

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ОКАЛЄЛОВ ВАСИЛЬ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 622.26.001:622.03

**НАУКОВІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
МОДЕЛЕЙ МЕРЕЖ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Спеціальність 05.15.02 – Підземна розробка родовищ
корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі розробки родовищ корисних копалин Донбаського державного технічного університету Міністерства освіти і науки України (м. Алчевськ).

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

**БОНДАРЕНКО
Володимир
Ілліч**

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, технічний директор Донецького Індустріального Союзу

**ГРЯДУЩИЙ
Юрій
Борисович**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри розробки родовищ корисних копалин Державного вищого навчального закладу (Донецький національний технічний університет) Міністерства освіти і науки України

**КАСЬЯН
Микола
Миколайович**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри економіки підприємства Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

**ПОНОМАРЕНКО
Павло
Іванович**

Захист відбудеться «28» травня 2010 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій при Національному гірничому університеті Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «27» квітня 2010 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03,



В.І. Тимошук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Мережа гірничих виробок вугільної шахти є важливим її елементом, який визначає надійність функціонування й техніко-економічні показники роботи. Питома вага витрат, пов'язаних зі спорудженням гірничих виробок під час будівництва й реконструкції шахт, сягає 70% від загальної суми капітальних вкладень, а на діючих шахтах експлуатаційні витрати на проведення гірничих виробок становлять 10-15% від загальної собівартості вугілля, що добувається.

В останні роки витрати на спорудження гірничих виробок суттєво зросли. Так, за даними інституту «Луганськдіпрошахт», кошторисна вартість проведення 1 м штреку перерізом 10 м² у світлі в цінах 2002 р. становила 5050 грн, а за розрахунками «Дніпродіпрошахт» вартість проведення 1 км виробки сягає вже 15-20 млн. грн. Тому, навіть, порівняно невелике зменшення довжини виробок, що проводяться і підтримуються, веде до значної економії коштів. Звідси впливає необхідність істотного підвищення вимог до наукового обґрунтування методів проектування оптимальних мереж гірничих виробок, що забезпечують якісне виконання необхідних технологічних функцій з мінімальними витратами. У той же час існуючі методи оптимізації, що використовуються в теорії проектування шахт, цим вимогам не відповідають, оскільки не гарантують знаходження глобального оптимуму, не відбивають взаємозв'язку між ступенем сприятливості залягання вугільних пластів і топологією мережі гірничих виробок, базуються переважно на детермінованих моделях, не передбачають пошуку варіантів максимального суміщення виробками технологічних функцій, не знімають гостроти протиріччя між прагненням до максимально можливої деталізації варіантів топології мережі гірничих виробок і надмірним збільшенням їх вихідної множини, що, у свою чергу, призводить до збільшення трудомісткості оптимізаційних розрахунків, зниження надійності інвестиційних проектів, перевитратам фінансових і матеріальних ресурсів.

Таким чином, розвиток наукових засад оптимізації мереж гірничих виробок, що забезпечують мінімізацію їх сумарної довжини, є актуальною науково-технічною проблемою, яка має важливе народногосподарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку науки й техніки України «Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці», Державної програми «Українське вугілля», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України 19.09.2001 р. №1205 і тематичних планів НДР ДонДТУ: №17/92 №ДБ UA01002082P; №57/96 №ДБ 0196U013337; №56/96 №ДБ 0196U013336; №70/98 №ДБ 0197U0018210; №79/98 №ДБ 0198U001052; №88/00 №ДБ 0101U001798; №89/00 №ДБ 0100U001268, №109/03 №ДБ 0101U003568, за якими автор був керівником або відповідальним виконавцем.

Метою роботи є створення комплексу науково обґрунтованих методів функціонально-структурної оптимізації моделей мереж гірничих виробок на різних стадіях їх розвитку, що забезпечують підвищення надійності й ефективності

прийнятих проектних рішень.

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені наступні основні задачі:

- розробити критерій оптимальності проектних рішень і методику оцінювання ступеня складності умов залягання вугільних пластів з урахуванням їх неоднорідності й імовірнісної природи, як основи інформаційного забезпечення процедури формування варіантів мереж гірничих виробок;

- вивчити закономірності формування помилок вихідних даних, їх вплив на прогнозовані результативні показники й удосконалити методи прогнозу останніх;

- установити закономірності розвитку мережі гірничих виробок у площині пласта й зміни їх загальної довжини в часі, виявити взаємозв'язок між параметрами цих закономірностей і впливовими факторами;

- розробити принципи функціонального опису мережі гірничих виробок, обґрунтування на його підставі наукових положень генерування й оцінювання ідей проекту, раціональних комбінацій технологічних функцій, що виконуються виробками;

- обґрунтувати теоретичні й методичні принципи функціонально-структурного й структурно-функціонального опису моделей мереж гірничих виробок, розробити часткові критерії оцінювання ступеня їх досконалості та якості виконання технологічних функцій;

- випробувати розроблені методи оптимізації мереж гірничих виробок при рішенні конкретних проектних задач.

Ідея роботи полягає у функціонально-структурному описі мереж гірничих виробок на різних стадіях їх розвитку з урахуванням ступеня складності умов залягання вугільних пластів у процесі обґрунтування оптимальних проектних рішень.

Об'єктом дослідження є мережа гірничих виробок як складна, багатофункціональна динамічна система.

Предмет дослідження – методи оптимізації мереж гірничих виробок і показники їх ефективності.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої в роботі мети використаний комплекс методів, що доповнюють один одного, і містить збирання й узагальнення фактичних даних про функціонування шахт, методи теорій ймовірностей, прогнозування, інформації, планування експерименту, функціонально-структурного опису технічних систем, теорії фракталів, помилок і розв'язання багатокритеріальних задач.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Зміна сумарної довжини підтримуваних гірничих виробок на діючих шахтах описується логістичною залежністю $y = a / (1 + b \cdot e^{-c(t-t_0)})$, а розвиток мережі гірничих виробок у площині пласта підпорядковується теорії фракталів з єдиною структурою фрактальних моделей для різних схем підготовки вугільних пластів і варіантів розподілу шахтного поля на частини. Врахування цих закономірностей дозволяє прогнозувати довжину мережі гірничих виробок на кожній стадії її розвитку й обґрунтовувати раціональні розміри шахтного поля і його частин.

2. Неоднорідність і ймовірнісна природа умов залягання вугільних пластів

відображається критерієм оптимальності, який характеризує розподіл ймовірностей довільної кількості спільних і неспільних подій з урахуванням нелінійної або лінійної функціональної залежності між прогностичними коефіцієнтами і техніко-економічними показниками відповідно за логнормальним або нормальним законами їх розподілу, що дозволяє підвищити надійність оцінювання вугільних пластів і оптимізувати черговість їх відпрацювання.

3. Мережа гірничих виробок як складна багатофункціональна динамічна система, що розвивається в часі й просторі характеризується комбінаціями моделей, що враховують структурові і функціональні ознаки мережі гірничих виробок на різних стадіях їх розвитку, а досконалість моделей визначається ступінню концентрації та суміщення функцій і питомою вагою тих, які ведуть до негативних наслідків, причому за такою оцінкою ступеня організованості моделей можливо генерувати ідеї проекту з використанням теорії вирішення винахідницьких задач. Це дозволяє об'єктивно обґрунтувати можливості суміщення функцій виробок, виявляти й усувати непотрібні й дублюючі з них, оцінювати ступінь досконалості діючих і проектних мереж гірничих виробок.

4. Єдиний алгоритм прогнозування показників освоєння пластових вугільних родовищ і функціонування мереж гірничих виробок досягається перетворенням регресійних моделей укрупнених вартісних показників у розпізнавальні системи на основі поєднання принципів адитивного планування експериментів, морфологічного й неоднорідного статистичного аналізів щодо геологічних і технологічних факторів. Це дозволяє зменшити кількість враховуваних у моделях факторів без зменшення точності і надійності моделей, а також уніфікувати програмні процедури проектування мережі гірничих виробок.

Наукова новизна отриманих результатів:

– запропонований більш досконалий критерій оптимальності проектних рішень, який враховує розподіл ймовірностей зустрічання гірничими виробками різних ускладнень умов залягання вугільних пластів, розроблені нові розпізнавальні системи й рівняння регресії, покладені в основу математичної моделі прогнозу капітальних і експлуатаційних витрат проектних рішень;

– уперше встановлені кількісні закономірності зміни техніко-економічних показників роботи лав залежно від кількості несприятливих умов, залягання вугільних пластів, що сумісно проявляються; частоти зустрічі малоамплітудних порушень залежно від відстані до великого тектонічного розриву, які адекватно описуються експонентною і степеневою функціями та дозволяють враховувати неоднорідність ділянок вугільних родовищ при оцінюванні доцільності інвестицій в їх освоєння;

– уперше виявлена наявність взаємозв'язку між сумами прогностичних коефіцієнтів розпізнавальних систем і техніко-економічними показниками функціонування гірничих виробок, яка описується експонентною й степеневою функціями при логнормальному законі розподілу показників і лінійною – при нормальному, що дозволяє суттєво спростити математичні моделі їх прогнозування;

– розвинені наукові засади адитивного планування експериментів, що

полягають у перетворенні багатовимірних регресійних моделей у двомірні через врахування в них тільки сум прогностичних коефіцієнтів розпізнавальних систем, що дозволяє спростити математичні моделі й підвищити їх прогностичну цінність;

- уперше обґрунтовані фрактальні моделі, що описують раціональне співвідношення розмірів щодо падіння й простягання шахтного поля, його частин і встановлений вплив на параметри цих моделей ступеня дроблення шахтного поля на частини, що дозволяє розраховувати їх раціональні розміри;

- уперше встановлено, що закономірність зміни довжини гірничих виробок діючих шахт у часі описується логістичною функцією, параметри якої залежать від класу виробок, ступеня однорідності умов залягання вугільних пластів і виробничої потужності шахти, що дозволяє прогнозувати сумарну довжину виробок на різних етапах її розвитку;

- розроблена узагальнена функціональна модель мережі гірничих виробок, яка відрізняється ієрархічною впорядкованістю виконуваних функцій і обґрунтований алгоритм її аналізу й оцінювання за допомогою нових критеріїв: концентрації функцій, наявності негативних наслідків від їх реалізації й можливості нейтралізації цих наслідків, що дозволяє обґрунтовувати вихідний перелік технологічних функцій, генерувати й оцінювати ідеї за їх суміщенням;

- розроблені критерії оцінювання ступеня досконалості функціонально-структурних і структурно-функціональних моделей, що забезпечують знаходження кращих варіантів мереж гірничих виробок і підвищення якості їх функціонування.

Наукове значення роботи полягає в розробці наукових засад функціонально-структурного опису й оцінювання складних багатофункціональних динамічних систем гірничих виробок на різних стадіях їх розвитку й методології визначення порівняльної цінності родовищ з урахуванням імовірнісної природи їх геологічних умов.

Практичне значення роботи полягає в наступному:

- розроблено комплекс методів прогнозу техніко-економічних показників роботи лав, шахт, функціонування гірничих виробок, оцінювання геологічних умов вугільних родовищ з погляду їх інвестиційної привабливості, розроблені також відповідні прикладні програми для реалізації на ПЕОМ;

- розроблено: класифікацію гірничих виробок, що враховує сполучення їх технологічних функцій; методи побудови й оцінювання функціональних і функціонально-структурних моделей мереж гірничих виробок, що забезпечують пошук оптимальних варіантів їх топології;

- розроблена методика аналізу мереж гірничих виробок діючих шахт і їх модернізації через виявлення зайвих або неефективно використовуваних виробок, що підлягають погашенню або потребують поліпшення якості функціонування;

- розроблена методика врахування помилок вихідних даних під час вибору оптимальних варіантів мереж гірничих виробок і оцінювання родовищ, що забезпечує мінімізацію ризику інвестицій у їх освоєння;

- виконане оцінювання резервних ділянок вугільних родовищ Луганської області та виділені найбільш перспективні з них;

- на підставі аналізу функціональної моделі мережі гірничих виробок

запропонований новий спосіб розкриття й розробки пластових родовищ корисних копалин, що неглибоко залягають, захищений патентом України №70599А;

– розроблені та впроваджені рекомендації з удосконалення мереж гірничих виробок на діючих шахтах і проектні рішення щодо розкриття й відпрацювання ділянок родовищ у складних гірничо-геологічних умовах.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується представницьким обсягом вихідної фактичної інформації про показники й умови роботи лав і шахт, кількісною оцінкою надійності й точності розроблених розпізнавальних систем і регресійних моделей, задовільною збіжністю прогнозних і фактичних даних, коректністю постановки задач, успішною реалізацією розроблених з використанням запропонованих методів рекомендацій у виробничій і проектній практиці.

Реалізація результатів досліджень.

У результаті оцінювання ступеня сприятливості умов залягання 12-ти резервних ділянок Луганської області в число найбільш перспективних включена ділянка Новосвітлівська, для якої інститутом «Луганськдіпрошахт» розроблено ТЕО її освоєння.

Розроблені на підставі методики функціонально-структурного проектування рекомендації з відпрацювання зближених пластів l_3 і l_4 на північному крилі блока №1 використано шахтою «Комсомолец Донбасу» під час складання ТЗ й інститутом «Дондіпрошахт» під час розробки проекту «Підготовка бремсбергового поля пластів l_3, l_4 північного крила блока №1».

Результати прогнозування показників поведінки вуглевміщуючих порід і функціонально-структурної оптимізації мереж гірничих виробок впроваджені на шахтах №71 «Індустрія» (ш/у «Ровеньківське») і ш/у «ім. Космонавтів» ДП «Ровенькиантрацит» із сумарним економічним ефектом 1724 тис. грн.

Методика врахування помилок вихідних даних і результати структурно-функціонального аналізу впроваджені на шахті «Перевальська» з економічним ефектом 1208 тис. грн. На шахті «Романівська» (к. шахта «Україна») впровадження результатів структурно-функціонального аналізу дозволило скоротити сумарну довжину виробок на 6940 м.

Методика прогнозування стійкості вуглевміщуючих порід, як складова частина інформаційного забезпечення процесу проектування, включена в нормативний документ «Рекомендации по прогнозированию условий отработки лав пологих пластов Донбасса и выбору рациональных параметров их крепления» // КГМИ Минвуза УССР, ВНИГРИуголь Мингео СССР. – Комунарск: 1980. – 63 с. (затверджений Мінвуглепромом СРСР). Рекомендації включені інститутом «Центродіпрошахт» у перелік керівних матеріалів, що використовуються у проектуванні шахт.

Особистий внесок здобувача полягає в постановці проблеми й аналізі її сучасного стану, формулюванні науково-технічних задач, розробленні критерію оцінювання ступеня сприятливості геологічних умов вугільних родовищ, методів прогнозу техніко-економічних показників їх освоєння й урахування помилок

вихідних даних, функціональних моделей мереж гірничих виробок і їх класифікації, методів побудови й оцінювання функціонально-структурних і структурно-функціональних моделей за допомогою запропонованих критеріїв, збиранні й узагальненні вихідних шахтних даних, розробленні практичних рекомендацій з удосконалення мереж гірничих виробок, формулюванні висновків.

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи було повідомлено на Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективы развития горных технологий в начале третьего тысячелетия» (м. Алчевськ, 1999), Міжнародній конференції «Экология и безопасность жизнедеятельности-2000» (м. Феодосія, 2000), науково-практичній конференції «Перспективы развития угольной промышленности на пороге XXI века» (м. Ровеньки, 2000), Міжнародному гірничому форумі (м. Краків, 2002), Форумі гірників (м. Дніпропетровськ, 2003, 2006, 2008), Школі підземної розробки (м. Дніпропетровськ-Ялта, 2007, 2008, 2009), Міжнародній науково-технічній конференції «Горная геология, геомеханика и маркшейдерия» (м. Донецьк, 2004), Міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості» (м. Кривий Ріг, 2007), Міжнародній науково-технічній конференції «Новые технологии подземного строительства и добычи полезных ископаемых» (м. Алчевськ, 2008), засіданні секції гірничої справи Польської академії наук (м. Катовіце, 2007).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 53 роботи, у тому числі 1 галузевий нормативний документ, 24 публікації в спеціалізованих виданнях, 1 патент на винахід, 4 авторських свідоцтва, 14 статей у матеріалах науково-технічних конференцій, 1 депонований рукопис.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів і висновку, викладених на 377 сторінках машинописного тексту, у тому числі 55 рисунків, 54 таблиці, переліку використаних джерел із 249 найменувань на 22 сторінках; 11 додатків на 152 сторінках; загальний обсяг роботи – 529 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі наведений аналіз сучасного стану методології проектування оптимальних мереж гірничих виробок (МГВ). Порівняння їх фактичної й проектної довжини, яке виконане по 14-ти шахтах, введених в експлуатацію або реконструйованих у період з 1971 по 1984 рр. показало, що в усіх випадках фактичні дані суттєво перевищують проектні. На шахтах-новобудовах це перевищення для розкриваних виробок становить у середньому 19%, для підготовлюючих – 71% і підготовчих – 18%. На реконструйованих шахтах перевищення в зазначених вище групах становило: 126, 90 і 98% відповідно.

В сучасних економічних умовах у зв'язку із суттєвим зростанням витрат на проведення й підтримку гірничих виробок така розбіжність фактичних і проектних даних є неприпустимою. Вона досить негативно позначається на техніко-економічних показниках роботи шахт. У цьому зв'язку суттєво зростають вимоги до якості проектних рішень і, як наслідок, підвищується актуальність досліджень,

спрямованих на розвиток наукових засад методології оптимізації мереж гірничих виробок. Значний внесок у її створення й удосконалювання зробили: М.І. Агошков, О.І. Амоша, О.С. Астахов, А.Ю. Блакберн, В.І. Бондаренко, А.Ф. Булат, А.С. Бурчаков, Ю.Б. Грядущий, Ф.І. Євдокимов, М.П. Зборщик, З.П. Звягін, А.А. Кафорін, С.С. Квон, О.В. Колоколов, В.М. Кухарев, А.М. Курносков, М.М. Касьян, С.М. Ліпкович, А.С. Малкін, А.І. Мітейко, С.О. Попов, П.І. Пономаренко, А.Г. Сагінов, В.І. Саллі, К.І. Татомір, М.І. Устінов, Р.А. Фрумкін, В.А. Харченко, С. Цой, Л.Д. Шевяков, В.О. Шестаков та ін.

Аналіз запропонованих до теперішнього часу методів оптимізації мереж гірничих виробок показав, що для них характерні наступні основні недоліки: неможливість визначення глобального оптимуму через проблему розмірності вихідної множини варіантів проектних рішень, що суттєво загострюється через збільшення ступеня їх детальності; невідповідність скалярних критеріїв оптимальності імовірнісній природі геологічних умов залягання вугільних пластів; вибір оптимальних проектних рішень без урахування неоднорідності й різного ступеня складності цих умов; невисока вірогідність їх прогнозування; домінування структурного підходу до формування варіантів мереж гірничих виробок без попереднього обґрунтування раціонального переліку й комбінацій виконуваних ними технологічних функцій, що не дозволяє ефективно реалізовувати групу процедур «формування ідей проекту» в системі САПР вугілля.

Крім цього встановлено, що дотепер не запропоновано ефективних методів аналізу діючої мережі гірничих виробок з метою її спрощення під час розробки поточних і перспективних програм розвитку гірничих робіт. При виборі оптимальних варіантів не враховується зміна сумарної довжини гірничих виробок у часі, оскільки не вивчені закономірності розвитку цього процесу.

Зазначені недоліки часто призводять до кількарізних переглядів раніше прийнятих проектних рішень, помилок під час вибору діючих шахт для реконструкції, вибору резервних ділянок вугільних родовищ для закладання нових шахт і інших негативних наслідків.

За результатами виконаного аналізу сформульовані мета роботи, задачі досліджень і обґрунтовані методи їх вирішення.

У другому розділі наведені результати апріорного аналізу факторів, що враховуються в оптимізації мереж гірничих виробок і обґрунтуванні показників освоєння вугільних родовищ.

Загальна кількість цих факторів становила 100, з яких 40 – геологічних, 50 – технологічних і 10 – виробничих. Надалі відібрані фактори, які найбільш часто враховуються під час рішення різних проектних завдань, для чого розроблені критерії частоти й вагомості досліджуваних факторів. Аналіз розподілу значень першого критерію показав, що він є бімодальним і свідчить про наявність двох сукупностей факторів, які суттєво різняться за величиною цього критерію. До першої належать фактори, що найбільш часто враховуються, а до другої – ті, які враховуються набагато рідше. Подальший аналіз показав, що серед факторів першої сукупності 32 є геологічними, 22 – технологічними й 8 – виробничими. Середнє значення критерію вагомості для геологічних факторів першої сукупності становило 2,63, а для

технологічних – 1,51. Це свідчить про те, що при оптимізації мереж гірничих виробок і показників освоєння вугільних родовищ геологічні фактори в цілому більш значимі, ніж технологічні. Звідси впливає особлива важливість задачі підвищення вірогідності їх прогнозу.

З урахуванням сформованого переліку факторів були розроблені анкети й обґрунтована методика обстеження шахт з метою одержання об'єктивної інформації про показники й умови їх роботи, стан і функціонування гірничих виробок, яка передбачала вивчення й аналіз первинної шахтної документації, контрольних шахтних спостережень і вимірів, польових випробувань міцнісних властивостей гірських порід. Усього за період з 1979 по 2003 рр. було обстежено 66 шахт 12-ти виробничих об'єднань. Загальна кількість обстежених лав при цьому становила 367, інших гірничих виробок – 2024. Крім того, вивчені геологічні звіти про детальну розвідку й ТЕО освоєння 12-ти резервних ділянок Луганської області, за якими встановлені умови залягання вугільних пластів і техніко-економічні показники їх розробки.

За матеріалами документування кернів визначені значення геологічних факторів і фізико-механічні показники за 8807 пластоперерізами.

Великий обсяг ретроспективної інформації, отриманої за допомогою розробленої методики, забезпечує високе представництво і підвищену вірогідність вихідних даних.

У третьому розділі наведено теоретичне обґрунтування розробленому критерію оптимальності проектних рішень.

$$\sum_{t=0}^{T_0} \left[\sum_{i=1}^n P(B_i)(C_{ti} - C_{ii}) + \sum_{j=1}^m P(A_j)(C_{tj} - C_{jj}) \right] Z_{np,t} \geq \sum_{t1=0}^{T_1} K_{t1}(1+E)^{t1}, \quad (1)$$

де $P(B_i)$ і $P(A_j)$ – імовірність відпрацювання запасів на i -й ділянці зі сприятливими й j -й ділянці з несприятливими умовами залягання; n і m – кількість сприятливих і несприятливих ділянок у межах шахтного поля відповідно; C_{ti} і C_{ii} , C_{tj} і C_{jj} – ціна й загальношахтна собівартість видобутку 1 т вугілля на i -й сприятливій і j -й несприятливій ділянках відповідно, грн.; $Z_{np,t}$ – промислові запаси, що відпрацьовуються в t -му році після введення шахти в експлуатацію або її реконструкції, т; K_{t1} – капітальні витрати в $t1$ -му році будівництва або реконструкції, грн.; E – прийнята норма прибутковості капітальних вкладень, ч.о.; T_0 – термін окупності початкових капітальних вкладень, років; T_1 – термін будівництва шахти, років.

За допомогою цього критерію здійснюється порівняльне оцінювання складності умов залягання вугільних родовищ з метою вибору найбільш перспективного з них для освоєння та вибір оптимальних варіантів мереж гірничих виробок з урахуванням оптимальної послідовності відпрацювання різних за ступенем однорідності й складності умов залягання ділянок вугільних пластів. Імовірність $P(A_j)$ розраховується через додавання ймовірностей довільної кількості спільних і неспільних подій, що характеризують неоднорідні за ступенем складності комбінації геологічних факторів. Імовірність $P(B_i)$ визначається як протилежна $P(A_j)$.

Запропонований спосіб розрахунку $P(B_i)$ і $P(A_j)$ ґрунтується на припущенні про адитивний вплив ознак складності цих факторів на техніко-економічні показники (ТЕП) роботи лав, що підтверджено встановленим взаємозв'язком між середньогруповими значеннями добового навантаження на лаву \bar{A}_{cj} , ділянкової собівартості 1 т вугілля \bar{C}_{yj} й кількістю несприятливих ознак, що спільно проявляються, N_{nj} . На рис. 1 наведений тренд зміни \bar{A}_{cj} залежно від N_{nj} , який адекватно описується функцією $\bar{A}_{cj} = 800e^{-0,25N_{n.nj}}$. Зворотний тренд зміни \bar{C}_{yj} від N_{nj} описується функцією $\bar{C}_{yj} = 5,4e^{0,14N_{n.nj}}$.

Середньогрупове значення навантаження на лаву, т/доб

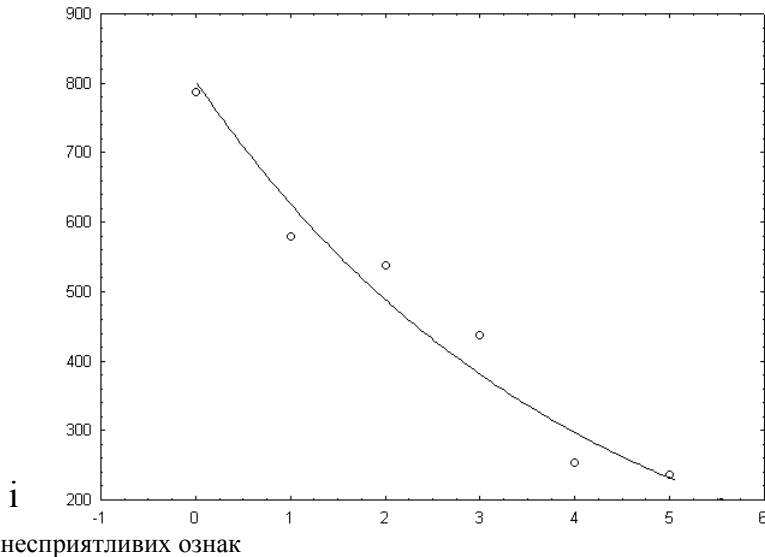


Рис.1. Графік зміни середньогрупового навантаження на лаву залежно від кількості несприятливих ознак, що спільно проявляються

заягання.

Під час реалізації розробленої методики необхідно прогнозувати техніко-економічні показники функціонування лав, які найбільш чутливі до зміни умов ведення очисних робіт. До методів розв'язання цієї задачі ставиться низка вимог, основними з яких є прийнятна для практики надійність і точність прогнозів, універсальність і простота. Остання вимога особливо важлива з погляду вирішення проблеми розмірності вихідної множини розрахункових варіантів. У роботі показано, що найбільш повно цим вимогам відповідають методи теорії інформації й розпізнавання.

Прогноз середньодобового навантаження на лаву A_{ci} здійснюється з використанням теоретичних і методичних принципів неоднорідного послідовного статистичного аналізу (НПСА), а ділянкової собівартості 1 т вугілля C_{yi} – НПСА й лінійних дискримінантних функцій. Комбіноване застосування зазначених методів забезпечило найкращі результати прогнозу техніко-економічних показників роботи лав. При цьому прогноз A_{ci} здійснюється у дві стадії. На першій прогнозуються три інтервали зміни навантаження, а на другій проводиться деталізація її значень у межах кожного інтервалу. Саме такий підхід до прогнозу ТЕП забезпечує його максимальну точність і надійність. Середньозважена помилка апроксимації не перевищує 20% за надійності прогнозу не нижче 0,77, а з урахуванням тільки

Адитивний вплив несприятливих ознак на показники роботи лав призвів до необхідності розроблення методики оцінювання однорідності комбінацій кількісних і якісних факторів, що визначають умови ведення гірничих робіт. У її основу покладено комбіноване використання параметричних і непараметричних, одновимірних багатовимірних статистичних критеріїв, що забезпечують універсальність методики й можливість виділення пластів і їх ділянок з однорідними за ступенем складності умовами

помилку II-го роду – 0,89.

Під час розробки розпізнавальних систем уперше було встановлено, що інформація, яка міститься в прогностичних коефіцієнтах розпізнавальних систем, впливає не тільки на розпізнавання інтервалів A_{ci} , але й на її внутрішньоінтервальні значення. Це дозволяє суттєво спростити методи прогнозу й забезпечити врахування якісних і кількісних факторів з єдиних теоретичних і методичних позицій.

Ділянкова собівартість розраховується за емпіричною залежністю $C_{yi} = (2786 / A_m^{0,65}) \cdot e^{S_2}$, де A_m – місячний видобуток вугілля з лави, т (1200-48000); S_2 – сума середніх відхилень фактичної собівартості від розрахункової, яка викликана впливом тектонічної порушеності пластів, їх викидонебезпечності й відносної метановості. Ці відхилення визначені з використанням лінійних дискримінантних функцій.

Оцінка точності розрахунків за рівнянням регресії показала, що середньозважена помилка апроксимації з урахуванням надійності й точності прогнозу навантаження на очисний вибій становила 20%.

Сформований з використанням викладеної методики масив значень ділянкової собівартості видобутку вугілля розподіляється за виділеними групами однорідних комбінацій якісних і кількісних факторів, у межах яких індивідуальні величини C_{yi} замінюються їх середніми арифметичними й середньоквадратичними відхиленнями. Це дозволяє розрахувати для кожної з однорідних груп умов найбільш імовірні значення шахтної собівартості вугілля $C_{ш}$.

Під час розробки методики розрахунку $C_{ш}$ враховано, що вона складається з ділянкових витрат і витрат на функціонування загальношахтних ланок $\Delta C_{ш}$. Тому окремо розроблено множинну регресійну модель для прогнозу $\Delta C_{ш}$.

$$\Delta C_{ш} = \frac{68n_l - 4n_l^2 - 42e^{-0,05q} + 6F_i + 0,002\sum l - 81}{A_{ш.м}^{0,234}}, \quad (2)$$

де n_l – кількість діючих лав (2-10); q – відносна метановість, м³/т (0-72); $\sum l$ – сумарна довжина проведених і підтримуваних виробок, м (53000-120000); $A_{ш.м}$ – місячний шахтний видобуток, т (4200-252000); F_i – параметр, що характеризує вид основного підземного транспорту (для електровозного й комбінованого $F_i = 20$, для конвеєрного $F_i = 17$).

У результаті величина загальношахтної собівартості за умови ведення гірничих робіт в i -й або j -й однорідній групі умов визначається як сума відповідного значення C_y й $\Delta C_{ш}$. Середньозважена помилка розрахунків $\Delta C_{ш}$ щодо «групи навчання» становить 7%, а $C_{ш}$ з урахуванням точності розрахунку A_c , A_m , C_y й $\Delta C_{ш}$ – 14%. Додаткова перевірка розроблених розпізнавальних систем і рівнянь регресії щодо «групи контролю», в яку ввійшли фактичні дані роботи шахт і лав у 2001, 2002 рр., які не використовувалися під час обробки вихідних даних, показала, що середньозважена помилка прогнозу C_y й $C_{ш}$ з урахуванням поправки на зміну цін із часом становила 22 і 17% відповідно. Встановлений також збіг тенденцій зміни прогнозних і фактичних ТЕП «групи навчання» й «групи контролю». Для

середньодобового навантаження коефіцієнт кореляції цих показників становив 0,67, а для C_y й $C_{ш}$ – 0,77 і 0,68 і виявився в усіх випадках статистично значимим.

Вхідна в критерій (1) величина початкових капітальних витрат K на освоєння родовищ розраховується за регресійною залежністю між цим показником і річною виробничою потужністю $A_{уз}$: $K = \alpha \cdot A_{уз}$. Параметр α залежить від відносної метановості шахти q : при $q \leq 10 \text{ м}^3/\text{т}$ $\alpha = 42$, при $q \geq 15 \text{ м}^3/\text{т}$ $\alpha = 120$. Для проміжних значень q $K = A_{уз} [120 - (15 - q) \cdot 15,6]$. Середньозважена помилка розрахунку за цими залежностями становить 15%.

Наведені показники вірогідності прогнозів, а також збіг тенденцій зміни розрахункових і фактичних даних дозволяє об'єктивно ранжувати родовища за ступенем їх перспективності для освоєння.

Більш детальний прогноз експлуатаційних і капітальних витрат на функціонування гірничих виробок і окремих технологічних ланок шахти здійснюється на основі відповідних розпізнавальних систем і парних рівнянь регресії. За їх розробки одержали подальший розвиток наукові засади адитивного планування експериментів і вперше доведено, що інформація, яка міститься в прогностичних коефіцієнтах розпізнавальних систем, дозволяє перетворювати багатовимірні моделі в більш прості двовимірні без втрати точності та надійності прогнозів. При цьому встановлено, що для логнормального закону розподілу квазівипадкових значень вартісних показників, сформованих за допомогою морфологічного аналізу, їх взаємозв'язок із сумами прогностичних коефіцієнтів описується експонентною функцією $y = e^{(a-bx)}$, а для нормального – лінійною $y = a - bx$.

На рис. 2, як приклад, наведене поле кореляції між вартістю проведення 1 м ствола ($K_{ств}$) і сумою прогностичних коефіцієнтів відповідної системи ($\sum_{j=1}^n PK_{ij}$)

$$K_{ств} = e^{\left(8,3 - 0,007 \sum_{j=1}^n PK_{ij}\right)}.$$

Усього побудовані 32 розпізнавальні системи, які дозволяють прогнозувати основні статті витрат на проведення, підтримку, основний і допоміжний транспорт, підйом по стволах, водовідлив, дегазацію, провітрювання. При цьому було виявлено, що частина факторів, які враховувалися раніше, має досить низьку інформативність. Тому вони були виведені із розпізнавальних систем, що дозволило суттєво спростити

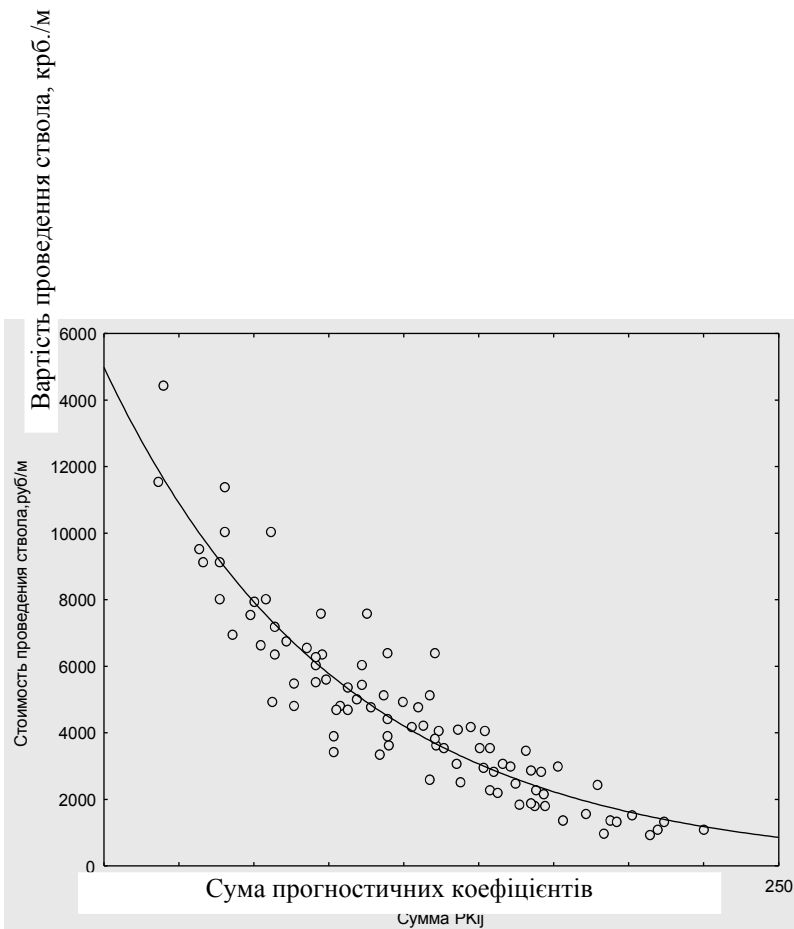


Рис. 2. Характер взаємозв'язку між вартістю проведення 1 м ствола і сумами прогностичних коефіцієнтів

підготовку вихідних даних для розрахунку прогностичних показників.

Через постійну зміну цін і тарифів у часі була перевірена, також, правомірність корегування прогностичних даних за допомогою поправочних коефіцієнтів, що відбивають поточний рівень цін. За результатами виконаних досліджень встановлено, що, навіть, в умовах гіперінфляції зберігаються тенденції впливу врахованих у регресійних моделях геологічних і технологічних факторів на вартісні показники гірничих робіт. Змінюється лише їх рівень. Звідси випливає, що за відносної оцінки сприятливості умов залягання вугільних родовищ і варіантів мереж гірничих виробок їх співвідношення за ступенем переваги не змінюється. Однак такий висновок недостатній з погляду визначення доцільності інвестування в проект, оскільки в цьому випадку потрібна більш точна оцінка сучасних експлуатаційних і капітальних витрат. Вона забезпечується способом внесення у вихідні регресійні моделі виправлень на зміни питомої ваги різних статей витрат і їх рівня відповідно до офіційних даних його зростання. Після цього за викладеною вище методикою формуються й обробляються нові масиви значень вартісних показників, у результаті чого розробляються нові розпізнавальні системи, максимально наближені до сучасної економічної ситуації.

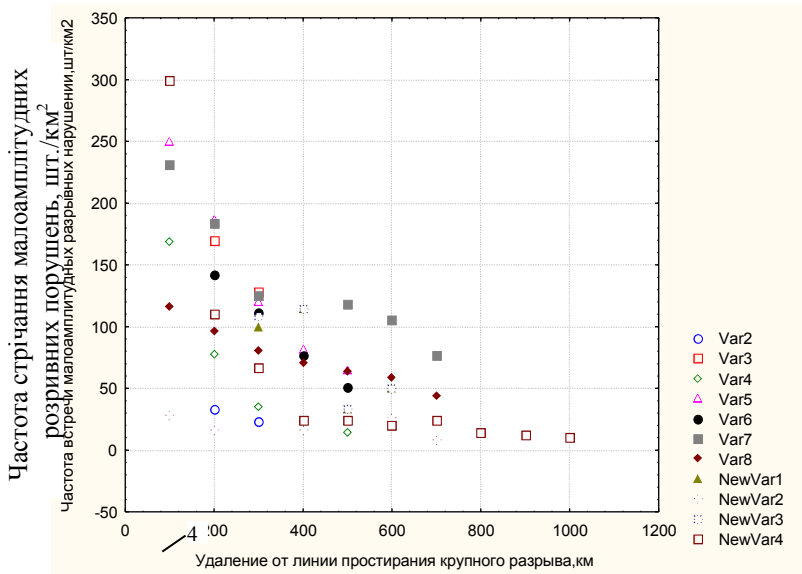
У розроблених розпізнавальних системах і регресійних моделях врахована низка геологічних факторів, до яких належать: міцність порід на одновісне стиснення, потужність пласта, кут його падіння, потужність несправжньої покрівлі, показники якості вугілля, обводненість лав і нормальний приток води в шахту, відносна метановість очисного вибою, тектонічна порушеність пласта, стійкість вуглевміщуючих порід, зрушеність основної покрівлі, небезпека вугільних пластів щодо раптових викидів. Зазначені фактори розділені на дві групи. У першу ввійшли результативні значення яких формуються під впливом комплексу інших факторів, у другу – одиничні, які встановлюються за результатами безпосередніх вимірів і випробувань.

Вірогідність прогнозу факторів першої групи залежить як від точності та надійності визначення значень впливаючих на них одиничних факторів, так і від ступеня досконалості методів прогнозу. З урахуванням цього сформований комплекс розпізнавальних систем, у який включені нові, модернізовані й відомі системи, розроблені на підставі неоднорідного послідовного статистичного аналізу, які дозволяють прогнозувати стійкість вуглевміщуючих порід, зрушеність основної покрівлі, експлуатаційну зольність і обводненість з надійністю не нижче 0,8. Їхньою характерною рисою є можливість урахування під час прогнозування як геологічних, так і технологічних якісних і кількісних факторів, можливість прийняття прогностичних рішень за допомогою теоретичних і емпіричних порогів, що дозволило уніфікувати методикау врахування помилок вихідних даних і програмне забезпечення для реалізації прогнозів на ПЕОМ.

Аналіз вірогідності прогнозів геологорозвідки щодо потужності пласта, кута його падіння, міцності порід на одновісне стиснення, потужності несправжньої покрівлі, відносної метановості лав, вмісту загальної сірки й робочої вологості вугілля показав, що зі збільшенням геологічної потужності пласта збільшуються систематична й випадкова складові помилок, при цьому в інтервалі до 0,7 м

спостерігається систематичне завищення прогнозних даних, а в інтервалі 1,21-3,5 – їх заниження; зі збільшенням глибини розробки й кута падіння пласта зростають випадкові помилки в його визначенні, при цьому значимість систематичних помилок підтверджується лише в інтервалі 18 град. і більше. Потужність несправжньої покрівлі, вміст загальної сірки й робочої вологості в більшості випадків за даними геологорозвідки занижуються, а міцність порід на одновісне стиснення – завищується. Зі збільшенням прогнозного інтервалу природної відносної метановості вугільних пластів збільшується випадкова складова її відхилення від фактичної метановості лав.

Особливе значення для оцінювання складності умов ведення гірничих робіт має прогноз малоамплітудної тектонічної порушеності вугільних пластів. Із цією метою вивчені площі S_p (км²) зон впливу великих тектонічних розривів на щільність малоамплітудних диз'юнктивів, що їх оточують. У результаті встановлено, що вони збільшуються зі збільшенням довжини L лінії простягання великого розриву і ця закономірність добре описується залежністю $S_p=0,335 \cdot L^{1,66}$. У межах зазначеної площі зміна щільності P_i (шт./км²) малоамплітудних порушень залежно від відстані по нормалі до площини зміщувача великого розриву l_{ni} (рис. 3) описується рівнянням регресії: $P_i=32/l_{ni}^{0,764}$.



Аналіз відхилень фактичної щільності порушень від розрахункової Δ_{pi} , встановленої за наведеним вище рівнянням, показав, що вони суттєво залежать від амплітуди великого розриву в інтервалі l_{ni} до 0,2 км. Взаємозв'язок зазначених змінних в інтервалі l_{ni} до 0,1 км описується функцією $\Delta_{pi} = -280 + 154 \log h_k$, де h_k – амплітуда великого тектонічного розриву (м), а в

інтервалі 0,1-0,2 км $\Delta_{pi} = -132 + 71 \log h_k$.

Рис. 3. Кореляційне поле точок залежності частоти зустрічі малоамплітудних порушень від відстані до крупного розриву: 1 – l'_2 ; 2 – l'_8 ; 3 – l'_5 ; 4 – l'_1 ; 5 – l'_6 ; 6 – l'_7 ; 7 – l'_9 ; 8 – l'_4 ; 9 – l'_3 ; 10 – l'_1 ; 11 – l'_8 .

Отримані залежності дозволяють робити оцінювання ступеня тектонічної порушеності вугільних пластів навколо великих розривів. Для цього спочатку розраховується відстань до межі їх

впливу на малоамплітудні порушення $y = (0,854 / L_1^{0,335}) \sqrt{L_1 \hat{x} - \hat{x}^2}$, де \hat{x} – відстань від точки початку великого розриву до точки на лінії його простягання, в околі якої прогнозується P_i . Якщо l_{ni} менше або дорівнює 0,1 км або більше 0,1, але менше 0,2 км, то в розрахунок вводять поправку Δ_{pi} зі своїм знаком.

Для підвищення вірогідності прогнозу ТЕП і результативних показників

інженерно-геологічних умов ведення гірничих робіт розроблена методика врахування встановлених систематичних і випадкових помилок вихідних даних. Вона передбачає розрахунок уточнених значень одиничних факторів $X_i^\phi = X_i^n + \bar{\Delta} \pm S_{\Delta_i}$, де X_i^n – прогнозне значення фактора, установлене за даними геологорозвідки; $\bar{\Delta}$ – систематична і S_{Δ_i} – випадкова складова відхилень фактичних даних від прогнозних. Величина $\bar{\Delta}$ враховується зі своїм знаком тільки за підтвердження її статистичної значущості, а знак S_{Δ_i} вибирається з умови мінімізації ймовірності небезпечних помилок II-го роду, коли фактична ситуація виявляється менш сприятливою, ніж очікувана. За такого способу врахуванню помилок і їх знаків реалізується мінімаксий і максимінний підходи до прогнозування й прийняття проектних рішень, що забезпечують гарантований мінімум або максимум прогнозного показника за найбільш несприятливих комбінацій природних ситуацій.

Надалі вивчається чутливість прогнозованих явищ і процесів до помилок вихідних даних, після чого приймається остаточне рішення про доцільність їх урахування. Для розпізнавальних систем, що ґрунтуються на неоднорідному послідовному статистичному аналізі, рішення про доцільність врахування помилок ухвалюється залежно від прогнозного ступеня складності подій, наявності відмінностей в інформативних ознаках, що відповідають скорегованим і нескорегованим значенням врахованих факторів, використання теоретичних або емпіричних порогів, розбіжностей у величинах прогностичних коефіцієнтів і ймовірності помилкового прогнозу P_{oij} , яка розраховується за формулою

$$P_{O_{ji}} = 1 - P_{t_{ij}} \cdot P_S \cdot P_M, \quad (3)$$

де $P_{t_{ij}}$ – імовірність того, що скореговане значення j -го фактора не перевищить нижню межу сусідньої i -ї ознаки розпізнавальної системи, P_S – значимість виявленої систематичної помилки (0,95, якщо вона доведена); P_M – надійність розпізнавальної системи, з урахуванням тільки помилок II-го роду.

Якщо $P_{O_{ij}}$ виявиться менше 0,2, то немає необхідності враховувати помилки вихідних даних j -го фактора, оскільки ймовірність зміни результатів прогнозу невелика.

Врахування помилок під час прогнозу за регресійними моделями здійснюється за допомогою коефіцієнтів еластичності врахованих у них факторів, які дозволяють оцінювати вплив відхилень скорегованих їх значень від базових на прогнозований показник. Його результативна зміна під впливом помилок для багатовимірних моделей розраховується за мультиплікативними або адитивними формулами залежно від вигляду вихідної моделі. Якщо ця зміна перевищує прийнятий поріг рівноцінності прогнозів, то надалі використовуються скореговані значення прогнозованих показників, а якщо ні, то – вихідні.

Комплекс розроблених методів прогнозу, врахування помилок вихідних даних, оцінки однорідності й складності умов залягання вугільних пластів, визначення оптимальної послідовності їх відпрацювання становлять основу інформаційного

забезпечення проектування оптимальних мереж гірничих виробок. При розв'язанні цієї задачі необхідно враховувати також раціональні розміри шахтного поля і його частин, а також прогностичні значення сумарної довжини мережі гірничих виробок.

У четвертому розділі виконано дослідження з обґрунтування раціональних розмірів шахтного поля і його частин, установлення закономірностей зміни сумарної довжини проведених і підтримуваних гірничих виробок у часі й розроблені методи її прогнозу.

У результаті аналізу розвитку мережі гірничих виробок була звернена увага на те, що вона має всі ознаки, штучної розгалуженої структури, що розвивається. Тому була перевірена гіпотеза про відповідність цього процесу законам теорії фракталів. Із цією метою фрактальна модель, що описує площу, яка покривається абстрактною розгалуженою структурою, перетворена в математичний вираз, який встановлює взаємозв'язок між довжиною шахтного поля по падінню H_{um} (км) і простяганню S_{um} (км): $H_{um} = K_n \cdot S_{um}^{f'_e}$, де K_n – коефіцієнт, що відображає площу, яка покривається абстрактною мережею; $f'_e = f_e - 1$, де f_e – ступінь заповнення площі розгалуженою структурою (її розмірність). Величини K_n і f_e для вихідної фрактальної моделі дорівнює 0,58 і 1,77 відповідно, тоді $f' = 0,77$.

Порівняння результатів розрахунку H_{um} , отриманих за наведеною вище формулою з даними типових технологічних схем і проектів шахт довело їх гарну збіжність для однокоризонтних типових і проектних схем розкриття (рис. 4.). Середня величина розбіжності становила $\pm 10\%$. Для багатокоризонтних схем величина розбіжності збільшується із зростанням S_{um} . Це підтверджує відоме в теорії фракталів положення про точки зростання розгалужених структур. Наявність таких точок сприяє подальшому розвитку цих структур.

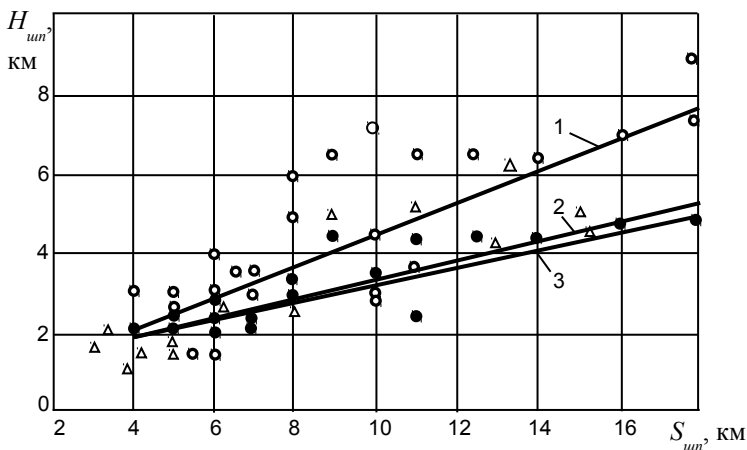


Рис. 4. Графіки зміни довжини шахтного поля (H_{um}) по падінню від його довжини по простяганню (S_{um}): 1 – за емпіричною залежністю для однокоризонтних та багатокоризонтних схем, 2 – за вихідною фрактальною моделлю, 3 – однокоризонтні схеми розкриття, \triangle – дані за всіма типовими технологічними схемами, \square – дані для однокоризонтних схем, \circ – фактичні дані по лінійних шахтах

Отримані результати дозволили зробити висновок про те, що мережа гірничих виробок у межах шахтного поля розвивається відповідно до законів теорії фракталів. З урахуванням цього на підставі фрактального опису розвитку процесу за поверхової, панельної й погоризонтної підготовок шахтних полів отримані фрактальні моделі, що описують раціональні співвідношення між розмірами шахтних полів, панелей, виїмкових стовпів (полів): $H_{um} = 0,63 \cdot S_{um}^{0,66}$, $H_n = 0,48 \cdot S_n^{0,85}$, $l_n = 0,19 \cdot L_e^{0,92}$, де H_n , S_n – розмір панелі по падінню й простяганню, км; L_e – довжина стовпа, км.

Порівняння теоретичних

параметрів K_n і f_e з їх емпіричними значеннями, встановленими за результатами обробки даних типових технологічних схем і проектів шахт, довело гарну збіжність. Середнє відносне відхилення становило 8%. Для виїмкових стовпів найбільш близькими до теоретичних виявилися емпіричні коефіцієнти, отримані за результатами обробки фактичних співвідношень їх розмірів під час застосування високопродуктивного очисного устаткування.

Дослідження зміни довжини гірничих виробок у часі, починаючи з першого року будівництва шахт, показало, що воно адекватно описується логістичною залежністю $y = a / (1 + b^{-c(t-t_0)})$, де $b = a/m - 1$, а $c = \ln(1 + a/m) / (n - t_0)$ (рис. 5).

У наведених формулах параметр a характеризує межу, до якої прагне сумарна довжина гірничих виробок за стабільної роботи шахти, а m – довжина гірничих виробок, проведених у 1-му році будівництва шахти. Параметр n відповідає часу, коли проведена приблизно половина довжини гірничих виробок, необхідних для виведення шахти на стабільний режим роботи. Час t_0 відповідає початку спорудження відповідного класу виробок (розкривальні, підготовлюючі й підготовчі), а t – поточний час розвитку мережі гірничих виробок.



Рис. 5. Характер зміни сумарної довжини гірничих виробок у часі: 1 – теоретична крива (логіста); 2 – графік фактичних значень на прикладі ш. ім. ІХ П'ятирічки

гірничих виробок показав, що вони залежать від проектної виробничої потужності шахти $A_{изг}$. Цей взаємозв'язок надійно описується рівнянням регресії $a = 37000 + 0,017 \cdot A_{изг}$ (коефіцієнт кореляції $r_{yx} = 0,760$). Встановлений також тісний взаємозв'язок параметра з кількістю неоднорідних ділянок вугільних пластів ($r_{yx} = 0,745$), що одночасно розроблюються.

Параметр n досить тісно пов'язаний із часом початку стабільної роботи шахти $t_{н.с}$. Цей взаємозв'язок описується лінійним рівнянням регресії $n = 0,54 + 0,69 \cdot t_{н.с}$ ($r_{yx} = 0,937$). Встановлений також взаємозв'язок параметрів логіст із класами гірничих виробок.

Математичний опис виявлених закономірностей дозволяє прогнозувати довжину гірничих виробок на кожному етапі розвитку їх мережі й визначати раціональні розміри шахтного поля і його частин без складних техніко-економічних розрахунків. Отримані результати враховуються під час формування й оцінювання варіантів топології гірничих виробок.

Розрахунок параметрів логістичних залежностей для 13-и шахт показав, що вони досить добре описують закономірності розвитку мереж гірничих виробок у часі. У 80% випадків відхилення фактичних даних від розрахункових не перевищувало 25%, становлячи в середньому 15%, а кореляційне відношення змінювалося в межах 0,762-0,959.

Аналіз величин параметра a для сумарної довжини всіх класів

У п'ятому розділі виконане обґрунтування методики оптимізації мереж гірничих виробок, яку в узагальненому вигляді наведено на рис. 6.

Перші два етапи цієї методики виконуються з використанням математичних моделей, розроблених у попередніх розділах.

Для генерування ідей проекту МГВ побудована їх узагальнена функціональна модель (ФМ МГВ), що являє собою логіко-графічне зображення складу і взаємозв'язків технологічних функцій, які виконуються мережею гірничих виробок. Вона зображена на рис. 7 і містить у собі наступні функції: F_1 – забезпечити видобуток вугілля; F_2 – забезпечити доступ з поверхні до місця видобутку корисної копалини; F_3 – забезпечити діставання корисної копалини на поверхню; F_{21}, F_{22}, F_{23} – забезпечити розкриття, підготовку й формування очисних вибоїв; $F_{31}, F_{32}, F_{33}, F_{34}, F_{35}, F_{36}, F_{37}, F_{38}, F_{39}, F_{310}$ – забезпечити переміщення людей, розміщення устаткування, транспортування вугілля, матеріалів, енергопостачання, транспортування породи, провітрювання шахт, водопостачання, водовідлив, безпека відпрацювання викиднебезпечних пластів; $f_{211}, f_{212}, f_{213}, f_{214}$ – забезпечити доступ з поверхні до транспортного, вентиляційного й дренажного горизонтів, доступ до вугільних пластів; $f_{221}, f_{222}, f_{311},$

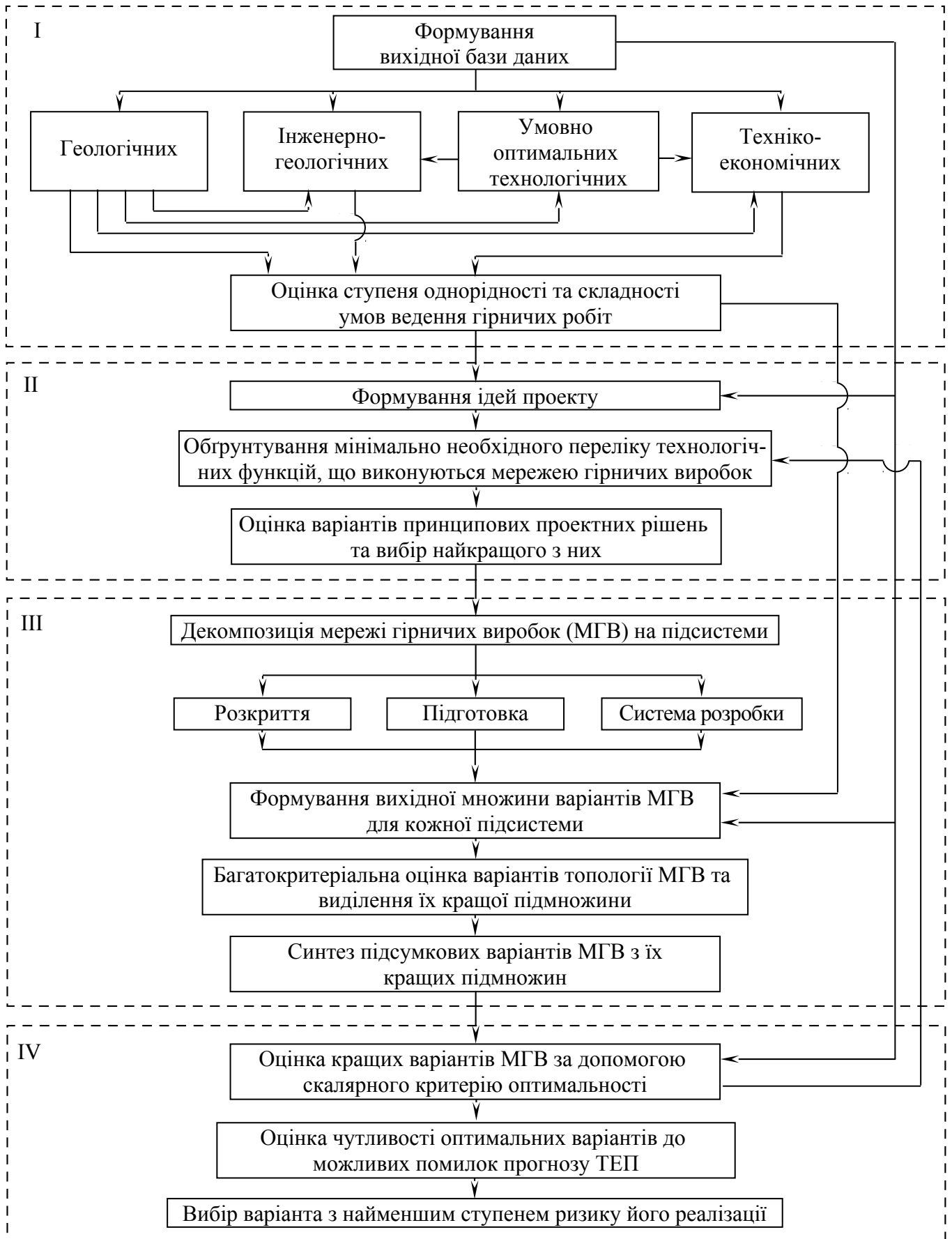


Рис. 6. Алгоритм вибору оптимального проектного варіанту мережі гірничих виробок

f_{223} – розділити шахтне поле на частини, згрупувати пласти, підготувати пласти; f_{231} , f_{232} , f_{233} – сформувані виїмкові поля, ділянки (стовпи), задати напрямок ведення очисних робіт; f_{311} , f_{312} – забезпечити транспортування людей і запасний вихід; f_{361} , f_{362} – перемістити породу до ПСД, видати її на поверхню; f_{371} , f_{372} , f_{373} – подати свіжий струмінь повітря, підсвіжити вихідний струмінь повітря, видалити вихідний струмінь повітря; f_{374} – забезпечити дегазацію вуглепородного масиву; f_{391} , f_{392} – перемістити воду до головного водозбірника, відкачати її на поверхню.

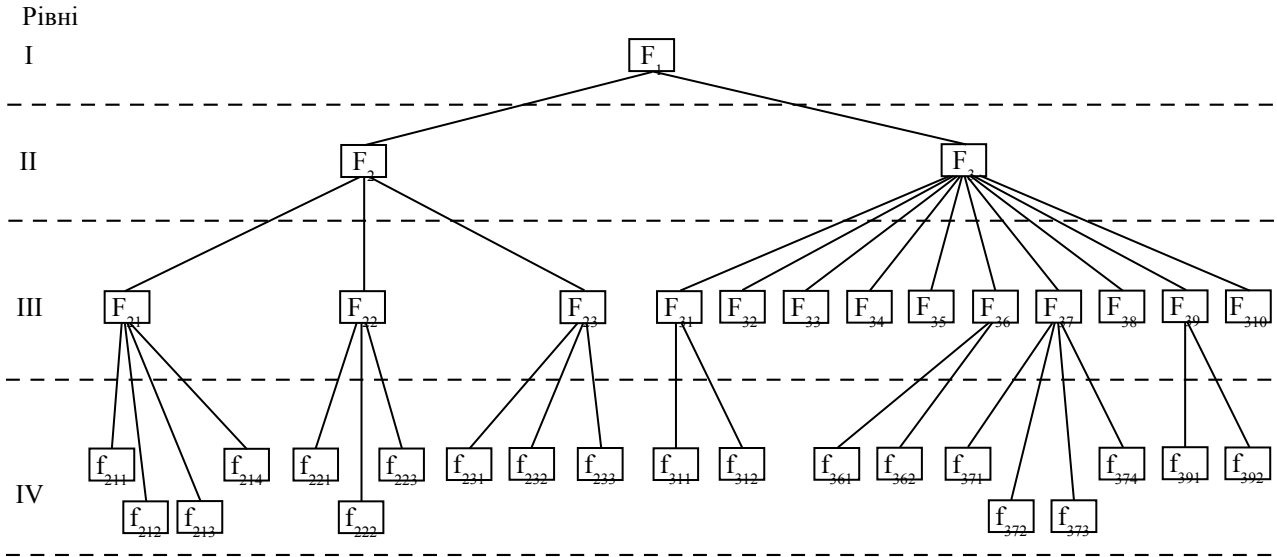


Рис. 7. Узагальнена функціональна модель мережі гірничих виробок

Функція F_1 – головна, F_{21} і F_{22} – основні, а всі інші допоміжні III і IV рівнів.

Аналіз ФМ МГВ передбачає вилучення з неї тих функцій, виконувати які в конкретних умовах не потрібно, а також суміщених з виконанням суміжних. Після цього виявляється можливість вилучення функцій, що залишилися, способом пошуку відповіді на запитання: яким чином буде виконуватися вища функція після вилучення забезпечувальної її нижчої функції? Технічне протиріччя, що виникає при цьому, долається за допомогою евристичних прийомів теорії розв'язання винахідницьких задач. Аналіз великої кількості винаходів у галузі топології гірничих виробок показав, що найбільш часто використовуються прийоми інверсії (навпаки), дроблення, винесення, місцевої якості, об'єднання й універсальності.

Розроблена методика аналізу функціональної моделі дозволила запропонувати нову технологію добування вугілля із пластів, що неглибоко залягають. Вона відрізняється малою кількістю технологічних функцій, що виконуються, високим ступенем їх суміщення, що забезпечує безпеку ведення гірничих робіт, примусову рекультивацию поверхні землі й можливість закладання породи зі старих териконів у вироблений простір.

За результатами генерування ідей проекту може бути отримано декілька варіантів проектних рішень, кожному з яких відповідає своя функціональна модель. Вибір кращої з них на цій стадії за допомогою техніко-економічних розрахунків неможливий через їх складність і відсутність необхідної інформації. Тому, були розроблені часткові критерії оцінювання досконалості функціональної моделі, які характеризують ступінь концентрації функцій k_{kf} , наявність негативних наслідків

для зовнішнього середовища від їх виконання k_{on} і ступінь нейтралізації цих наслідків k_{kf} : $k_{kf} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{F_i}{F_{i+1}}$, $k_{on} = 1 - (F_{on} / F_e)$, $k_{on} = N_{nn} / (F_n + N_{on})$, де F_i й F_{i+1} – кількість функцій на i -му і $i+1$ рівнях; n – кількість рівнів функціональної моделі; F_{on} – кількість функцій, що породжують негативні наслідки; F_e – загальна кількість допоміжних функцій усіх рівнів ФМ МГВ; N_{nn} – кількість нейтралізованих негативних наслідків; N_{on} – загальна кількість негативних наслідків; F_n – кількість функцій, необхідних для нейтралізації негативних наслідків.

Ці критерії задовольняють вимогам, які ставляться до розв'язання багатокритеріальних задач: безрозмірність, незалежність, рівнозначність і односпрямованість. Тому, для інтегрального оцінювання ФМ використовується їх середня величина k_u . Для вихідної ФМ МГВ k_u дорівнює 0,400; для моделі, побудованої стосовно до сприятливих умов відпрацювання одиночного пологоспадного пласта – 0,430, а для запропонованої технології – 0,860. Наведені результати підтвердили гарну чутливість k_u до ступеня досконалості ФМ МГВ, реалізація яких апріорі вимагає найменших витрат.

Після вибору найбільш досконалої функціональної моделі проводиться пошук варіантів ефективного виконання всіх включених до неї функцій. Це завдання вирішується через побудову й оцінювання функціонально-структурних моделей мережі гірничих виробок (ФСМ МГВ), які являють собою різні варіанти суміщення функцій зі структурними елементами системи. Їх формування проводиться окремо для розкриття, підготовки й систем розробки за допомогою морфологічного аналізу.

Оскільки вихідними елементами ФСМ МГВ є окремі гірничі виробки, що виконують певні комбінації технологічних функцій, то це призводить до необхідності розробки класифікації виробок, адаптованої до процедури морфологічного аналізу. За ознакою відповідності, зазначеним вище, підсистемам були виділені, розкривальні, підготовлюючі і підготовчі виробки. У межах кожної із цих груп виділені підгрупи основних і додаткових, головних і допоміжних виробок.

Основні й додаткові різняться за ознакою забезпечення доступу до корисної копалини. Головні виробки призначені для транспортування корисної копалини, а допоміжні – для виконання всіх інших технологічних функцій. Для кожної комбінації груп і підгруп виділені топологічні ознаки виробок і варіанти сполучення технологічних функцій, що ними виконуються.

На підставі цієї класифікації формується вихідний список виробок і їх ознак, що відповідають конкретним геологічним і технологічним умовам ведення гірничих робіт. Із цією метою визначена область раціонального застосування виробок і їх ознак. При виборі ознак, що характеризують просторове розташування виробок, враховується оптимальна послідовність відпрацювання вугільних пластів і їх ділянок, що залягають у неоднорідних за ступенем складності геологічних умовах.

Після складання морфологічного списку виробок і їх ознак формулюються умови їх несумісності. Урахування цих умов у процесі генерування множини

морфологічних варіантів призводить до її істотного скорочення. Тому необхідне попереднє оцінювання кількості (N_k) цих варіантів з метою вибору алгоритму формування з них підмножини кращих.

Для попарно несумісних непересічних ознак $N_k = N_o - \prod_{i=p}^k n_i^u \cdot \prod_{i=t}^{m-k} n_i$, де N_o –

вихідна кількість варіантів $N_o = \prod_{i=1}^m n_i$, n_i^u – кількість несумісних ознак для i -го елемента (виробки); k – кількість p -х елементів, що містять попарно несумісні ознаки; t – порядковий номер елемента, що не містить несумісних ознак; n_i – кількість ознак елементів m .

Для попарно несумісних пересічних ознак суміжних елементів $N_k = N_o - \prod_{i=p}^k n_i^u \cdot \prod_{i=t}^{m-k} n_i - \sum_{i=s}^d [(n_i - n_i^u) \cdot n_i^u \cdot n_{i+1}]$, де d – кількість суміжних елементів, що містять пересічні попарно несумісні ознаки; s – порядковий номер елемента, що містить пересічні попарно несумісні ознаки.

Для всіх інших умов несумісності верхня межа N_k визначається за розробленим алгоритмом, що ґрунтується на теорії графів у комбінації з матричним методом і морфологічним аналізом. Розроблений алгоритм дозволяє визначити кількість варіантів будь-яких систем, які можливо здійснити, що й робить його універсальним.

Виділення з вихідної множини варіантів підмножини кращих здійснюється з використанням процедури Парето. Для її реалізації розроблені три часткові функціонально-структурні критерії: ступінь суміщення функцій k_{cf} , їх широти k_{uf} і концентрації структурних елементів k_N

$$k_{cF} = \frac{\sum_{i=1}^m N_i^c F_i^c}{N_{o\phi} F_{o\phi}}, \quad k_{uF} = \frac{\sum_{i=1}^m N_i^n F_i^n}{N_{o\phi} F_{o\phi}}, \quad k_N = \frac{\sum_{i=1}^m N_i n_i}{N_{o\phi} n_{o\phi}}, \quad (4)$$

де N_i^c – кількість елементів, що виконують i -й набір комбінацій функцій F_i^c ; m – кількість варіантів комбінацій функцій; $N_{o\phi}$ – загальна кількість елементів; $F_{o\phi}$ – загальна кількість виконуваних функцій; N_i^n – кількість елементів, що виконують i -й набір комбінацій потенційних функцій F_i^n ; N_i – кількість елементів (виробок), що обслуговують i -й набір частин шахтного поля n_i ; $n_{o\phi}$ – загальна кількість частин шахтного поля, що обслуговуються всіма виробками.

Ці критерії отримані з використанням матричного підходу, згідно з яким вони характеризують питому вагу заповнених комірок матриць $N_{o\phi} \times F_{o\phi}$ і $N_{o\phi} \times n_{o\phi}$.

Критерій k_{cf} характеризує ступінь багатофункціональності елементів системи, k_{uf} – її адаптаційність і k_N – ступінь концентрації гірничих робіт.

Використання всього 3-х окремих оцінних критеріїв дозволяє виділяти в число кращих у середньому 10-12% від вихідної кількості морфологічних варіантів, що дозволяє суттєво згладити гостроту проблеми його розмірності.

Перевірка ефективності цих критеріїв за типовими технологічними схемами розкриття, підготовки й систем розробки пологих пластів Донбасу на великих глибинах показала, що в число чотирьох кращих схем увійшло дві оптимальні й дві

конкуруючі, встановлені за допомогою техніко-економічного порівняння варіантів.

Зі сформованих підмножин кращих комплексів, розкривних, підготовлюючих і підготовчих виробок синтезується вихідна множина варіантів ФСМ МГВ, що містить усі зазначені групи виробок. Методика синтезу й оцінювання цих варіантів аналогічна розглянутій вище. У результаті формується підмножина кращих синтезованих варіантів топології МГВ, з якого за допомогою критерію (1) вибирається оптимальний.

Оцінювання ступеня ризику реалізації оптимального варіанта здійснюється через генерування квазівипадкових значень сумарного ефекту \mathcal{E}_c від освоєння родовища, який розраховується на підставі критерію оптимальності (1) способом вилучення з імовірного сумарного доходу величини приведених первісних капітальних витрат.

Сполучення, факторів і показників, що впливають на \mathcal{E}_c , генерують із використанням принципів планування експериментів і морфологічного аналізу.

За сукупністю сформованих значень \mathcal{E}_c встановлюють теоретичний закон їх розподілу. Після цього для мінімально прийнятної з погляду інвестора величини сумарного доходу $\mathcal{E}_{c \min}$ розраховується ймовірність його непідтвердження α , яка враховується під час розрахунку можливого збитку від відмови Y_1 або згоди інвестування в проект Y_2 : $Y_1 = (1 - \alpha) \cdot \mathcal{E}_{c \min}$, $Y_2 = \alpha \sum_{t=0}^{T_1} K_t (1 + E)^{t1}$, за результатами якого

ухвалюється остаточне рішення про доцільність інвестицій у реалізацію оптимального проекту.

Реалізація розглянутих методів проектування оптимальних мереж гірничих виробок на діючих шахтах вимагає проведення попереднього їх аналізу з метою максимального спрощення й підвищення ефективності поточних і перспективних програм розвитку гірничих робіт.

У шостому розділі наведений структурно-функціональний опис мережі гірничих виробок на діючій шахті з метою її спрощення. Необхідність модернізації останньої встановлюється за допомогою логістичних залежностей зміни Σl у часі і впливу на їх параметри A_{uz} . Якщо фактичне значення сумарної довжини гірничих виробок перевищує розрахункове при заданій проектній потужності шахти більш ніж на 20%, то ухвалюється рішення про необхідність удосконалення діючої мережі гірничих виробок з метою її спрощення.

Структурно-функціональний опис МГВ передбачає її зображення у вигляді матриці стикувальних вузлів і графа, що відбивають послідовність з'єднання виробок і їх довжину. На додаток до них складається таблиця, що характеризує перелік і якість виконання виробками технологічних функцій.

Якість виконання функцій оцінюється за допомогою критеріїв функціональної завантаженості $k_z = Q_{ij}^{\phi} / Q_{ij}^n$ й стану виробок $k_c = 1 - (\sum_{i=1}^n l_i / l)$, де Q_{ij}^{ϕ} – фактична завантаженість J -ї виробки виконанням i -ї функції; Q_{ij}^n – проектна або реально можлива пропускна здатність J -ї виробки за i -ю функцією, $\sum_{i=1}^n l_i$ – сумарна довжина ділянок (n) виробки з незадовільним станом, м; l – загальна довжина виробки, м.

Перший критерій характеризує надійність виконання i -ї функції за пропускнуою здатністю J -ї виробки, а другий – її стан за фактором гірничого тиску.

Для кожної виробки визначаються середньорічні витрати на виконання нею відповідних функцій і підтримку в нормальному експлуатаційному стані. Ці витрати встановлюються через розподіл загальношахтних витрат на основні технологічні процеси (провітрювання, транспорт, водовідлив і т.п.) для виробок пропорційно їх довжині або фактичній завантаженості відповідними функціями. За наявності первинної документації про витрати на виконання конкретних функцій окремими виробками вони враховуються замість усереднених.

Після визначення k_z , k_c і витрат розраховується показник їх концентрації для кожної виробки \bar{K}_{zi} . Далі встановлюється теоретичний закон розподілу значень \bar{K}_{zi} , за яким виділяються виробки з найбільшим рівнем концентрації. Ці виробки зазнають детального аналізу з метою спрощення МГВ і зниження загальних витрат на її функціонування. При цьому виявляються можливості списання або погашення виробок за рахунок перерозподілу між ними функцій і підвищення ступеня завантаженості, що залишається до гранично допустимого рівня.

Для об'єктивного виконання детального аналізу проведена систематизація можливих проектних рішень залежно від комбінації значень k_z і k_c .

Удосконалена структурно-функціональна модель МГВ піддається укрупненому оцінюванню за критеріями k_{cf} , k_{uf} і k_N . Якщо вона за всіма цими критеріями краща порівняно з базовою, то цим підтверджується більший ступінь її досконалості. Якщо базовий і новий варіант за зазначеними критеріями рівноцінні, то розраховуються показники витрат на функціонування нової МГВ і вартість вивільнених для повторного використання устаткування й матеріалів, за якими здійснюється розрахунок економічного ефекту від реалізації ухвалених рішень щодо спрощення МГВ.

У сьомому розділі наведено результати практичної реалізації розробленої методології оцінювання умов залягання вугільних пластів і оптимізації мереж гірничих виробок.

За результатами оцінки 12-ти резервних ділянок вугільних родовищ Луганської області встановлено, що найбільш перспективними для освоєння серед ділянок з антрацитовими пластами є «Нагольчанська західна» і «Краснолуцька північна 2», а для коксівного вугілля – «Миронівська глибока» і «Новосвітлівська». Для ділянки «Новосвітлівська» інститутом «Луганськдіпрошахт» розроблено ТЕО будівництва ш. «Новосвітлівська» з першочерговим відпрацюванням пластів l_6^u і l_2^1 , згідно зі зробленими у роботі висновками.

Під час обґрунтування проектних рішень відпрацювання зближених пластів l_3 і l_4 північного крила блока №1 ш. «Комсомолець Донбасу» використано комбінацію структурно-функціонального й функціонально-структурного підходів до вирішення поставленої задачі.

Аналіз графа з'єднань гірничих виробок блока № 1 ш. «Комсомолець Донбасу» (рис. 8) і матриці їх функціональної завантаженості (табл. 1) дозволив встановити, що підготовку зазначеної ділянки можна здійснити за допомогою трьох виробок замість п'яти за базовим проектом.

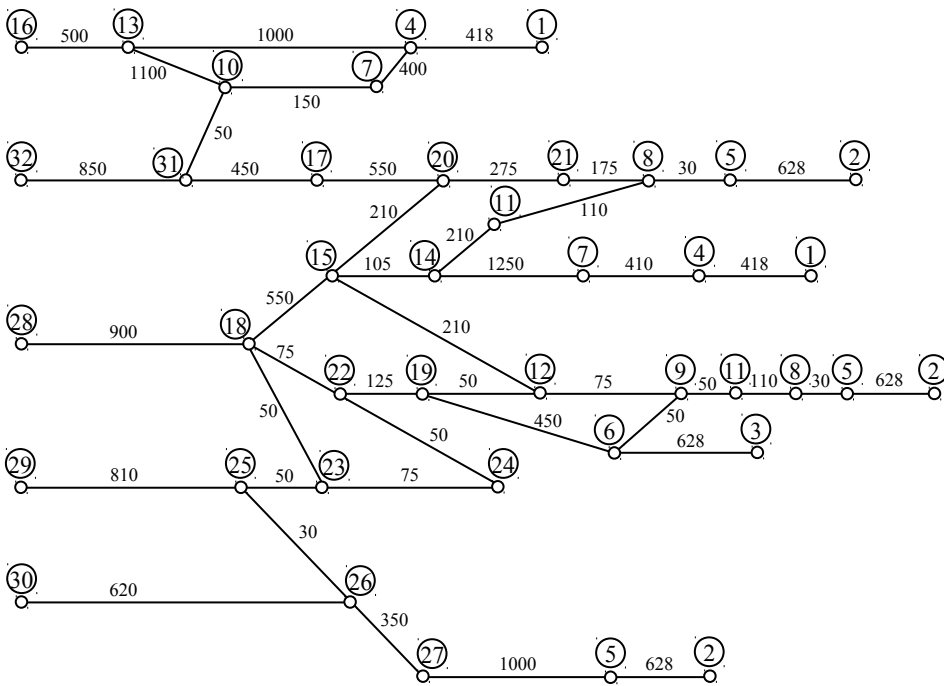


Рис. 8. Граф послідовності з'єднання мережі гірничих виробок блока №1 ш. «Комсомолец Донбасу»

магістральних польових штреків на 2250 м, підвищити надійність провітрювання лав з дотриманням Правил безпеки, спростити й підвищити надійність схеми транспортування вугілля, конструкцію проміжних, верхніх і нижніх приймально-відправних майданчиків.

Цей результат був врахований під час побудови функціональної моделі МГВ. Величина критерію k_u становила для неї 0,620 замість 0,550 для базової, що свідчить про побудову більш досконалої ФМ МГВ. Для реалізації останньої сформовані три кращі варіанти, з яких на підставі техніко-економічної оцінки обраний варіант (рис. 9), що дозволяє скоротити обсяг проведення

Таблиця 1
Матриця функціональної завантаженості гірничих виробок блока №1 ш. «Комсомолец Донбасу»

Цифровий код виробки	Функції									
	F_{33}	F_{34}	F_{35}	f_{311}	f_{312}	f_{361}	f_{362}	f_{371}	f_{373}	f_{392}
1, 4		+	+		+			0,36		
4, 13, 16		+	+	+				0,21		
7, 10, 13	0	+	+		+	+		0,23		
31, 32						+			0,29	
10, 31, 17						+			0,28	
17, 20						+			0,28	
20, 21									0,32	
21, 8, 5									0,32	
7, 14, 15, 12	0,4	+		+				0,02		
12, 19, 22, 24		+	+	+				0,16		
19, 6		+	+	+				0,35		
14, 15, 12	0,4	+		+				0,02		
12, 9, 11, 8, 5	0,4							0,35		
15, 18, 23					+				0,17	
5, 27	0,55								0,11	
27, 26	0,15								0,11	
22, 18, 28					+				0,02	
24, 23, 25, 29		+	+	+				0,30		
26, 30	0,15				+	+			0,22	
2, 5	0,6						+		0,84	

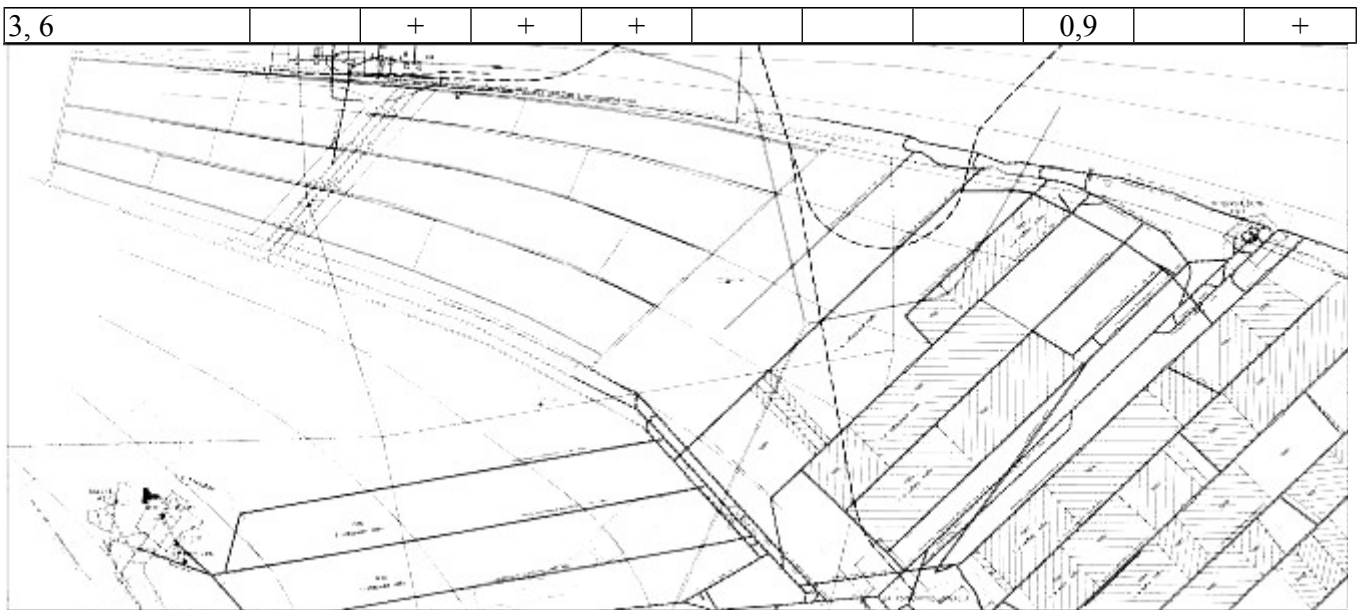


Рис. 9. Рекомендована мережа гірничих виробок по пл. l_4 ш. «Комсомолец Донбасу»

З урахуванням отриманих результатів технічною службою шахти складене ТЗ на проект відпрацювання зазначеної ділянки пластів l_3 і l_4 , на підставі якого «Дондiproшахтом» розроблено робочий проект їх підготовки і відпрацювання. У ньому відповідно до розроблених пропозицій передбачена панельна підготовка за бремсберговою схемою, висхідне провітрювання виробок із транспортуванням вугілля на гор. 628 м і закладання панельних допоміжних бремсбергів у міжпласті. Виконаний за фрактальними моделями розрахунок довжини лави показав, що вона повинна бути збільшена з 170 до 220 м.

Обґрунтування мережі гірничих виробок для відпрацювання резервної ділянки пл. h_{10} ш/у «ім. Космонавтів» ДП «Ровенькиантрацит», виконане на підставі структурно-функціонального й функціонально-структурного аналізу, дозволило розробити рекомендації зі скорочення до 2005 р. діючої мережі на 11590 м. За станом на 01.01.2002 було скорочено 8090 м цих виробок, що дало фактичний економічний ефект у розмірі 714313 грн. Крім того, запропоновано змінити послідовність і систему розробки цієї ділянки. Для цього пропонувалося замінити спарені лави, що працюють за комбінованою системою на одинарні. Дві перші лави запропоновано закладати в центрі ділянки (по одній у східному і західному крилах) замість спарених у центрі західного крила. Після відпрацювання двох лав у східному крилі рекомендовано зосередити очисні роботи в західному, заклавши ще одну лаву в його центрі. За результатами прогнозу стану вуглевміщуючих порід і корегування значень потужності пласта з урахуванням можливих систематичних і випадкових помилок було запропоновано також відмовитися від застосування комплексу КМ103М для відпрацювання західного крила пл. h_{10} ліворуч від його центру й замінити комплекс на гідрофіковане кріплення «Супутник». Розглянуті на технічній раді рекомендації з відпрацювання пл. h_{10} були прийняті до реалізації лише частково. Однак після того, як секції кріплення М103М були посаджені «на жорстко» на ділянці, де це й передбачалося за результатами прогнозу, комплекс був замінений на індивідуальне кріплення з посадковими стояками «Супутник» і

подальше відпрацювання пласта здійснювалося вже з використанням рекомендованих засобів ведення очисних робіт і системи розробки. Порівняння очікуваних (прогнозних) і фактичних навантажень на лави, обладнані комплексом КМ103М й індивідуальними засобами кріплення, показало їх гарну збіжність.

Оптимізація мережі гірничих виробок з підготовки резервної ділянки пл. h_{10}^e ш. №71 «Індустрія» ДП «Ровенькиантрацит» показала, що найбільш ефективним є варіант із фланговим закладанням допоміжного уклону й проведенням центрального діагонального конвеєрного уклону на межі некондиційної потужності пласта з відповідною зміною конструкції верхнього приймально-відправного майданчика. При цьому центральний допоміжний уклон проводиться тільки до межі другого ярусу. Запропоновані проектні рішення включені інститутом «Луганськдіпрошахт» у «Проект розкриття й підготовки уклонного поля гор. 400 м пл. h_{10}^e на східному крилі». Часткова реалізація цих рішень дозволила одержати фактичний економічний ефект у розмірі 1010000 грн.

Виконані для ш. №71 «Індустрія» обґрунтування оптимальної МГВ для відпрацювання пл. h_2 дозволили встановити, що ділянка цього пласта, розташована між II Ровеньківським і Валентинівським західним скидами нижче ізогіпси – 450 м, залягає в найбільш сприятливих геологічних умовах, що забезпечують кращі техніко-економічні показники, роботи лав. Тому мережа гірничих виробок спроектована з урахуванням першочергового освоєння саме цієї ділянки. У результаті запропонований варіант, який дозволяє зменшити початковий обсяг проведення гірничих виробок на 2000 м, що становить 64% від базового варіанта. Крім того, була доведена недоцільність проведення вентиляційної свердловини, оскільки спроектована мережа гірничих виробок забезпечує стійке провітрювання лав.

Структурно-функціональний аналіз діючої мережі виробок шахт «Україна» і «Перевальська» ДП «Луганськвугілля» дозволив виявити резерви скорочення їх сумарної довжини на 13900 м до 1999 р. по ш. «Україна» і 26762 м до 2005 р. по ш. «Перевальська». Фактично до 1995 р. по ш. «Україна» було погашено 6940 м виробок. По ш. «Перевальська» погашено й списано за станом на 05.08.2006 р. 12640 м виробок. Фактичний економічний ефект на цій шахті тільки за рахунок повторного використання металокріплення становить 1208160 грн. Крім цього, обґрунтовано доцільність передачі резервної ділянки пл. k_3^1, k_3^e, k_3'' однієї із зазначених шахт і доведено, що на пл. k_3^e у центральній частині резервної ділянки з імовірністю 0,863 очікується зниження її потужності до 0,45-0,50 м. За результатами виконаних розрахунків і обґрунтувань встановлено, що найкращим є варіант розподілу резервної ділянки за лінією ізогіпси – 350 м і простягання Селезнівського насуву з передачею його вищележачої частини ш. «Перевальська», а нижчележачої – ш. «Україна». Спроектовані за допомогою функціонально-структурного аналізу мережі гірничих виробок для відпрацювання зазначених частин резервної ділянки забезпечили найменший початковий і наступний обсяги їх проведення й підтримки й тому рішенням керівництва ДП ці запаси були передані ш. «Перевальська». Досвід відпрацювання пл. k_3^e цією шахтою підтвердив прогнозне зменшення його потужності до 0,46 м у виділеній раніше зоні, що призвело до зміни системи

розробки.

Таким чином, практичний досвід застосування розробленої методології аналізу й проектування мереж гірничих виробок, розпізнавальних систем і моделей показав їх високу ефективність і вірогідність, що дозволило одержати сумарний фактичний економічний ефект у розмірі 2,932 млн. грн.

Розроблені методи прогнозу стійкості вуглевміщуючих порід увійшли в галузевий нормативний документ «Рекомендации по прогнозированию условий отработки лав пологих пластов Донбасса и выбора рациональных параметров их крепления».

ВИСНОВКИ

У дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, виконане теоретичне узагальнення й дано нове вирішення актуальної проблеми розробки наукових основ функціонально-структурної оптимізації моделей мереж гірничих виробок вугільних шахт, що має важливе народногосподарське значення, і полягає у встановленні закономірностей їх розвитку, взаємозв'язку із природним середовищем, технологією й економічними показниками, оцінці ступеня сприятливості залягання вугільних родовищ і окремих його частин, функціонально-структурному й фрактальному описах на різних стадіях формування мереж виробок, що забезпечують підвищення ефективності вугільного виробництва.

Основні наукові й практичні результати виконаних досліджень полягають у наступному:

1. Надане теоретичне обґрунтування новому критерію оцінювання ступеня сприятливості умов залягання вугільних пластів, що враховує ймовірність їх залягання в різних за ступенем складності умовах. При цьому доведений адитивний характер впливу несприятливих факторів, що спільно проявляються, на техніко-економічні показники роботи лав і шахт. На підставі запропонованого критерію розроблена методика оцінювання складності умов залягання вугільних пластів, характерною рисою якої є ітеративний підхід до виділення однорідних комбінацій їх якісних і кількісних ознак за допомогою комбінації параметричних і непараметричних, багатовимірних і одновимірних статистичних критеріїв.

2. Доведено, що найбільш надійні результати прогнозу техніко-економічних показників роботи лав і шахт досягаються за комбінованого застосування методів неоднорідного послідовного статистичного аналізу й лінійних дискримінантних функцій. При цьому встановлено, що інформація яка міститься в прогностичних коефіцієнтах розпізнавальних систем, впливає не тільки на розпізнавання інтервалів зміни прогнозованих показників, але й на їх точкові внутрішньоінтервальні значення. У тих випадках, коли вони розподіляються за нормальним законом, взаємозв'язок між сумами прогностичних коефіцієнтів і прогнозованими показниками адекватно описується лінійною функцією, а за логнормальним – експонентною. Встановлені закономірності дозволяють суттєво спростити методи прогнозу техніко-економічних показників і інженерно-геологічних умов ведення гірничих робіт за збереження їх високої надійності.

3. Встановлені закономірності формування помилок геологорозвідувальних даних, які полягають у тому, що зі збільшенням потужності пласта, кута його падіння, природної метаносності збільшуються систематична й випадкова складові помилок. Прогнозні значення експлуатаційної зольності, загальної сірки й робочої вологості, а також потужності несправжньої покрівлі систематично знижуються порівняно з фактичними. Помилки вихідних даних, низька надійність прогнозу показників стану вуглевміщуючих порід, обводненості лав і тектонічної малоамплітудної порушеності пластів визначили розробки й модернізацію з єдиних теоретичних і методичних позицій нових і відомих розпізнавальних систем, у яких реалізована розроблена методика врахування помилок вихідних даних, які ґрунтуються на мінімаксному і максимінному підходах до чутливості прогнозованих показників за величиною й знаком помилок, що дозволяє обґрунтовувати доцільність їх урахування ще до здійснення процедури прогнозування й підвищити надійність прийнятих на її підставі проектних рішень.

Отримана залежність щільності малоамплітудних порушень від відстані до великого розриву, яка адекватно описується степеневою функцією $P_i = 32 / l_{ni}^{0,764}$. При цьому встановлено, що збільшення амплітуди такого розриву впливає на зміну щільності малоамплітудних порушень в інтервалі відстані до 200 м, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення про доцільність відпрацювання порушених ділянок вугільних пластів.

4. Доведено, що розвиток мережі гірничих виробок у площині пласта підпорядковується законам теорії фракталів. При цьому встановлено єдність структури фрактальних моделей для різних схем підготовки пластів і варіантів розподілу шахтного поля на частини. Згідно з фрактальною моделлю за довжини виїмкової ділянки понад 2000 м довжина лави повинна бути не менш 300 м для високонадійного очисного устаткування, що підтверджується сучасною вітчизняною і закордонною практикою та дозволяє визначати раціональні розміри шахтного поля і його частин без складних техніко-економічних розрахунків.

5. Встановлено, що зміна довжини гірничих виробок у часі описується логістичною залежністю $y = a / (1 + b \cdot e^{-c(t-t_0)})$, параметри якої залежать від класу виробок, виробничої потужності шахти, виду основних розкривних виробок, способу підготовки вугільних пластів (груповий, індивідуальний), кількості одночасно розроблюваних неоднорідних ділянок, обсягу проведення основних розкривних виробок, у перший рік будівництва шахти й часу виходу її на стабільний режим роботи.

Ці закономірності дозволяють прогнозувати сумарну довжину мережі гірничих виробок на різних стадіях її розвитку, враховувати результати прогнозу при оцінюванні вугільних родовищ, виборі оптимальних варіантів топології й обґрунтуванні необхідності вдосконалення мереж гірничих виробок на діючих шахтах.

6. Розроблена узагальнена функціональна модель мережі гірничих виробок і алгоритм обґрунтування мінімально необхідного переліку функцій, що підлягають виконанню в конкретних геологічних і технологічних умовах. Обґрунтовані критерії оцінювання ступеня організованості функціональних моделей, доведена

доцільність і ефективність генерування ідей проекту мережі гірничих виробок з використанням основних положень теорії розв'язування винахідницьких задач.

Показано, що рівень досконалості функціональних моделей залежить від ступеня концентрації функцій, питомої ваги серед них тих, які породжують негативні наслідки для зовнішнього середовища й складності нейтралізації цих наслідків.

З використанням розробленої методики аналізу й згортання узагальненої моделі запропонований новий малофункціональний спосіб відпрацювання вугільних пластів, що неглибоко залягають.

7. Доведено, що топологія мережі гірничих виробок адекватно описується функціонально-структурною моделлю, усі можливі варіанти якої для конкретних умов формуються за допомогою морфологічного аналізу, стосовно до якого розроблена класифікація гірничих виробок, що забезпечують розкриття, підготовку й розробку вугільних пластів.

Теоретично обґрунтовано вигляд математичних виразів для точного оцінювання потужності морфологічної множини варіантів функціонально-структурних моделей і алгоритм наближеного її оцінювання з урахуванням різних умов несумісності елементів морфокласів. Ці відомості необхідні для вибору методу формування підмножини кращих варіантів.

Обґрунтовані перелік і вигляд часткових критеріїв оцінювання ступеня організованості функціонально-структурних моделей, що дозволяють формувати їх кращі варіанти. При цьому показано, що ступінь досконалості мереж гірничих виробок залежить від питомої ваги в них багатофункціональних виробок, можливості виконання ними потенційних функцій і максимальної кількості частин шахтного поля, що обслуговуються.

8. Фактичний стан мережі гірничих виробок на діючій шахті адекватно описується за допомогою структурно-функціональної моделі, до складу якої входять: матриця стикувальних вузлів виробок, сполучення функцій, що виконуються, і граф послідовності з'єднання. Об'єктивна оцінка ступеня досконалості цієї моделі можлива з використанням розроблених у дисертації критеріїв функціональної завантаженості й стану виробок, які характеризують їх експлуатаційну надійність. Вибір напрямків модернізації мережі гірничих виробок передбачає виявлення незавантажених або слабозавантажених, а також дублювальних виробок, і перерозподіл між ними технологічних функцій. У результаті виявлення останніх приймається рішення про погашення або списання виробок, подальша підтримка яких функціонально не виправдана.

9. Оцінки ступеня сприятливості умов залягання 12-ти резервних ділянок вугільних родовищ Луганської області показали, що найбільш перспективними для видобутку коксівного вугілля є: «Миронівська глибока» і «Новосвітлівська», а енергетичного – «Нагольчанська західна» і «Краснолуцька північна 2». Результати цього оцінювання використані інститутом «Луганськдіпрошахт» за розробки ТЕО будівництва шахти «Новосвітлівська».

Результати оптимізації проектних мереж гірничих виробок під час відпрацювання резервних ділянок шахт «Комсомолец Донбасу» і №71 «Індустрія»

використані інститутами «Дондїпрошахт» і «Луганськдїпрошахт» для розробки ТЗ і робочих проектів.

Методика прогнозу стійкості вуглевміщуючих порід включена в нормативний документ «Рекомендации по прогнозированию условий отработки лав пологих пластов Донбасса и выбора рациональных параметров их крепления», затверджений Мінвуглепромом СРСР.

Фактичний економічний ефект від впровадження результатів досліджень на шахтах №71 «Індустрія», ш/у «ім. Космонавтів» і «Перевальська», досягнутий тільки за рахунок скорочення обсягів проведення і підтримання виробок, становить 2,932 млн. грн.

Основні положення і результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Рекомендации по прогнозированию условий отработки лав пологих пластов Донбасса и выбору рациональных параметров их крепления / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов, М.А. Сребный, Б.В. Смирнов, А.И. Дымна. – Коммунарск: КГМИ, 1980. – 63 с. (Нормативный документ Минуглепрома СССР).

2. Фрумкин Р.А. О классификации условий отработки лав на пологих пластах Донбасса / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов // Уголь. – 1979. – №7. – С. 15-20.

3. Фрумкин Р.А. Методика выбора решений в условиях неопределенности / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов // Известия вузов. Горный журнал. – 1980. – №2. – С. 24-30.

4. Методика разработки стандартов в угольной промышленности / С.Н. Волжин, Р.А. Фрумкин, Е.П. Крылов, В.Н. Окалелов, Е.И. Левин, В.М. Рурбах // Стандарты и качество. – 1979. – №5. – С. 23-29.

5. Фрумкин Р.А. Оценка достоверности прогнозов условий разработки пластов / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов // Уголь Украины. – 1983. – №9. – С. 43-44.

6. Фрумкин Р.А. Достоверность горно-геологических прогнозов и методы ее количественной оценки / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов // Известия вузов. Горный журнал. – 1983. – №4. – С. 33-37.

7. Фрумкин Р.А. Влияние технологических факторов на формирование водопритоков в очистные забои / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов, В.П. Перцев // Сб. научных трудов «Подземная разработка угольных пластов тонкой и средней мощности». – Тула: ТПИ, 1986. – С. 101-103.

8. Прогнозирование водопритоков в очистные забои угольных шахт / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов, А.С. Подтыкалов, Б.В. Смирнов, Я.И. Зарубинский // Известия вузов. Горный журнал. – 1986. – №10. – С. 14-17.

9. Окалелов В.Н. Методика определения сравнительной ценности и очередности освоения участков угольных месторождений / В.Н. Окалелов, Р.А. Фрумкин // Уголь Украины. – 1988. – №11. – С. 27-29.

10. Тищенко В.А. Повышение эффективности отработки пологих пластов на больших глубинах / В.А. Тищенко, В.Н. Окалелов // Уголь Украины. – 1986. – №4. – С. 15-16.

11. Окалелов В.Н. Методика учета изменчивости геологических и технологических факторов при расчетах нагрузки на очистной забой / В.Н.

Окалелов // Сб. научных трудов. Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов. – Тула: ТПИ, 1991. – С. 66-71.

12. Фрумкин Р.А. Применение теории фракталов для анализа технологических схем отработки угольных пластов // Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов, М.З. Авсаджанишвили. – Сб. научных трудов ДГМИ. – Алчевск: ДГМИ. – 1999. – С. 149-153.

13. Окалелов В.М. Функціонально-структурна оптимізація мереж гірничих виробок на діючих шахтах / В.М. Окалелов // Відомості Академії гірничих наук України. – 1997. – №3. – С. 74-75.

14. Окалелов В.Н. Функционально-стоимостное проектирование сети горных выработок / В.Н. Окалелов // Известия вузов. Горный журнал. – 1992. – №2. – С. 54-59.

15. Гайко Г.И. Учет функциональной ответственности выработок при проектировании шахтной крепи / Г.И. Гайко, В.Н. Окалелов // Уголь Украины. – 2001. – №6. – С. 39-41.

16. Окалелов В.Н. Методика прогнозирования укрупненных стоимостных показателей в условиях рынка / В.Н. Окалелов // Уголь Украины. – 2001. – №10. – С. 44-46.

17. Окалелов В.Н. Методика расчета рациональных размеров шахтного поля и его частей / В.Н. Окалелов // Известия вузов. Горный журнал. – 2002. – №1. – С. 42-47.

18. Фрумкин Р.А. Прогнозирование засорения угля в комплексно-механизированных лавах пологих пластов / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов, Э.Р. Самкова // Уголь Украины. – 2003. – №7. – С. 43-45.

19. Окалелов В.Н. Методика формирования вариантов сетей горных выработок с учетом совместимости их признаков / В.Н. Окалелов, Л.Е. Подлипенская // Известия вузов. Горный журнал. – 1998. – №11, 12. – С. 25-29.

20. Окалелов В.Н. Методика морфологического синтеза вариантов сетей горных выработок / В.Н. Окалелов // Уголь Украины. – 2007. – №4. – С. 6-9.

21. Окалелов В.Н. Обобщенная методика прогноза эксплуатационных затрат на освоение угольных месторождений / В.Н. Окалелов. – Сб. научных трудов НГУ. – Днепропетровск. – 2003. – №17. – С. 73-76.

22. Окалелов В.Н. Методика прогноза технико-экономических показателей работы лав и шахт применительно к оценке угольных месторождений / В.Н. Окалелов // Сб. научн. трудов ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – Вып. 26. – С. 33-49.

23. Фрумкин Р.А. Оценка достоверности информации, используемой при разработке инвестиционных проектов угольных шахт / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов, Э.Р. Самкова // Сб. научных трудов ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ, 2009. – Вып. №28. – С. 19-30.

24. Окалелов В.Н. Методика учета ошибок исходных данных при информационном обеспечении процесса проектирования угольных шахт / В.Н. Окалелов, Р.А.Фрумкин // Сб. научных трудов ДонГТУ.– Алчевск: ДонГТУ, 2008. – Вып. №27. – С. 41-46.

25. Окалелов В.Н. Методика прогнозирования распространения

малоамплитудных дизъюнктивных нарушений в окрестности крупных тектонических разрывов / В.Н. Окалелов, Л.Е. Подлипенская, Е.Ф. Шкурский // Уголь Украины. – 2004. – №3. – С. 36-37.

26. Патент 70599А Україна, Е 21С41/26. Спосіб розкриття і розробки неглибоко залягаючих пластових родовищ корисних копалин / В.М. Дорофеев, В.М. Окалелов, С.В. Антюхов. – № 20031211653; заявл. 16.12.2003; опубл. 15.10.2003. Бюл. №10.

27. Окалелов В.Н. Экологические аспекты реструктуризации угольной промышленности / В.Н. Окалелов // Proceedings of the school of underground mining 2002. Series Wyklady №21. – Cracow: Nauka-Technika. – 2002. – P. 245-249.

28. Фрумкин Р.А. Количественная оценка качественных характеристик функционирования горных выработок / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов, М.З. Авсаджанишвили. – Сб. научн. трудов ДГМИ. – Алчевск: ДГМИ. – 1999. – С. 144-148.

29. Окалелов В.Н. Модернизация сетей горных выработок угольных шахт на основе анализа их структурно-функциональных моделей / В.Н. Окалелов // Вестник МАНЭБ. – Вып. 2 (26). – Санкт-Петербург, Алчевск: ИПЦ «Ладо», 2000. – С. 57-60.

30. Фрумкин Р.А. Методика корректировки и повышения достоверности геологических прогнозов / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов // Вестник МАНЭБ. – 2001. – №1 (37). – С. 15-17.

31. Фрумкин Р.А. Прогноз показателей безопасности ведения горных работ на угольных шахтах / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов // Материалы междунар. конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности – 2000» (Феодосия). – Алчевск: ДГМИ, 2000. – С. 105-109.

32. Окалелов В.Н. Функционально-структурное проектирование сетей горных выработок / В.Н. Окалелов // Материалы междунар. конференции «Форум горняков-2006». – Днепропетровск: НГУ, 2006. – С. 173-178.

33. Окалелов В.Н. Методика анализа сетей горных выработок действующих шахт / В.Н. Окалелов. – Матеріали міжнар. конференції «Форум гірників-2008». – Дніпропетровськ: НГУ, 2008. – С. 118-124.

34. Окалелов В.Н. Методы оценки угольных месторождений / В.Н. Окалелов // Збірник наукових праць: «Школа підземної розробки». – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – С. 256-262.

35. Окалелов В.Н. Опыт применения функционально-стоимостного анализа для совершенствования сетей горных выработок / В.Н. Окалелов // Материалы международной научно-практической конференции «Школа подземной разработки» (Ялта). – Днепропетровск: НГУ, 2008. – С. 181-190.

36. Окалелов В.Н. Исследование характера изменения протяженности горных выработок с течением времени работы шахты / В.Н. Окалелов // Сб. научных трудов: «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: НГУ, 2009. – С. 129-138.

37. 185. Фрумкин Р.А. Геолого-экономическая оценка резервных участков угольных месторождений с учетом их инвестиционной привлекательности / Р.А. Фрумкин, В.Н. Окалелов, Э.Р. Самкова // Сб. научн. докладов Междунар.

научно-технической конференции «Горная геология, геомеханика и маркшейдерия». – Донецк: УкрНИМИ, 2004. – С. 112-117.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1, 2, 3] – розробка розпізнавальних систем і обґрунтування можливості прийняття рішень щодо емпіричних порогів; [4] – встановлення взаємозв'язку між комбінаціями геологічних ознак і морфологічними ознаками технічної системи; [5, 6, 23, 24, 29] – закономірності формування помилок вихідних даних і методика їх врахування під час прийняття проектних рішень; [7, 8] – оцінювання інформативності факторів і розробка розпізнавальних систем; [9, 37] – розробка критерію оптимальності; [10] – аналіз закономірностей зрушення гірських порід; [12] – постановка завдання й обґрунтування правомірності використання теорії фракталів для опису розвитку мереж гірничих виробок; [15] – оцінювання якості функціонування гірничих виробок; [18] – оцінювання інформативності факторів, обґрунтування і участь у розробці регресійних моделей; [19] – постановка завдання і аналіз результатів його рішення; [25] – встановлення закономірностей зміни частоти малоамплітудних порушень; [26] – критерії оцінювання якості функціонування гірничих виробок; [30] – генерування ідеї; [31] – алгоритм прогнозу.

АНОТАЦІЯ

Окаєлов В.М. Наукові основи функціонально-структурної оптимізації моделей мереж гірничих виробок вугільних шахт. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – Підземна розробка родовищ корисних копалин. – Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2010.

Дисертація присвячена проблемі підвищення надійності та ефективності проектування мереж гірничих виробок через врахування якості виконання ними технологічних функцій, закономірностей розвитку в часі та просторі, а також імовірності ведення гірничих робіт в різних за ступенем однорідності та складності умов залягання вугільних пластів. Ідея роботи полягає у функціонально-структурному описі мереж гірничих виробок на різних стадіях їх розвитку з урахуванням сприятливості умов залягання вугільних пластів. У роботі виконано обґрунтування нового критерію оптимальності проектних рішень, який враховує ймовірнісну природу початкової інформації. Для розрахунку показників, які входять в економіко-математичну модель критерію, розроблений комплекс розпізнавальних систем та моделей, що базуються на комбінованому використанні неоднорідного послідовного статистичного аналізу та лінійних дискримінантних функцій і забезпечують високу достовірність прогнозів. Для врахування впливу на їх результати похибок початкових даних встановлені закономірності їх формування і розроблені відповідні методики. Розроблена узагальнена функціональна модель мереж гірничих виробок, методи генерування ідеї проекту та критерії їх оцінювання. Вибір матеріальних носіїв функцій, які входять до складу функціональної моделі, здійснюється способом побудови та аналізу

функціонально-структурних моделей мереж гірничих виробок. Їх оцінювання виконується за допомогою розроблених часткових критеріїв, у результаті чого формується підмножина переважних варіантів. З нього за допомогою розробленого скалярного критерію остаточно вибирається оптимальний варіант, для якого розраховується вірогідний збиток від відмови або згоди інвестування у реалізацію проекту з оптимальною мережею гірничих виробок.

Для діючих шахт удосконалення мереж гірничих виробок здійснюється на підставі їх структурно-функціонального опису. Основні положення розробленої методології оптимізації мереж гірничих виробок впроваджені на шахтах і проектних організаціях Мінвуглепрому України з фактичним економічним ефектом 2,932 млн. грн та у вигляді нормативного документу.

Ключові слова: мережа гірничих виробок, методи оптимізації, геологічні умови, прогнозування.

АННОТАЦІЯ

Окалелов В.Н. Научные основы функционально-структурной оптимизации моделей сетей горных выработок угольных шахт. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.02 – Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Национальный горный университет, Днепропетровск, 2010.

В диссертации выполнено теоретическое обобщение и дано новое решение актуальной проблемы разработки научных основ функционально-структурной оптимизации моделей сетей горных выработок угольных шахт, обеспечивающих повышение эффективности угольного производства.

Идея работы заключается в функционально-структурном описании сетей горных выработок на разных стадиях их развития с учетом степени сложности условий залегания угольных пластов.

В диссертации разработан новый критерий оптимальности выбора проектных решений, учитывающий степень сложности условий отработки угольных пластов и вероятностную природу исходной информации. В его основу положена математическая модель внутренней нормы доходности и способ оценки вероятностей ведения горных работ в различных по степени сложности условиях. При этом доказан аддитивный характер влияния на технико-экономические показатели работы очистных забоев количества совместно проявляющихся неблагоприятных признаков условий залегания угольных пластов.

Установлено, что комбинированное использование методов распознавания, основанных на неоднородном последовательном статистическом анализе и линейных дискриминантных функций, обеспечивают наибольшую достоверность прогноза технико-экономических показателей работы лав и шахт. При этом впервые установлено, что информация, содержащаяся в прогностических коэффициентах распознающих систем, оказывает влияние не только на распознавание интервалов изменения прогнозируемых показателей, но и на их точечные внутриинтервальные значения. Это позволяет существенно упростить

математические модели для детализации результатов прогнозов и обеспечить учет в них с единых теоретических позиций количественных и качественных факторов.

Разработана методика оценки однородности сочетаний количественных и качественных условий залегания угольных пластов, основанная на использовании комплекса параметрических и непараметрических, одномерных и многомерных статистических критериев.

Установлены закономерности формирования ошибок геологоразведочных данных и разработана методика их учета при обосновании проектных решений.

Доказано, что развитие сети горных выработок в пространстве подчиняется законам теории фракталов. Полученные на этой основе математические модели позволяют устанавливать рациональные размеры шахтного поля и его частей без сложных технико-экономических расчетов.

Показано, что изменение суммарной протяженности сети горных выработок во времени адекватно описывается логистической функцией, параметры которой зависят от проектной мощности шахты, количества одновременно разрабатываемых неоднородных участков угольных пластов, времени начала стабильной работы шахты и протяженности выработок, проведенных в первый год строительства шахты. Эти закономерности позволяют прогнозировать протяженность выработок на каждой стадии их развития, обосновывать необходимость модернизации действующей сети и осуществлять экспресс-оценку ее вариантов.

Выполнено функционально-структурное описание сети горных выработок, позволяющее находить ее предпочтительные варианты на основе частных функциональных и функционально-структурных критериев. Выбор оптимального варианта осуществляется при этом на основе разработанного критерия оптимальности, определения возможных прибыли или ущерба и оценки ожидаемого риска инвестиций в проект с оптимальной сетью выработок.

Сеть горных выработок действующих шахт наиболее адекватно описывается с помощью структурно-функционального подхода. Разработанные в рамках этого подхода критерии оценки качества функционирования горных выработок и их состояния позволяют выявлять дублирующие выработки с неэффективным выполнением технологических функций и высокой концентрацией затрат. По результатам этих исследований в работе разработан алгоритм перераспределения функций между выработками, повышения качества их выполнения и исключения выработок, потерявших свое значение, что позволяет достичь существенного упрощения сети и снижения затрат на ее функционирование.

Реализация результатов исследований при проектировании и модернизации сетей горных выработок подтвердили их высокую эффективность. По результатам внедрения получен фактический экономический эффект в размере 2,932 млн. грн.

Ключевые слова: сеть горных выработок, методы оптимизации, геологические условия, прогнозирование.

ANNOTATION

Okalelov V.M. Scientific principles of functional-structural optimization of models for mine tunnel networks in coal mines. – Manuscript.

Dissertation for Doctor's degree on engineering sciences on specialty 05.15.02 – underground development of mineral deposits. – National Mining University, Dnipropetrovsk, 2010.

Dissertation is devoted to the problem of increasing design reliability and efficiency for mine tunnel networks by taking into account their technological-functional operating quality, regularities of development in time and space, as well as probability of keeping mine works in various-type uniformity and difficult conditions of coal layers bedding. The idea of this work is in functional-structural description of mine tunnel networks at different stages of their development taking into account favorable conditions of coal layers bedding. This work has given the substantiation of new criteria of optimum design decisions, which considers probabilistic nature of output information. For calculation the indexes, which are included into economic-mathematical model of criteria, there was developed the set of identification systems and models, which are grounded on the combined using of heterogeneous sequential statistical analysis and linear discriminant functions, that provides high prognostical reliability. To consider the influence of output data errors onto their results the regularities of their formation are found and the necessary methods are developed. The generalized functional model of mine tunnel networks is developed as well as generative methods of the project and criteria for their estimation. Choice of material carriers of functions, which are introduced into functional model, is made by creating and analyzing functional-structural models of mine tunnel networks. Their estimation is performed using developed private criteria that is resulted in formation of subset of prevail options. From it using the developed scalar criteria the optimum variant is chosen finally, for which there calculated the probable loss from refusal or approval to invest this project's realization with optimum mine tunnel networks.

For operating coal mines improvement of mine tunnel networks is made on the base of their structural-cost description. The main regulations of developed method for optimization of mine tunnel networks are introduced in the form of standard document, separate projects and recommendations.

Key works: mine tunnel network, optimization methods, geological conditions, prognostication.