційною діяльністю та капіталом підприємства. Тому оцінка саме цих двох параметрів діяльності підприємства здатна відобразити результативність найбільш повно.

Поряд з чинниками впливу до управління результативністю діяльності підприємства має бути введено систему показників, про яку вже йшлося вище. Така система повинна відображати та взаємопов'язувати внутрішньогосподарські процеси, які властиві підприємству як економічній системі. І тому найбільш важливими та інформативними для оцінки результативності є показники, що характеризують операційну діяльність та показники капіталу підприємства.

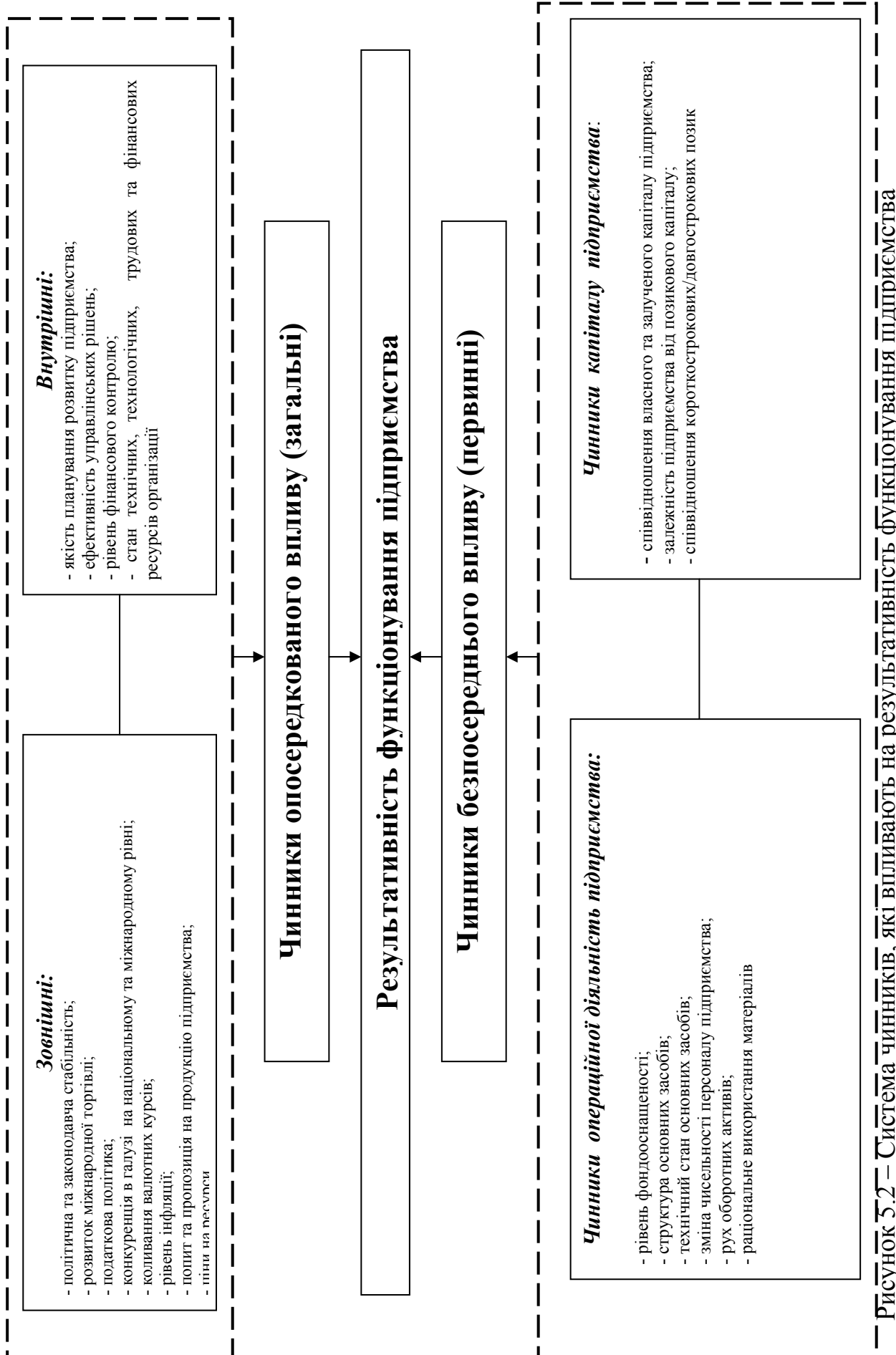


Рисунок 5.2 – Система чинників, які впливають на результативність функціонування підприємства

Вважається, що побудова системи оцінки на основі таких показників повинна спиратися на відповідні принципи, від чого залежатиме точність оцінок та подальше управління результативністю функціонування підприємства та його розвитком. Пропонується формування системи показників, за якими можна оцінити економічний стан підприємства на основі агрегованого показника, спираючись на:

1) принцип різносторонності – тобто можливості оцінки діяльності підприємства за вибраними напрямками діяльності;

2) принцип спрямованості – тобто виділення ключового показника діяльності, за умови максимізації або мінімізації якого відбувається покращення економічного стану підприємства у цілому або означеного напрямку діяльності зокрема;

3) принцип універсальності – тобто сформована система показників має бути універсальним вимірником результативності діяльності підприємства та має надавати можливість порівняння результативності діяльності підприємств у межах галузі;

4) принцип динамічності – сформована система показників має носити динамічний характер та повинна бути завжди максимально пристосованою до умов навколишнього середовища;

5) принцип однозначності – сформована система показників має надавати однозначну та несуперечливу оцінку діяльності підприємства відповідно до видів діяльності;

6) принцип інтегральності – сформована система показників повинна бути такою, щоб елементи, які її формують, могли бути поєднані в інтегральні показники за напрямками діяльності;

7) принцип оптимізації – побудована система показників повинна передбачати можливість подальшої оптимізації ключових показників результативності діяльності (рис. 5.3).

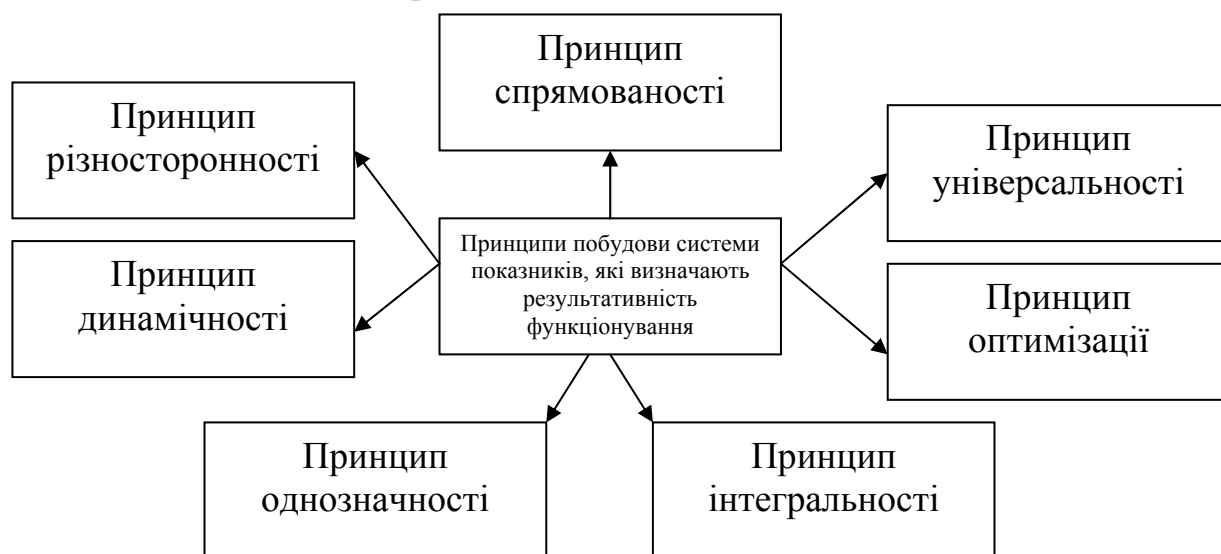


Рисунок 5.3 – Принципи побудови системи показників, які визначають результативність функціонування підприємства

5.5 Формування системи показників для оцінки рівня економічного розвитку підприємств, які функціонують на промислових територіях України

Система показників, яка відповідає вищезазначеним принципам, надає можливість комплексної оцінки результативності функціонування підприємства, а також передбачає таку мету, як підтримка прийняття управлінських рішень щодо результативності діяльності. Відповідно до вибраних вище ключових напрямів для підприємств гірничорудної промисловості буде сформовано систему показників, яка дозволить здійснити: оптимізацію результативних показників операційної діяльності гірничорудного підприємства; оптимізацію результативних показників, які характеризують капітал гірничорудного підприємства.

За умови, що буде досягнуто узгодженість показників, які характеризують зазначені напрями, та буде оптимізовано кожний з них, буде одержано загальний позитивний ефект для підприємства як економічної системи. І відповідно, якщо всі показники діяльності досягнуть своїх оптимальних значень, відбудеться максимізація ключових показників функціонування підприємства. Це надасть можливість приймати ефективні управлінські рішення щодо результативності діяльності в ринкових умовах господарювання з застосуванням моделювання комплексу економіко-математичних моделей.

Загальну стратегію підтримки прийняття управлінських рішень за допомогою моделювання динаміки економічного розвитку підприємства (зокрема гірничорудної промисловості) пропонується відобразити у вигляді структурно-логічної схеми (рис. 5.4). Такий внутрішній механізм функціонування містить не тільки оптимальне планування вибраних напрямів діяльності (горизонтальну структуру), але поряд з цим передбачає розгляд кожного напрямку окремо (вертикальна структура). Тому в межах кожного напрямку, де необхідним є прийняття управлінських рішень, виникають такі рівневі завдання: визначення напрямку управлінського впливу на: операційну діяльність; капітал підприємства;

1) визначення напрямку реалізації впливу, тобто тих складових, які характеризують вибраний напрям діяльності стосовно: оптимального планування показників результативності операційної діяльності, що впливає на ресурсну складову функціонування підприємства; оптимального планування показників, що відображають капітал підприємства, що передбачає вплив на складові цінності та зростання бізнесу, а також на складову структури капіталу;

3) визначення показників, на які спрямовується вплив у межах кожного напрямку управління, тобто кожній складовій, яка характеризує напрям діяльності підприємства, притаманний відповідний набір показників, які демонструють на скільки ефективно функціонує підприємство у кожному окремому напрямі;

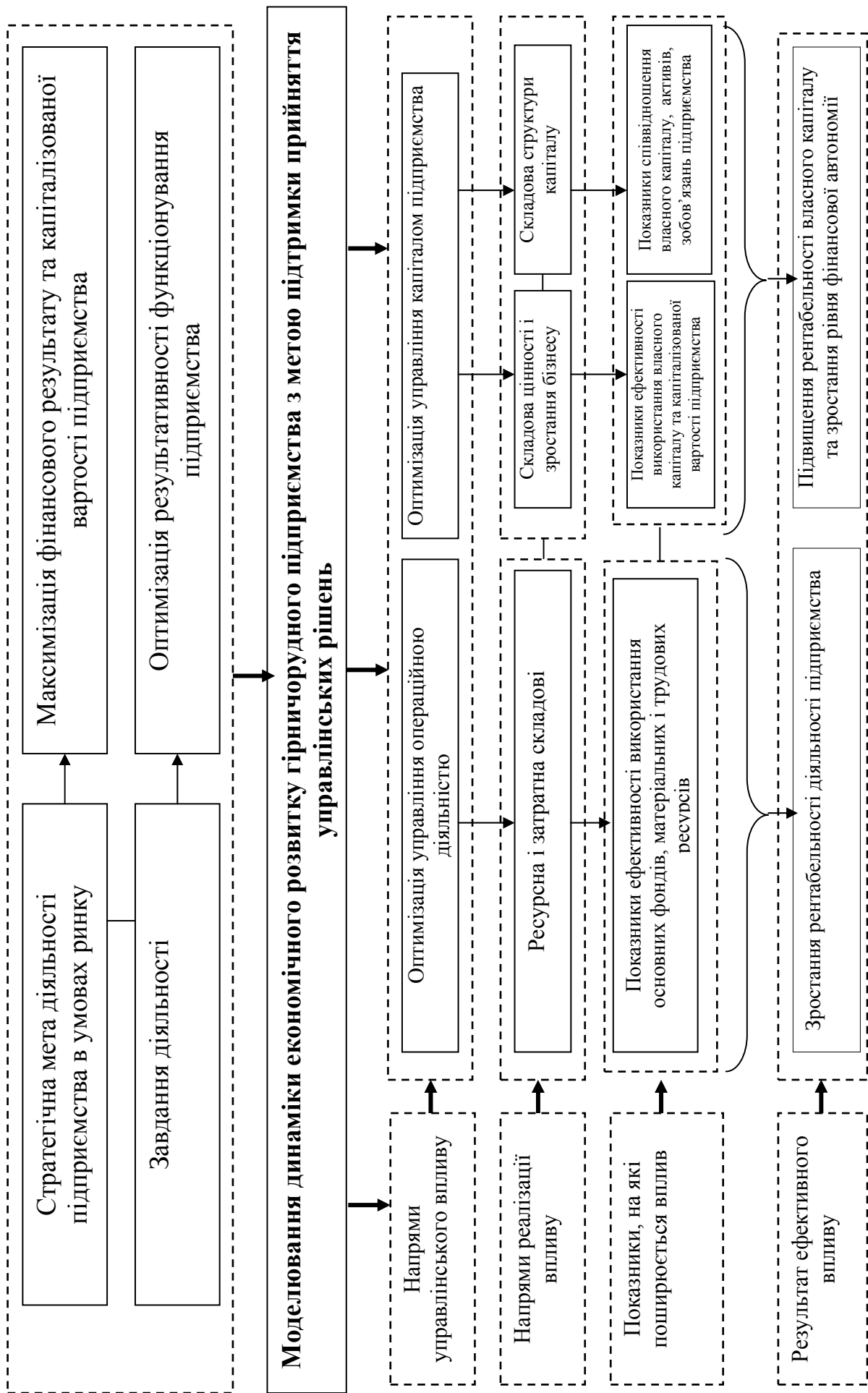


Рисунок 5.4 – Структурно-логічна схема моделювання динаміки економічного розвитку гнричорудного підприємства для підтримки прийняття управлінських рішень

4) визначення результату ефективного впливу, тобто впливаючи на ефективність розподілу ресурсів підприємства, на його структуру капіталу, можна говорити про поліпшення економічного стану підприємства шляхом оптимального планування показників його діяльності на наступний період. Адже нормальний економічний стан підприємства характеризує загальну злагодженість його функціонування як економічної системи.

5) підтримка для підприємств гірничорудної промисловості (які розглядатимуться при практичній оцінці результативності функціонування та моделюванні процесу управління), нормального рівня економічного розвитку за умови оптимізації показників операційної діяльності. У цей же час підприємство може не мати оптимальної структури капіталу. Але така ситуація є зрозумілою, оскільки не всі показники діяльності можуть досягти свого оптимального значення у певний момент часу. Тому на підприємстві повинна підтримуватися найбільш оптимальна структура співвідношення показників у межах кожного напрямку управління;

6) урахування факторів зовнішнього та внутрішнього середовища, що впливають на результативність діяльності підприємства, яке функціонує в ринкових умовах господарювання.

Пропоноване обґрунтування створення системи показників, за якими буде оцінюватися та аналізуватися результативність діяльності підприємства, знайшло відображення у роботах автора [27, 30 – 32].

5.6 Врахування показників операційної діяльності промислових підприємств при оцінці рівня економічного розвитку

З вищеведеного опису структурно-логічних співвідношень, які притаманні внутрішньогосподарському механізму підприємства як економічній системі виникає потреба подальшого наповнення описової частини такого механізму конкретним переліком показників, який буде характеризувати кожний із зазначених напрямів для підтримки прийняття управлінських рішень.

Найбільше значення для кожного промислового підприємства (зокрема, й гірничорудного), має його операційна діяльність, оскільки від її ефективності залежить основна частина прибутку підприємства і його майбутній розвиток. Тому оптимізація параметрів операційної діяльності є стратегічною метою для підприємства, що вже вийшло на той рівень розвитку, який вимагає від нього максимізації рівня прибутковості діяльності. Саме до таких підприємств відносяться гірничо-збагачувальні комбінати Криворізького басейну, для умов функціонування яких здійснюється пристосування запропонованого методу оцінки результативності діяльності та підтримки прийняття управлінських рішень.

Під час оптимізації управління операційною діяльністю, перш за все, розглядається ресурсна (затратна) складова, яка спричиняє безпосередній вплив на результативні показники, такі як дохід (виручка від реалізації продукції) та прибуток підприємства. Ефективне використання наявних ресурсів веде до зростання результативних показників, але саме по собі зростання результату ще

не свідчить про зростання ефективності, оскільки поряд зі зростанням доходу (виручки) від реалізації повинна також розглядатися собівартість, яка має знижуватися. На рис. 5.5 наведено стратегію формування системи показників операційної діяльності, яку розглядаємо за трьома напрямками:

- за показниками ефективності використання основних фондів підприємства;
- за показниками ефективності використання трудових ресурсів;
- за показниками ефективності використання матеріальних ресурсів.

Кожен із зазначених напрямів характеризується певною низкою показників, які вказують на скільки ефективно використовуються наявні ресурси підприємства. Зміна абсолютних показників, які демонструють ефективність використання основних фондів, трудових та матеріальних ресурсів підприємства, свідчить про зміни результативних показників діяльності, причому зміна одних показників має розглядатися виключно у співвідношенні зі зміною інших показників.

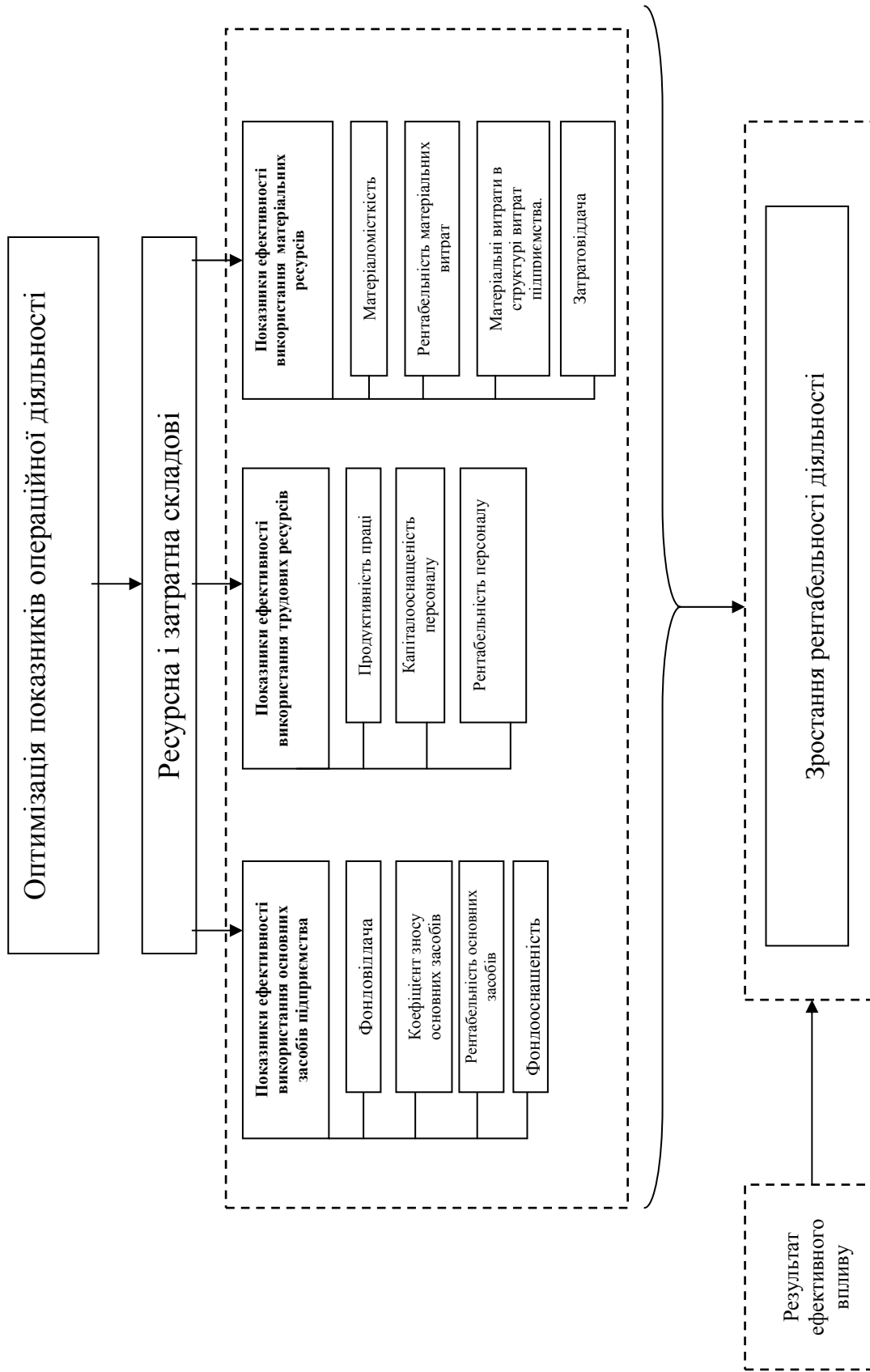


Рисунок 5.5 – Стратегія оптимізації показників операційної діяльності з метою підтримки прийняття управлінських рішень

Тому в результаті розгляду напрямів моделювання процесу здійснення операційної діяльності виникає задача побудови співвідношень між показниками, які будуть свідчити про позитивну динаміку розвитку підприємства. У даному випадку буде розглядатися динаміка зміни темпів росту показників, оскільки найбільш важливим у даному випадку буде той факт, як зміна темпів росту одного показника повинна призводити до більшої чи меншої зміни іншого показника.

Для того, щоб сформулювати співвідношення між абсолютними показниками ресурсної та затратної складових та їх похідної – результативної складової, слід розглянути відносні показники, які характеризують кожний напрям у рамках управління через процес оптимізації. Вже на основі аналізу відносних показників стає можливою побудова необхідних співвідношень.

Якщо здійснити оцінку кожного вищенаведеного напрямку окремо, то можна отримати інформацію відносно того, наскільки є ефективною діяльність гірничорудного підприємства у певному напрямі та відповідно розробляти заходи і планувати показники діяльності в його межах. Але для здійснення загальної оцінки економічного стану та планування діяльності підприємства на майбутні періоди необхідно мати уявлення про загальні тенденції зміни показників у їх взаємозв'язку та взаємозалежності. Зміни одного показника не можна розглядати відокремлено, не здійснюючи порівняння таких змін зі змінами інших показників, які нерозривно з ним пов'язані та відображають якісну сторону діяльності.

Перейдемо до послідовного розгляду напрямів оптимального планування показників операційної підприємства з метою прийняття ефективних управлінських рішень.

Показники ефективності використання основних засобів підприємства відображають рівень використання необоротних активів, що забезпечують темпи розвитку і підвищення ефективності виробництва.

Таким чином, відбувається інтенсифікація відтворення та краще використовуються діючі основні засоби й виробничі потужності підприємства.

Ці процеси, з одного боку, сприяють постійному підтриманню належного технічного рівня кожного підприємства, а з іншого, – дозволяють збільшувати обсяг виробництва продукції без додаткових інвестиційних ресурсів, знижувати собівартість виробів за рахунок скорочення питомої амортизації та витрат на обслуговування виробництва і його управління, підвищувати фондівіддачу і прибутковість.

До показників, що характеризують ефективність використання основних фондів, традиційно відносять фондівіддачу:

$$\Phi_B = \frac{BP}{OF}, \quad (5.8)$$

де BP – виручка від реалізації, тис. грн; OF – залишкова вартість основних фондів підприємства, тис. грн.

Оскільки показник фондівіддачі показує, скільки гривень виручки від реалізації припадає на одиницю вартості основних фондів, то він має тенденцію

до зростання, якщо темпи росту виручки від реалізації перевищують темпи росту вартості основних фондів:

$$K_{BP} > K_{OF}, \quad (5.9)$$

де K_{BP} – темпи росту виручки від реалізації, K_{OF} – темпи росту вартості основних фондів підприємства.

Необхідною умовою відновлення основних фондів у натуральному вигляді є їх відшкодування у вартісній формі, яке здійснюється через амортизацію. Рівень зносу основних фондів підприємства визначається шляхом обчислення коефіцієнта зносу основних фондів:

$$K_{ZO\Phi} = \frac{Z}{OF}, \quad (5.10)$$

де Z – сума зносу основних фондів, тис. грн.

В результаті коефіцієнт зносу основних фондів підприємства повинен мати тенденцію до зменшення, бо чим менш зношеними є основні фонди підприємства, тим краще на підприємстві відбувається процес їх відтворення. Тому, якщо розглянути співвідношення темпів зміни показників, які формують коефіцієнт зносу, то між ними буде встановлено наступне співвідношення:

$$K_{OF} > K_Z, \quad (5.11)$$

де K_{OF} – темпи росту вартості основних фондів підприємства; K_Z – темп росту зносу основних фондів.

Рентабельність основних фондів підприємства є відносним показником, який характеризує рівень ефективності використання цих фондів з точки зору того, яка частка отриманого підприємством прибутку припадає на одиницю вартості виробничих фондів підприємства:

$$\Phi_P = \frac{\Pi}{OF}, \quad (5.12)$$

де Π – чистий прибуток, отриманий підприємством протягом періоду, тис. грн.

Рентабельність основних виробничих фондів за умов нормально економічного розвитку підприємства повинна зростати, тому співвідношення між формуючими її показниками приймає вигляд:

$$K_{\Pi} > K_{OF}, \quad (5.13)$$

де K_{Π} – темп росту прибутку підприємства; K_{OF} – темп росту вартості основних фондів підприємства.

Фондооснащеність показує вартість основних фондів, що припадає на одного працівника:

$$\Phi_O = \frac{OF}{ЧП}, \quad (5.14)$$

де $ЧП$ – чисельність персоналу підприємства, чол.

Показник фондооснащеності повинен мати тенденцію до зростання, оскільки в такому випадку підвищується рівень механізації праці та технічне

забезпечення процесу виробництва. Тому між темпами росту показників, які формують фондооснащеність, повинно зберігатися наступне співвідношення:

$$K_{OF} > K_{ЧП}, \quad (5.15)$$

де K_{OF} – темп росту вартості основних фондів, $K_{ЧП}$ – темп росту чисельності персоналу.

Вищезазначені співвідношення між темпами зміни показників, які використовуються для оцінки ефективності використання основних фондів підприємства, поєднуємо у загальну динамічну підсистему:

$$K_{BP} > K_{OF} > K_3 > K_{ЧП}. \quad (5.16)$$

Ефективність використання трудових ресурсів підприємства є складовою частиною підвищення ефективності виробництва, що можливе за умови найбільш раціонального використання всіх наявних ресурсів. Тому показники, які демонструють ефективність використання трудових ресурсів, введено до одного з напрямків оптимального планування показників операційної діяльності підприємства.

Для досягнення оптимальних співвідношень між темпами зміни абсолютних значень показників ефективності використання трудових ресурсів потрібно постійно впроваджувати у виробництво досягнення сучасного науково-технічного прогресу, вдосконалювати форми та методи використання трудових ресурсів, посилювати мотивацію кожного робітника щодо підвищення продуктивності праці.

Ефективність використання трудових ресурсів характеризується низкою якісних показників, які дозволять встановити необхідне співвідношення між абсолютними показниками.

Продуктивність праці є узагальнюючим показником ефективності використання робочої сили, який безпосередньо показує наскільки ефективно використовуються трудові ресурси, а за необхідності дозволяє також визначити трудомісткість продукції. Продуктивність праці показує, як співвідносяться вироблені матеріальні або нематеріальні блага з кількістю затраченої на це праці:

$$ПП = \frac{BP}{ЧП}. \quad (5.17)$$

Тобто зростання продуктивності праці означає збільшення обсягу вироблених благ без збільшення трудозатрат. Зростання продуктивності праці означає постійне вдосконалення людьми економічної діяльності, постійне знаходження можливості працювати краще, виробляти більше якісніших благ при тих самих або й менших затратах праці. Тому продуктивність праці за умов економічного розвитку підприємства повинна зростати, і між темпами росту показників, які її визначають, повинно зберігатися співвідношення:

$$K_{BP} > K_{ЧП}, \quad (5.18)$$

де K_{BP} – темпи росту виручки від реалізації, $K_{ЧП}$ – темпи росту чисельності персоналу.

Не менш важливим показником ефективності використання трудових ресурсів є рентабельність персоналу, адже вона дозволяє побачити, яка частина прибутку припадає на одного працівника підприємства:

$$P_{\Pi} = \frac{\Pi}{\text{ЧП}}. \quad (5.19)$$

Оскільки персонал підприємства є ресурсним показником, то очевидно, що темпи його зміни повинні бути меншими ніж темпи зміни прибутку у додатному напрямі, тому:

$$K_{\Pi} > K_{\text{ЧП}}, \quad (5.20)$$

де K_{Π} – темпи росту прибутку підприємства, $K_{\text{ЧП}}$ – темпи росту чисельності працівників підприємства.

До оцінки ефективності використання трудових ресурсів слід додати капіталооснащеність персоналу, яка вказує на те, яка кількість капіталу (активів) підприємства припадає на одного працівника:

$$KO_{\Pi} = \frac{K}{\text{ЧП}}. \quad (5.21)$$

Капітал підприємства повинен зростати більш швидкими темпами. Це буде свідчити про розширення можливостей реінвестування та нарощування обсягів виробництва. Тому між темпами показників, які формують капіталооснащеність, необхідно намагатися забезпечувати співвідношення:

$$K_K > K_{\text{ЧП}}, \quad (5.22)$$

де K_K – темп росту капіталу (активів) підприємства; $K_{\text{ЧП}}$ – темпи росту чисельності персоналу підприємства.

Також слід відзначити, що серед показників, які слугують для визначення ефективності використання трудових ресурсів, існують ті, які пов'язані між собою, а саме, прибуток та капітал (активи) підприємства. На підставі їх співставлення визначається рентабельність капіталу (активів):

$$P_A = \frac{\Pi}{K}. \quad (5.23)$$

Рентабельність активів підприємства, як і інші види рентабельності, повинна зростати. Тому між темпами зміни показників необхідно зберігати співвідношення:

$$K_{\Pi} > K_K, \quad (5.24)$$

де K_{Π} – темп росту прибутку підприємства; K_K – темпи росту капіталу підприємства.

Також співвідношення темпів росту капіталу підприємства та виручки від реалізації є в основі «золотого правила економіки»: $K_{\Pi} > K_{BP} > K_K$ [33, 34].

Із наведених вище співвідношень між показниками, які відображають ефективність використання трудових ресурсів підприємства, впливає таке узагальнююче співвідношення:

$$K_{\Pi} > K_{BP} > K_K > K_{\text{ЧП}}. \quad (5.25)$$

Ефективність використання матеріальних ресурсів є надзвичайно важливим для оптимального планування показників операційної діяльності, особливо підприємств гірничорудної галузі, оскільки частка матеріалів у структурі собівартості продукції складає майже 80%. Оцінка вартості матеріальних ресурсів у процесі використання кількісно пов'язана з економічною категорією «затрати матеріальних ресурсів». Оцінка ефективності використання матеріальних ресурсів на практиці аналітичної роботи і в економічній літературі здійснюється за допомогою різних показників та їх систем. Найбільшого розповсюдження набули показники, в розрахунку яких використовується сума матеріальних витрат.

До показників ефективності використання матеріальних ресурсів відносять: матеріаломісткість продукції, матеріаловіддачу, питому вагу матеріальних затрат у собівартості продукції.

Матеріаломісткість показує, якою є частка витрат матеріальних ресурсів на виготовлення одиниці продукції у загальних витратах:

$$M_M = \frac{MB}{CB}, \quad (5.26)$$

де MB – сума матеріальних витрат виробництва, тис. грн; CB – собівартість продукції, тис. грн.

Показник матеріаломісткості повинен зменшуватись, оскільки зниження цього показника має велике значення – обумовлює скорочення витрат праці, уречевленої в зекономлених матеріальних ресурсах, і збільшення випуску продукції при тих же виробничих фондах, сприяє зниженню собівартості, підвищенню рентабельності. Тому між темпами зміни показників необхідно зберігати наступне співвідношення:

$$K_{CB} > K_{MB}, \quad (5.27)$$

де K_{CB} – темп росту собівартості; K_{MB} – темпи росту матеріальних витрат.

Затратовіддача є показником, який визначає частину виручки від реалізації, що припадає на одиницю собівартості продукції. Таке співвідношення необхідно враховувати під час обчислення ефективності використання матеріальних ресурсів, оскільки продукція гірничорудних підприємств є матеріаломісткою, і співвідношення всіх затрат з виручкою від реалізації теж характеризує ефективність використання ресурсів:

$$Z_B = \frac{BP}{CB}. \quad (5.28)$$

Очевидним є те, що показник затратовіддачі повинен зростати, тобто має збільшуватися обсяг виручки по відношенню до собівартості продукції. Тому між темпами зміни собівартості і виручки від реалізації продукції бажане співвідношення:

$$K_{BP} > K_{CB}, \quad (5.29)$$

K_{BP} – темпи росту виручки від реалізації; K_{CB} – темпи росту собівартості продукції.

Рентабельність матеріальних витрат – показник, який визначає яка частина отриманого підприємством чистого прибутку припадає на одиницю понесених матеріальних витрат:

$$P_M = \frac{\Pi}{MB}. \quad (5.30)$$

Рентабельність матеріальних витрат, поряд з іншими видами рентабельності, повинна зростати, оскільки це буде свідчити про зростання ефективності через зростання отриманого прибутку у порівнянні з понесеними затратами:

$$K_{\Pi} > K_{MB}, \quad (5.31)$$

де K_{Π} – темп росту прибутку підприємства; K_{MB} – темп росту обсягу матеріальних витрат.

Наведені показники, які характеризують окремі сторони ефективності використання матеріальних ресурсів, містять також показники, які можна співставити між собою для виявлення ще одного показника ефективності. Йдеться про величину прибутку підприємства до величини виручки від реалізації продукції. Такий показник має назву комерційної маржі (рентабельності діяльності):

$$P = \frac{\Pi}{BP}. \quad (5.32)$$

Звичайно, що рентабельність діяльності підприємства повинна зростати, але з більш-менш постійним темпом, тобто рівень комерційної маржі повинен бути сталим. Тому хоча треба, щоб прибуток зростав швидше виручки від реалізації, треба слідкувати за тим, щоб вони зростали пропорційно. Співвідношення темпів росту прибутку і виручки від реалізації є в основі «золотого правила» економіки підприємства [33, 35]:

$$K_{\Pi} > K_{BP}, \quad (5.33)$$

де K_{Π} – темпи росту прибутку підприємства; K_{BP} – темпи росту виручки від реалізації продукції.

На основі наведених співвідношень виникає загальна тенденція, яка характеризує ефективність використання матеріальних ресурсів підприємства:

$$K_{\Pi} > K_{BP} > K_{CB} > K_{MB}. \quad (5.34)$$

Розглянуті напрями оптимального планування показників у сукупності демонструють загальну тенденцію та ефективність здійснення операційної діяльності на підприємстві. Зрозуміло, що на основі оцінки окремих напрямів можна надати загальну оцінку та врахувати її при здійсненні управління результативністю функціонування підприємства у цілому.

На основі наведених співвідношень за окремими напрямами пропонується використання послідовності, яка характеризує ефективність використання основних засобів, трудових та матеріальних ресурсів підприємства і являє собою загальну тенденцію, до якої слід прагнути підприємству у своєму розвитку:

$$K_{\Pi} > K_{BP} > K_K > K_{OF} > K_3 > K_{CB} > K_{MB} > K_{CF}. \quad (5.35)$$

Співвідношення між окремими показниками, які характерні для зазначених напрямів оптимізації, обґрунтовуються наступним чином:

$K_K > K_{OF}$ – капітал (активи) підприємства має зростати більш швидкими темпами у порівнянні з основними фондами, оскільки якщо розглядати бажану структуру активів підприємства, то оборотні активи повинні складати 80%, а необоротна частина – 20%, тому приріст активів повинен відбуватися переважно за рахунок оборотних активів і загальний темп приросту активів має випереджати темпи приросту основних фондів;

$K_{OF} > K_{CB}$ – оскільки показник, який відображає затрати ОФ ($Z_m = \frac{CB}{OF}$), тобто яка частина собівартості припадає на одиницю ОФ, повинен мати тенденцію до зменшення;

$K_3 > K_{CB} > K_{MB} > K_{ЧП}$ – співвідношення між темпами росту показників свідчить про те, що в структурі собівартості більшими темпами буде зростати амортизація основних засобів, а меншими будуть темпи збільшення матеріальних витрат та фонду оплати праці, щоб собівартість зростала за рахунок збільшення технічного оснащення процесів виробництва.

На основі виявлених тенденцій та взаємозалежностей між показниками операційної діяльності підприємства можна оцінювати тенденції, які склалися на підприємствах, та порівнювати їх з еталонною (ідеальною) послідовністю, яка свідчить про позитивний економічний розвиток підприємства на основі оптимального планування показників результативності діяльності.

5.7 Врахування показників обсягу та структури капіталу промислових підприємств при оцінці рівня економічного розвитку

Наступним кроком після здійснення оцінки результативності функціонування підприємства за показниками операційної діяльності та його близькості до еталонного рівня є оптимальне планування показників операційної діяльності з метою одержання максимальної економічної ефективності. Залежно від того, яка ставиться мета управління результативністю та на якому рівні здійснюється управлінський вплив вибирають різні показники. Так власники підприємства, зазвичай, максимізують чистий прибуток. Підприємства, як виробничі і структурні одиниці, як правило, прагнуть максимізувати необхідний обсяг реалізації продукції, оскільки при підвищенні даного показника і заданому пропорційному зростанні темпів зміни інших показників це посилить його ринкову позицію. Як результат ефективного впливу на процес здійснення операційної діяльності підприємство отримає вигоду у вигляді зростання рентабельності діяльності за умови, що фінансовий результат операційної діяльності (прибуток) підприємства буде максимізуватися.

Далі перейдемо до розгляду наступного напрямку, що формує стратегію позитивного економічного розвитку підприємства, а саме – капіталу підприємства. На сьогодні відбувається зміщення пріоритетів у об'єктах та цільових установах системи управління капіталом підприємства. Якщо в економіці, що централізовано планувалась, свобода в маніпулюванні ресурсами, їх відшкодування була досить обмежена, а підприємства були поставлені в строгі рамки і не могли вибирати найбільш раціональну структуру ресурсів, то в ринковій економіці такі обмеження, по суті, не існують, а ефективне управління капіталом вимагає здійснення оптимізації ресурсного потенціалу підприємства. Формування структури капіталу на багатьох підприємствах здійснюється інтуїтивно або згідно з традиціями, без належного аналітично-математичного обґрунтування [36]. Тому пропонується розглянути складові, які впливають на оптимальну структуру капіталу підприємства і проаналізувати показники, які демонструють наскільки ефективними є управлінські рішення у даному напрямі (рис. 5.6).

Вважається, що оптимальне планування показників структури та обсягу капіталу підприємства повинно містити такі складові як:

- складова цінності та зростання бізнесу;
- складова фінансової структури капіталу підприємства.

Відповідно кожна з цих складових характеризується набором показників, які відображають якісну сторону оптимального планування.

Тому перейдемо до більш детального розгляду складових капіталу підприємства та показників, які з ними пов'язані.

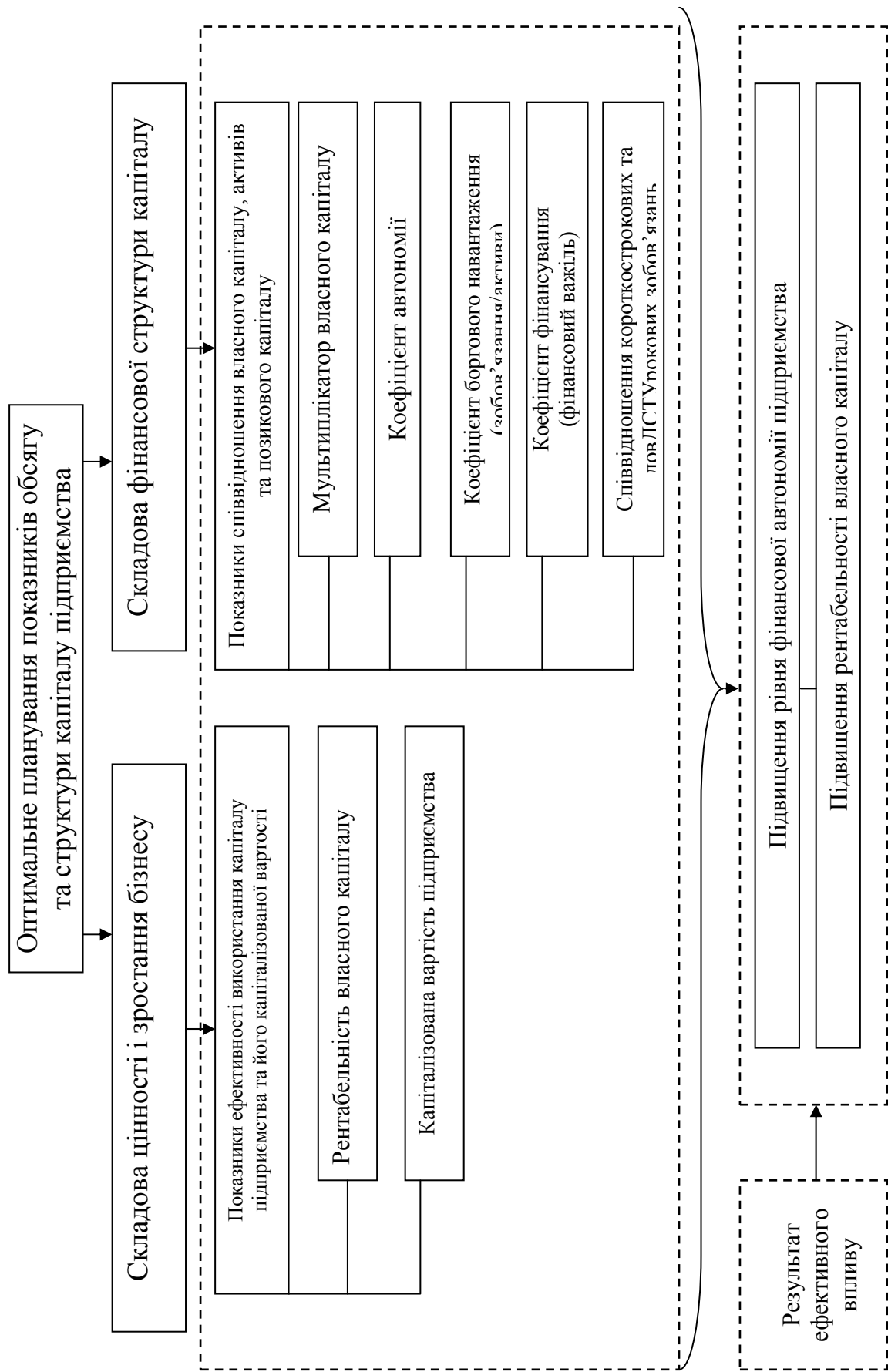


Рисунок 5.6 – Стратегія оптимального планування обсягу та структури капіталу

Складова цінності і зростання бізнесу має важливе значення, оскільки від того, наскільки успішною є ринкова позиція підприємства, напряму залежить його подальший економічний стан та майбутній економічний розвиток. Звичайно, що цінність бізнесу повинна постійно зростати та забезпечувати власникам підприємства відповідний рівень прибутковості. Для оцінки складової цінності та зростання бізнесу пропонується застосування показників рентабельності власного капіталу підприємства та капіталізованої вартості підприємства.

Рентабельність власного капіталу підприємства оцінює, який обсяг прибутку приносить кожна одиниця власного капіталу підприємства:

$$R_{BK} = \frac{\Pi}{BK}, \quad (5.36)$$

де Π – чистий прибуток підприємства, тис. грн; BK – обсяг власного капіталу підприємства, тис. грн.

Очевидно, що підприємство у своєму розвитку прагне до максимізації рентабельності власного капіталу, тому темпи росту прибутку підприємства повинні випереджати темпи росту власного капіталу:

$$K_{\Pi} > K_{BK}, \quad (5.37)$$

де K_{Π} – темпи росту чистого прибутку підприємства; K_{BK} – темпи росту власного капіталу підприємства.

Якщо говорити про такий показник як капіталізована вартість підприємства, то слід відзначити, він є важливим показником діяльності для акціонерних товариств, адже характеризує ринкову позицію підприємства та містить в собі інформацію про ринкову вартість капіталу підприємства. За умови зростання капіталізованої вартості підприємства збільшується його інвестиційна привабливість, тому підприємство є зацікавленим у зайнятті такої ринкової позиції, яка дозволяє йому мати високий рівень капіталізованої вартості. Підприємство буде знаходитися на максимально вигідних ринкових позиціях за умови, що темпи росту рівня капіталізованої вартості перевищуватимуть темпи росту інших результативних показників підприємства, в даному випадку темп росту чистого прибутку підприємства:

$$K_{KB\Pi} > K_{\Pi}, \quad (5.38)$$

$K_{KB\Pi}$ – темп росту рівня капіталізованої вартості; K_{Π} – темп росту чистого прибутку підприємства.

Другою складовою, яка розглядається для забезпечення оптимальності капіталу підприємства, є складова його фінансової структури. В даному випадку також слід знайти еталонне співвідношення темпів зміни окремих складових, яке забезпечить оптимальність структури капіталу підприємства. Існує велика кількість показників, які характеризують фінансову структуру капіталу підприємства. Доцільно ті з них, що характеризують найбільш значні складові капіталу підприємства, дають загальне уявлення про структуру і найкраще співвідношення між складовими відповідно до темпів їх зміни.

Першим показником, який вибрано, є мультиплікатор капіталу підприємства; він відображає співвідношення між сукупним капіталом (активами) підприємства та обсягом його власного капіталу, тобто дозволяє побачити, яку кількість капіталу забезпечує кожна вкладена одиниця власного капіталу:

$$M_{BK} = \frac{K}{BK}, \quad (5.39)$$

де K – активи підприємства, тис. грн; BK – власний капітал підприємства, тис. грн.

Показником, який є оберненим до показника мультиплікатора власного капіталу, є коефіцієнт автономії; він показує, яку частину становить частка власного капіталу у структурі сукупного капіталу підприємства:

$$KA = \frac{BK}{K}. \quad (5.40)$$

Зважаючи на наведені два взаємооберненні показники, структури капіталу, відзначимо, що за умов нестійкого економічного середовища, частка власного капіталу на підприємствах України повинна складати близько 80%. Тільки за такої умови вдається уникнути високих ризиків, які спричинені залученням позикового капіталу. Тому хоча нормативно прийнято [37], що значення коефіцієнта автономії повинно перевищувати 0,5, за реальних економічних умов, що склалися в Україні, воно має бути вищим. Відповідно до цього можна зробити висновок, що темпи приросту обсягу власного капіталу підприємства повинні переважати над темпами росту сукупного капіталу підприємства:

$$K_{BK} > K_K, \quad (5.41)$$

де K_{BK} – темп росту власного капіталу підприємства; K_K – темп росту сукупного капіталу підприємства.

Наступним показником, який характеризує структуру капіталу підприємства, є фінансовий важіль (коефіцієнт фінансування), який дозволяє оцінити як співвідноситься власний капітал підприємства з обсягом позикового капіталу:

$$K\Phi = \frac{PK}{BK}, \quad (5.42)$$

де PK – позиковий капітал підприємства, тис. грн; BK – власний капітал підприємства, тис. грн.

Як вже зазначалося вище, за умов нестійкого економічного середовища власний капітал підприємства повинен відігравати ключову роль у формуванні його активів і значно переважати у загальній структурі капіталу в порівнянні з позиковими коштами. Тому між темпами росту позикових та власних коштів необхідно підтримувати співвідношення:

$$K_{BK} > K_{PK}, \quad (5.43)$$

де K_{BK} – темпи росту власного капіталу підприємства; K_{PK} – темпи росту позикового капіталу підприємства.

Не менш важливою характеристикою складових капіталу підприємства виступає обчислення коефіцієнта боргового навантаження, який показує, яка кількість позикових коштів (зобов'язань) підприємства припадає на кожен одиницю його сукупного капіталу:

$$K_{BH} = \frac{PK}{K}, \quad (5.44)$$

де PK – позикові кошти підприємства, тис. грн; K – капітал (активи) підприємства, тис. грн.

Звичайно, що на підприємстві, навіть за умови залучення додаткових коштів ззовні, зацікавлені в тому, щоб кожна одиниця таких коштів приносила якнайбільше зростання обсягу активів підприємства. Тому між темпами росту обсягу позикових коштів та темпами росту активів підприємства бажаним є наступне співвідношення:

$$K_K > K_{PK}, \quad (5.45)$$

де K_K – темпи росту капіталу підприємства; K_{PK} – темп росту позикового капіталу підприємства.

У продовження аналізу структури капіталу підприємства також слід зазначити, що позиковий капітал підприємства теж необхідно розглядати за його структурою, оскільки важливим є термін залучення позикових коштів підприємства. Відомо, що відповідно до терміну залучення розрізняють:

- короткострокові зобов'язання;
- довгострокові зобов'язання.

І якщо порівнювати ці види зобов'язань підприємства, то слід зазначити, що довгострокові зобов'язання повинні приростати більш швидкими темпами, оскільки перевага короткострокових джерел у структурі позикових коштів є негативним фактором, що характеризує погіршення структури балансу й підвищення ризику втрати фінансової стабільності. Через фінансову кризу на підприємствах України виникли значні складності з залученням довгострокових джерел фінансування. Але еталонна тенденція темпів зміни довгострокових та короткострокових зобов'язань все ж таки має виглядати так:

$$K_{ДЗ} > K_{КЗ}, \quad (5.46)$$

де $K_{ДЗ}$ – темпи росту довгострокових зобов'язань підприємства; $K_{КЗ}$ – темп росту короткострокових зобов'язань підприємства.

Таким чином, розглянуто ті показники, обчислюючи й аналізуючи які, можна оцінити результативність функціонування підприємства за наявним капіталом підприємства, а також намітити напрями оптимального планування його обсягу та структури на майбутні періоди.

Але для визначення загальної тенденції зміни структурних складових капіталу слід узагальнити наведені вище співвідношення темпів зміни показників та поєднати їх у єдиний динамічний ряд темпів зміни. Знаючи еталонну (ідеальну) тенденцію зміни темпів росту показників капіталу підприємства, можна порівняти фактичну тенденцію, яка склалася на

підприємстві в аналізований період, та оцінити, наскільки відрізняється фактична ситуація від бажаної.

І якщо поєднати всі вищенаведені співвідношення, то отримаємо еталонну тенденцію наступного вигляду:

$$K_{КВП} > K_{П} > K_{ВК} > K_{К} > K_{ДЗ} > K_{КЗ}. \quad (5.47)$$

Співвідношення (5.47) можна розширити за рахунок ще одного показника структури капіталу підприємства, а саме – обсягу власного оборотного капіталу підприємства (ВОК). Якщо розглядати структуру капіталу взагалі, то оборотний капітал повинен зростати більш швидкими темпами у порівнянні з загальним обсягом капіталу та слідувати за загальним обсягом власного капіталу підприємства:

$$K_{КВП} > K_{П} > K_{ВК} > K_{ВОК} > K_{К} > K_{ДЗ} > K_{КЗ}. \quad (5.48)$$

Така тенденція буде свідчити про оптимальну структуру капіталу підприємства, тобто про досягнення оптимальної структури його складових.

ВИСНОВКИ

Обґрунтування напрямів щодо комплексної генерації та утилізації в умовах урбанізованих та промислових територій України є одним із напрямів підвищення ефективності використання енергетичного потенціалу нашої держави.

Державна політика передбачає розширене використання нетрадиційних технологій та відновлюваних джерел енергії з врахуванням екологічної та економічної компонент, що призводить до економічності та довготривалості використання традиційних джерел.

При проведенні експериментально-дослідних робіт, використовуючи методики, розроблені в ДВНЗ «НГУ» щодо енергетичного забезпечення урбанізованих та промислових територій було встановлено низку факторів:

Проведення випробування з підземної газифікації вугілля

- проведений експеримент доводить ефективність застосування підземної газифікації вугілля, як технологія відпрацювання запасів;
- варіація дуттьовими сумішами (повітрям, кисневоповітряною, парокисневоповітряною і пароповітряною) дає можливість виведення системи газифікації на необхідний рівень енергетичних газів;
- режими реверсування системи є обов'язковими для підтримки матеріально-теплого балансу процесу і формування прямолінійності реакційного каналу. Реверсування відновлювальної та окислювальної зон підземного газогенератора забезпечує необхідний енергетичний баланс системи і температурний режим кінетики ендотермічних реакцій газифікації вугілля;
- відповідність аналітичних розрахунків тестовим результатам дає можливість стверджувати про відповідність результатів для натурних умов;
- кількісні й якісні показники імітаційного процесу СПГВ залежать від гірничо-геологічних і гідрогеологічних умов, параметрів монтажу і подібності моделі природним умовам, а також адаптаційних параметрів вигазування моделі вугільного пласта;
- застосування комбінованої системи подачі дуття і відведення генераторних газів дозволяє на 40 % зменшити час на розпалювання пластів і на 32% збільшити швидкість теплової підготовки реакційного каналу газогенератора при зменшенні витрат дуття на 15 – 18 %;
- при стабільному режимі газифікації моделі вугільного пласта забезпечується вихід генераторного газу 2,1 – 2,49 м³/кг вугілля з теплою спалювання 2,05 – 2,36 МДж/м³ і складом горючих компонентів в генераторному газі CH₄ – 3,6 – 15,2 %, CO – 9,5 – 22,3 %, H₂ – 6,2 – 25,8 %;
- стабільність процесу газифікації вугільного пласта пов'язана з кількісним, якісним і збалансованим складом дуття, що забезпечується реверсуванням зон реакційного каналу і режимами подачі дуттьових сумішей безпосередньо на вогневий вибій.

Випробування з гібридизації вітчизняного автомобіля бюджетного класу:

- для гібридизації автомобіля бюджетного класу оптимальним є використання паралельної конфігурації з коефіцієнтом гібридизації менше 0,5;
- система керування електричним приводом гібридного автомобіля повинна містити обмеження на завдану швидкість на рівні швидкості холостого ходу двигуна внутрішнього згоряння з урахуванням поточної передачі;
- для забезпечення економії палива при експлуатації гібридизованого автомобіля ЗАЗ «Сенс» оптимальним є використання суперконденсаторів із ємністю близько 400 кДж;
- алгоритм керування станом заряду накопичувача повинен бути побудований з урахуванням оптимальної потужності двигуна внутрішнього згоряння.

Виконаний аналіз впливу об'єктів енергозабезпечення на стан довкілля урбанізованих та промислових територій України та екологічних і соціально-економічних наслідків видобутку енергоносіїв дозволяє зробити наступні висновки:

1. Останнім часом в районах розміщення об'єктів енергозабезпечення, як і в прилеглих до них урбанізованих та промислових територій України, продовжують накопичуватися негативні наслідки видобутку енергоносіїв і, в першу чергу, підприємств вугільної галузі, що проявляється в збільшенні забруднення підземних вод, річок і водоймищ, затопленні і заболочуванні прилеглих територій, вилученні земельних площ із сільськогосподарського обороту, деформації земної поверхні.

2. При оцінці впливу об'єктів енергозабезпечення на стан довкілля їх не можна розглядати ізольовано від наявних в регіоні інших техногенних об'єктів, поточного значення показників, що характеризують якість навколишнього середовища і перспектив їх зміни.

3. Враховуючи високу завантаженість урбанізованих та промислових територій України техногенними об'єктами і різноспрямований їх характер впливу на стан довкілля, для оцінки дії нових перспективних об'єктів енергетики на екологічну ситуацію в цих регіонах необхідне проведення докладного аналізу чинників, з урахуванням їх різноманітності, рівнів і особливостей взаємодії.

4. При оцінці аварійної небезпеки об'єктів енергетики як методологічну основу може бути прийнято положення, що інтегральною мірою їх небезпеки є економічна оцінка аварій та небезпек, що притаманні процесам енергозабезпечення і характерні для технологічних процесів або виробництва. Враховуючи те, що виникнення аварій, обумовлених впливом небезпечних виробничих чинників, носить імовірнісний характер, економічна оцінка цих явищ враховує очікувані економічні збитки при виникненні аварій і ймовірнісну природу їх виникнення.

5. Складні гірничо-геологічні умови більшості вугільних родовищ України обумовлюють наявність великої кількості небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які істотно впливають на життя і здоров'я тих, хто

працюють і обумовлюють високий рівень травматизму і профзахворювань в галузі. Тому при оцінці перспектив об'єктів з видобутку та переробки енергетичної сировини необхідно враховувати показники, що характеризують соціальну захищеність трудящих і техніко-природну безпеку урбанізованих та промислових територій України (у частині соціальних виплат, рівнів технологічної і техногенної безпеки).

6. Враховуючи екологічну ситуацію, що склалася на урбанізованих та промислових територіях України варіанти подальшого розвитку об'єктів енергозабезпечення, які ведуть до погіршення умов мешкання населення в цих регіонах і зниження унаслідок діяльності об'єктів енергозабезпечення їх народногосподарської цінності, недопустимі. Тому всі питання, пов'язані з розвитком об'єктів енергозабезпечення, необхідно вирішувати з урахуванням можливих екологічних наслідків запропонованих рішень і лише ті рішення, які не ведуть до подальшого погіршення екологічної ситуації на урбанізованих та промислових територіях України, можуть бути прийнятними. Інакше необхідно передбачати обов'язкове здійснення додаткових заходів, що забезпечують поліпшення або стабілізацію вказаної ситуації. Тільки у такому комплексі, тобто з урахуванням необхідних додаткових витрат на природоохоронні заходи, повинна розглядатися кінцева ефективність проведення всіх заходів.

7. Рішення щодо подальшого розвитку об'єктів енергозабезпечення на урбанізованих та промислових територіях України необхідно приймати з урахуванням соціально-економічних наслідків, до яких вони можуть призвести, а також наявної ситуації, що склалася, у цих регіонах. Інтегральним показником, який найдоцільніше враховувати при оцінці перспектив розвитку об'єктів енергозабезпечення, є рівень соціального розвитку територій, який враховує ступінь задоволення матеріальних і духовних потреб жителів, рівень їх захищеності, якість життєвого середовища, забезпеченість територій трудовими й інтелектуальними ресурсами, а також розбіжність вказаних показників і тенденції їх зміни в часі.

За умови досягнення оптимальних показників структури капіталу підприємства результатом стане зростання цінності бізнесу, а також підвищення рентабельності власного капіталу підприємства та збільшення рівня фінансової автономії підприємства.

Слід відзначити, що за вибраними напрямками зустрічається спільний для них показник – це активи підприємства, і проводячи у майбутньому оптимізацію показників діяльності за даними напрямками, слід мати на увазі, що може величина такого показника може бути різною, у такому випадку слід звертати увагу на те, якою є пріоритетна стратегія для підприємства. Якщо це виробнича діяльність, розширення випуску продукції та підвищення обсягів реалізації продукції, то слід брати до уваги значення параметр А за операційною діяльністю.

Якщо ж на підприємстві звертають увагу на капіталізовану вартість підприємства, то слід брати до уваги значення, отримане за результатами оптимізації структури капіталу.

Оцінюючи вищенаведений аналіз напрямів формування стратегії моделювання процесу динаміки економічного розвитку промислового підприємства для підтримки прийняття управлінських рішень та забезпечення сталого економічного розвитку, слід відзначити, що необхідно прагнути до досягнення оптимальних значень показників за всіма розглянутими напрямками. Тільки за цієї умови стане можливою успішна підтримка прийняття управлінських рішень, зростання промислового потенціалу на рівні регіону та країни у цілому, і такі рішення будуть ефективними.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ковалко М.П. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України [Текст] / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – Київ: УЕЗ, 2005. – 506 с.
2. Проблеми сталого розвитку України [Текст]: - К.: БМТ, 1998.– 402 с.
3. Звіт про науково-дослідну роботу “Високоєфективне використання енергетичного потенціалу геотехнічних систем України: ресурси, енергозберігаючі технології, екобезпека” – за темою НУ/450 – 2009/ОБ – 48 (заключний), № держреєстрації 0109U005905. Інв. № – Дніпропетровськ: НГУ, – 2010.
4. Беляева Т.Г. Анализ экономической эффективности реализации теплонасосных систем для теплоснабжения [Текст] / Т.Г. Беляева, А. А. Руденко, А. А. Лунина // Коммунальная теплоэнергия Украины. – К.; 2007.– С.22-39.
5. Долінський А.А., Стан та перспективи розвитку когенерації в Україні [Текст] / А. А. Долінський, О. І. Чайка // Первая в Украине Международ. Конф. “Когенерация в промышленности и коммунальной энергетике” 18 – 20 октября, Киев, 2004, Украина.– С.195-197.
6. Астахов А.С. Економічна оцінка запасів корисних копалин [Текст] / А. С. Астахов. – М.: Недра, 1991. – 311с.
7. Тенденції розвитку технологій та систем енергозабезпечення при видобуванні енергетичної сировини [Текст] / Г.Г. Півняк, О.С. Бешта, О.М. Шашенко та ін.; під ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – 240 с.
8. Фальштинський В.С. Новітня технологія розробки вугільних пластів на базі свердловинної газифікації [Текст] / В. С. Фальштинський, Р. О. Дичковський, М. М. Табаченко // Уголь Украины. – 2010. – №1.– С.10 –13.
9. Теорія і практика термохімічних технологій видобутку і переробки вугілля [Текст] / О.В. Колоколов, М.М. Табаченко, О.М. Ейшинський та ін. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 281с.
10. Котвіцька І.М. Важкі метали в ґрунтах київського мегаполісу [Текст] / І. М. Котвіцька // Пошукова та екологічна геохімія. – 2003. – №2/3. – С. 79 – 81.
11. Гайдихович Е.В. Техногенные источники загрязнения почв тяжелыми металлами [Текст] / Е. В. Гайдихович // Пошукова та екологічна геохімія. – 2003. – №2/3. – С. 88 – 90.
12. Кроїк А.А. Оцінка ступеню техногенного забруднення ґрунтів територій промислових агломерацій Дніпропетровської області [Текст] / А. А. Кроїк, А. І. Горова, А. В. Павличенко // Вісник Дніпропетровського університету. Науковий журнал. –2010.– № 3/2, Том 18. – С. 42 – 51.
13. Методологические аспекты оценки мутагенного фона и генетического риска для человека и биоты от действия мутагенных экологических факторов [Текст] / Гороя А.И., Бобырь Л.Ф., Скворцова Т.В. и др. // Цитология и генетика. – 1996. – 30, №6. – С. 78 – 86.

14. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: Пер. с нем./ Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. —350 с.
15. МР 2.2.12–141–2007 Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів / [С. А. Риженко, А. І. Горова, Т. В. Скворцова, І. І. та ін.] – К.: Головне базове видавництво МОЗ України ДП «Центр інформаційних технологій», 2007. – 35 с.
16. Предельно допустимые концентрации химических элементов в почве: СанПиН 42-128-4433-87. – [Действителен от 1987-11-30]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. – 54 с.
17. МР № 5174-90 Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / [Ревич Б. А., Саев Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П.] – М. : ИМГРЭ, 1982. – 112 с.
18. Жук Е.А. Использование показателей подвижности тяжелых металлов при эколого-геохимической оценке почв урбанизированных территорий [Текст] / Е. А Жук // Пошукова та екологічна геохімія. – 2003. – №2, 3. – С. 82 – 84.
19. Аримушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв [Текст] / Е. В. Аримушкина. – М. : Издательство Московского университета, 1970. – 490 с.
20. МУ 4266-87 Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами / утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР от 13 марта 1987 г. – М., 1987. – 10 с.
21. МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7 февраля 1999 г. – М., 1999. – 19 с.
22. Гуцуляк В.М. Геохімія ландшафту [Текст]: навч. посіб. / В. М. Гуцуляк В. М. – Чернівці : Рута, 2004. – 83 с.
23. Пендерецький О.В. Оцінка екологічної ситуації в зоні впливу Бурштинської теплової електростанції [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / О. В. Пендерецький. – Івано-Франківськ, 2005. – 20 с.
24. Галузеві огляди ТОВ «Фінансова компанія ОК-2» [Електронний ресурс] / Режим доступу: www.ok2invest.com
25. Сторчак С. Перспективи розвитку гірничорудної промисловості України [Електронний ресурс] / С.Сторчак – Режим доступу: <http://www.uvp.org.ua/sys/content/view/28/29/>
26. Наказ Міністерства фінансів України «Про затвердження Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 3» від 21 червня 1999 р. за № 397/3690. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>
27. Авдющенко А.С. Розробка системи показників управління результативністю підприємства з метою оптимального планування його діяльності [Текст] / А.С. Авдющенко // Інвестиції: практика та досвід. – 2011. – №15. – С.59 – 64.

28. Бойко В.В. Економіка підприємств України [Текст]: навчальний посібник / В.В. Бойко. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2002. – 535 с.
29. Муравьев А.И. Теория экономического анализа: проблемы и решения [Текст] / А.И. Муравьев. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 142 с.
30. Авдющенко А.С. Основні підходи до здійснення економічної оцінки результативності діяльності підприємств [Текст] / А.С. Авдющенко // Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки України: Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – Т.2. – С.62 – 63.
31. Авдющенко А.С. Система показників діяльності підприємства як ключовий фактор оптимального планування його розвитку [Текст] / А.С. Авдющенко // Наукова весна – 2011: Матеріали II наук.-практич. конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2011. – С.324 – 325.
32. Авдющенко А.С. Управління розвитком підприємства на основі агрегованого критерію з урахуванням зв'язку між фінансово-економічними показниками [Текст] / А.С. Авдющенко // Обліково-аналітичне забезпечення системи менеджменту підприємства: Тези доп. другої наук.-практич. конф.– Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – С.5 – 6.
33. Бринк, И. Ю. Бизнес-план предприятия. Теория и практика [Текст] / И.Ю. Бринк, Н.А. Савельева. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. – 377 с.
34. Корхин А.С. Определение оптимальных параметров процесса производства горячекатаных труб [Текст] / А.С. Корхин, Э.И. Волынский // Экономика и математические методы. – 1972. – Вып. 4. – С. 52 – 59.
35. Костырко Л.А. Диагностика потенциала финансово-экономической устойчивости предприятия [Текст]: монографія / Л.А. Костырко. – Х.: Фактор, 2008. – 336 с.
36. Городня Т.Я. Сучасна стратегія управління капіталом підприємства [Текст] / Т.Я. Городня, О.Р. Стефанюк // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – Львів: НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18/10. – С.250-253.
37. Методика інтегральної оцінки інвестиційної привабливості підприємств та організацій: Затверджено наказом Агентства з питань запобігання банкрутству підприємств та організацій від 23 лютого 1998 року №22. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>

Наукове видання

Півняк Геннадій Григорович
Бешта Олександр Степанович
Пілов Петро Іванович
Табаченко Микола Михайлович
Дичковський Роман Омелянович
Фальштинський Володимир Сергійович
Голінько Василь Іванович
Бас Костянтин Маркович
Балахонцев Олександр Васильович
Горова Алла Іванівна
Павличенко Артем Володимирович
Авдющенко Анна Сергіївна
Чуріканова Олена Юріївна
Саїк Павло Богданович
Лозинський Василь Григорович

**ЕКОНОМІЧНІ Й ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОМПЛЕКСНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ
ТА УТИЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНИХ І
ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ**

Монографія

Під загальною редакцією академіка НАН України Г.Г. Півняка

Видано за редакцією авторів.

Підп. до друку 17.04.2013. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 10,3.
Обл.-вид. арк. 13,2. Тираж 300 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано
в Державному ВНЗ «Національний гірничий університет».
Свідоцтво про внесення до державного реєстру ДК №1842 від 11.06.2004 р.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.