

УДК 658.012.23

Назимко Віктор Вікторович

Доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник
Інститут фізики гірничих процесів НАН України, Дніпро

Мерзлікін Артем Володимирович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри «Розробка родовищ корисних копалин»
Донецький національний технічний університет, Покровськ

Захарова Людмила Миколаївна

Кандидат технічних наук, провідний спеціаліст
ПрАТ «Донецьксталь-МЗ», Київ

**СТОХАСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ НЕВИКОНАННЯ
РОЗКЛАДУ ПІДЗЕМНОГО ВУГЛЕВИДОБУТКУ**

***Анотація.** Енергетичний комплекс України залежить від поставок газу, нафти, ядерного палива, а також від розвитку власної вугільної промисловості. Видобування вугілля підземним способом проводиться в особливо небезпечних та специфічних умовах. Такі умови формують невизначеність внутрішнього й зовнішнього середовищ. Ризики, які породжуються невизначеністю, негативно впливають на програму вуглевидобутку, що зазвичай призводить до хронічного невиконання плану. Це знижує рентабельність вуглевидобутку та, як наслідок, відбивається на економічному стані галузі в цілому. Метою досліджень було вивчення впливу окремих факторів на відставання від плану вуглевидобутку. У даній роботі вперше розглянуто планограму гірничих робіт, як комплекс безперервних та дискретних робіт і операцій. Це дало можливість застосувати стохастичний метод моделювання, який дозволяє створювати безліч варіантів здійснення розкладу виконання гірничих робіт, і таким чином охоплює усі потенціально можливі його реалізації. За результатами дослідження вдосконалено методику стохастичного моделювання розкладу очисних робіт шляхом введення і врахування взаємних залежностей між елементарними операціями основних процесів очисних робіт. Встановлено, що найбільш перспективними способами зниження ризиків вуглевидобутку є сучасні інформаційні технології, які базуються на моніторингу ранніх сигналів стохастичного середовища, в якому здійснюється вуглевидобуток.*

***Ключові слова:** планограма; невизначеність; стохастичне моделювання; елементарні операції; ризики*

Вступ

Важливість вугільної галузі як гаранта енергетичної незалежності держави завжди була актуальною, а в умовах збройного конфлікту на сході України ще більше зростає. Майже все вітчизняне вугілля видобувається підземним способом, з яким пов'язана низка специфічних особливостей, а саме: інтенсивний прояв гірського тиску, небезпека вибуху метаноповітряної суміші або вугільного пилу, гірські удари, обмежений простір підземних виробок, безпрецедентний рівень небезпеки, висока капіталоемність основних фондів, недружня екологічна атмосфера підземного простору. До цього додається високий рівень геологічної невизначеності вугільних родовищ, який створюється малоамплітудними геологічними порушеннями, надійна розвідка яких наразі є поки недосяжною. Такі умови породжують невизначеність внутрішнього й зовнішнього (насамперед геологічного) середовищ, в яких здійснюється відпрацювання виїмкових стовпів

на сучасних вугільних шахтах. Вказані невизначеності є причиною різноманітних ризиків підземного вуглевидобутку, нейтралізація, зниження або ухилення від яких є окремою актуальною проблемою [1]. Вказані ризики негативно впливають на програму вуглевидобутку, що зазвичай призводить до хронічного невиконання плану. Це знижує рентабельність вуглевидобутку, що відбивається на економічному стані галузі в цілому.

Згідно [2-6] ризики пов'язані з невизначеністю, яка є неоднорідною за формою прояву і за змістом. Ризик є одним із способів зняття невизначеності, яка являє собою незнання достовірного, відсутність однозначності. Виділяють основні види невизначеності [6]. Суб'єктивна невизначеність пов'язана з неможливістю точного передбачення поведінки людей у процесі роботи. Люди відрізняються один від одного рівнем освіти, досвідом, творчими здібностями, інтересами. Індивідуальні реакції змінюються день у день,

залежно від самопочуття, настрою, контактів з іншими людьми і т. д. Незважаючи на те, що в паспорті очисних робіт усі операції на відміну від переважної більшості галузей виробництва максимально відрегульовані й нормовані низкою нормативних документів [7; 22], індивідуальні реакції гірничих робітників очисного вибою (ГРОВ) та допоміжних підземних робітників суттєво впливають на невизначеність параметрів планограни очисних робіт.

Технічна невизначеність вважається значно меншою [8] порівняно з людською невизначеністю й пов'язана з надійністю обладнання, передбачуваністю виробничих процесів, складністю технології, рівнем автоматизації, обсягом виробництва, темпами оновлення. Проте специфіка підземного вуглевидобутку така, що частка технічної невизначеності є не меншою за інші види невизначеності. Це пов'язано з геологічною невизначеністю, яка породжується особливо часто наявністю малоамплітудних порушень вугільних пластів [9].

Соціальна невизначеність визначається прагненням людей утворювати соціальні зв'язки і допомагати один одному, вести себе згідно з взаємно прийнятими зобов'язаннями, службовими відносинами, ролями, стимулами, конфліктами, традиціями. Структура таких взаємин не визначена. В особливо суворих і небезпечних умовах підземного вуглевидобутку згуртованість колективу відіграє особливу роль у забезпеченні стабільності роботи виїмкової ділянки.

Отже усі компоненти невизначеності відіграють цілком порівняну роль у породженні ризиків підземного вуглевидобутку. Усі ці ризики автоматично інтегрує й враховує планограни очисних робіт, яка фактично є планограною Гантта [10]. Таким чином ризики вуглевидобутку можна вивчати шляхом дослідження таких планогран. Найбільш детальне дослідження планогран досягається шляхом їх стохастичного моделювання [11]. Саме такий підхід авторами даної статті був вперше використаний для аналізу планогран очисних робіт на виїмковій ділянці сучасної типової вугільної шахти.

Мета статті

Метою досліджень було вивчення впливу окремих факторів на відставання від плану вуглевидобутку.

Виклад основного матеріалу

Характеристика об'єкта дослідження

Як об'єкт дослідження було вибрано очисний виїм 12 південної лави блоку 10 ПАТ

«Шахтоуправління Покровське». Вугільний пласт потужністю 1,45 м відпрацьовувався на глибині 800 м. Основна покрівля представлена пісковиками з міцністю від 4 до 16, потужністю від 7 до 20 м. Безпосередня покрівля представлена нестійкими і малостійкими алевролітами середньої обвалювальності, з міцністю від 2,4 до 3,8 та потужністю від 0,5 до 12 м. Підшва пласта представлена нестійкими алевролітами потужністю від 0,5 до 6 м.

Виїм 12 південної лави блоку 10 був оснащений сучасним видобувним механізованим комплексом ЗКД90Т, комбайном JOY, виїмним конвеєром СПЦ-230. Виїмковий стовп відпрацьовувався згідно комбінованої системи розробки з відпрацюванням лави зворотним ходом. Управління покрівлею здійснювалось шляхом її повного обвалення, виїмка вугілля виконувалась косими заїздами. Протягом доби здійснювалось посування лави на 5 м шляхом виїмки п'яти заходок (рис. 1). Механізовані секції кріплення пересувались послідовно позаду виїмкового органу очисного комбайну. Сполучення вентиляційного й конвеєрного штреків з лавою підтримувалось органічним кріпленням та викладкою кострів з брусів. Виїмка вугілля відбувалась протягом трьох робочих змін, а в першу зміну виконувались планово-попереджувальні та ремонтні роботи.

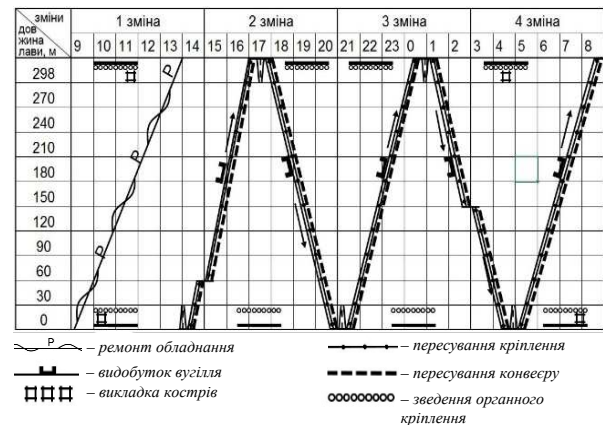


Рисунок 1 – Планограни ведення очисних робіт 12 південної лави блоку 10

Вдосконалення планограни очисних робіт

На рис. 2 наведена типова планограни очисних робіт, яка відповідає планограні рис. 1. Вказана планограни досліджувалась методом стохастичного моделювання, детальний опис якого наданий у [1]. Особливістю стохастичного моделювання є те, що тривалість робіт календарного плану або розкладу вводяться не як детерміновані величини, а як певні розподіли випадкових значень вказаних величин.

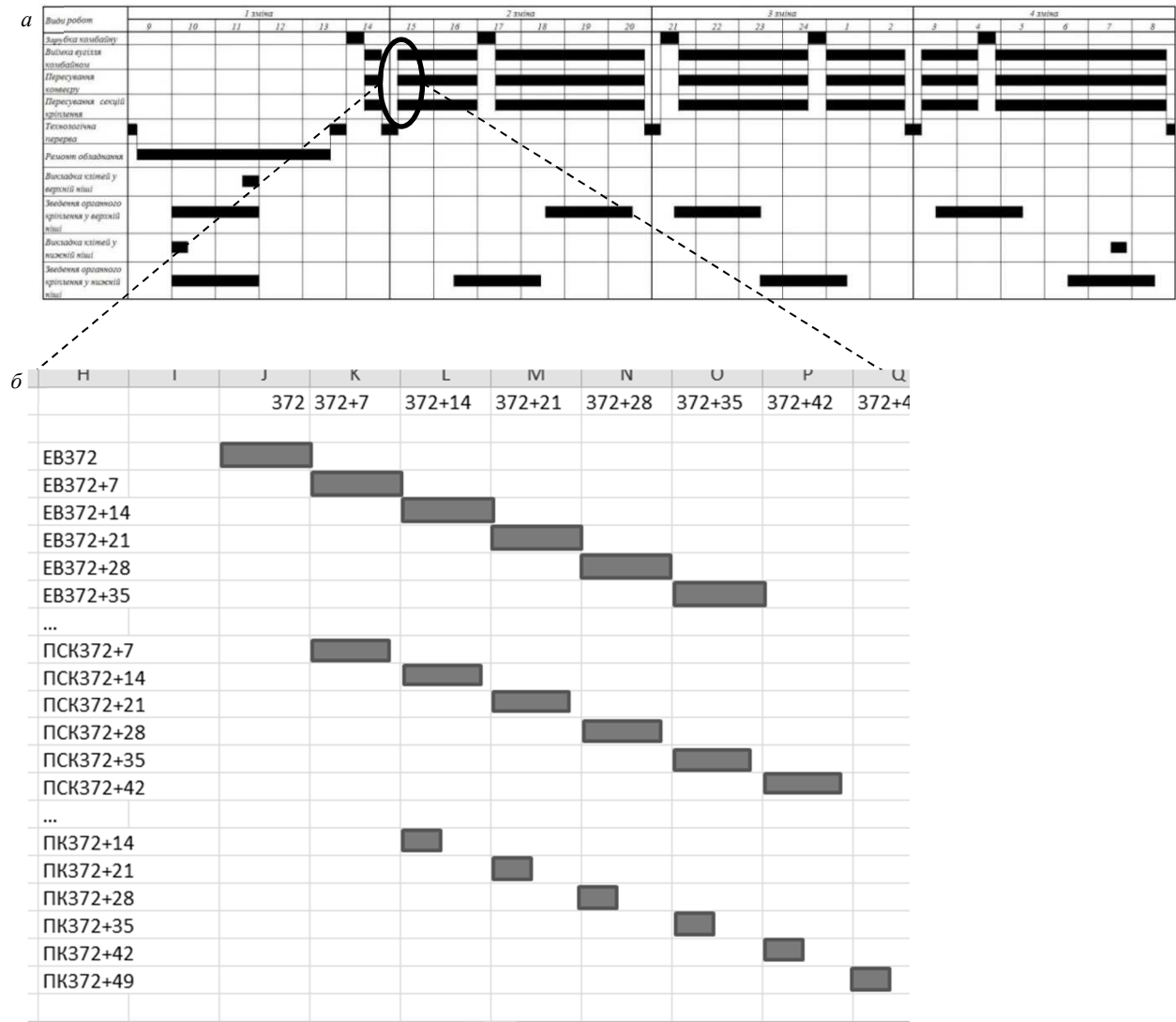


Рисунок 2 – Планограма Гантта: а – узагальнена; б – детальна: *ЕВ* – елементарна виїмка; *ПСК* – пересування секції механізованого кріплення; *ПК* – пересування привибійного конвеєру

Закони вказаних розподілів вивчаються на основі аналізу фактичних даних. Наприклад метод PERT враховує оптимістичну, песимістичну й найбільш ймовірну оцінку виконання кожної роботи [12]. Проте вказаний метод має обмежені можливості, оскільки розраховує тільки три варіанти розкладу: оптимістичний, песимістичний і найбільш вірогідний. Це призводить до певного викривлення результатів моделювання оскільки не враховує маргінальні варіанти можливих реалізацій розкладу, у результаті чого викривлення результатів моделювання може сягати 24% і навіть більше.

Саме тому у даній роботі застосовано стохастичний метод моделювання (метод Монте-Карло), який дає можливість створювати сотні, а то й тисячі варіантів здійснення розкладу, і таким чином охоплює всі потенційні можливі його реалізації. Це забезпечує максимально можливу достовірність результатів стохастичного моделювання.

До того ж особливість процесів очисних робіт під час підземного вуглевидобутку така, що планограма, зображена на рис. 2, а є для виконання стохастичного моделювання непридатною.

Причина полягає в тому, що така планограма є надто узагальненою, грубою і не враховує важливі співвідношення та взаємні залежності між процесами вуглевидобутку. Особливість вказаних процесів полягає у тому, що вони є комплексом безперервних і дискретних робіт і операцій. На рис. 3 показано збільшений фрагмент очисного вибою у районі роботи очисного комбайну. Так комбайн руйнує пласт і навантажує вугілля безперервно, а пересування механізованих секцій кріплення і привибійного конвеєру виконується дискретними порціями.

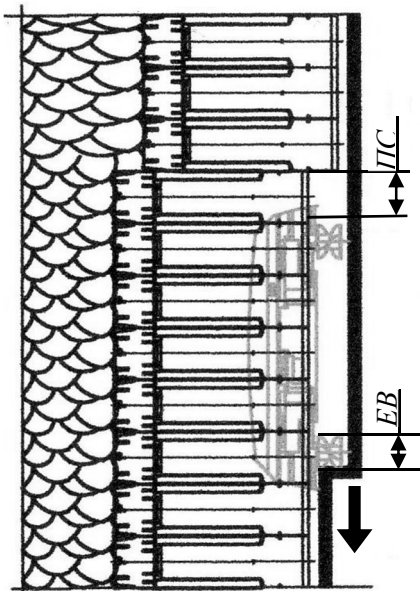


Рисунок 3 – Ілюстрація елементарної (одиночної) виїмки вугілля

Фізично мінімальна елементарна порція дискретної очисної операції збігається з шириною секції механізованого кріплення. Зазвичай сучасні секції такого кріплення мають ширину 1 м. До того ж глибина зарубки (або довжина шнека очисного комбайну) дорівнює також 1 м. Таким чином після переміщення очисного комбайна уздовж привибійного конвеєра вирубується площа вугільного пласта розміром 1×1м (у плані), а відразу після цього пересувається секція механізованого кріплення, щоб підтримати оголену ділянку безпосередньої покрівлі.

Секції пересуваються послідовно у міру руху очисного комбайна уздовж лави, що забезпечує максимально можливу стійкість покрівлі пласта, який відпрацьовується.

Важливо, що пересунути секцію механізованого кріплення й ділянку привибійного скребкового конвеєра неможливо без здійснення елементарної виїмки вугільного пласта розміром у плані 1×1м. Поняття елементарної виїмки вугільного пласта вперше було введено у роботах [13; 14]. Такий

методичний прийом дозволив встановити нові суттєві закономірності зрушення порід безпосередньої покрівлі, що важливо з точки зору забезпечення її стійкості. Проте декомпозиція очисних робіт до рівня елементарних має велике значення і з точки зору стохастичного моделювання розкладу.

На рис. 4 показано фрагмент планограми очисних робіт з урахуванням невизначеності. Як видно, час початку елементарної роботи виїмки чи пересування секції механізованого кріплення й час закінчення, а також тривалість самих робіт є у реальності невизначеними. У загальному випадку розподіл цих параметрів є довільним. Наприклад, початок елементарної виїмки пласта очисним комбайном може коливатись менше, ніж час закінчення, а самі елементарні роботи на планограмі можуть виглядати так, як би вони накладались одна на одну.

Проте конкретна випадкова реалізація розкладу буде виглядати як детермінована, наприклад такою, що зображена на фрагменті (б) рис. 2. На ньому елементарні виїмки позначені як EB_{x+c} , де перша цифра означає хвилини розкладу (від 1-ї до 1440-ї протягом доби), а друга – секунди. Операції пересування секцій механізованого кріплення позначені як $ПСК_{x+c}$, а пересування привибійного конвеєра як $ПК_{x+c}$. Операції очисних робіт планують так, щоб критичною з точки зору розкладу була операція виїмки. Решта основних операцій (пересування секцій механізованого кріплення й конвеєра) залежні від першої і виконуються відразу після її завершення.

У теорії, критичний шлях розкладу повинен пролягати через операції виїмки вугільного пласта. На рис. 2, б видно, що елементарні роботи з виїмки пласта слідують одна за одною безперервно, тоді як елементарні роботи з пересування секцій механізованого кріплення й привибійного конвеєра мають часовий резерв і з точки зору організації виробництва можуть плавати.

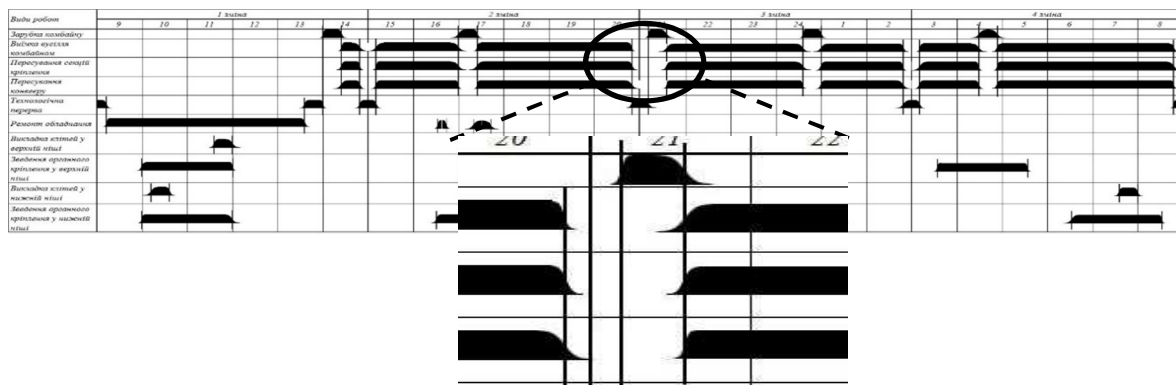


Рисунок 4 – Планограма ведення очисних робіт з урахуванням невизначеності

Проте особливість проявів гірського тиску вимагає, щоб дискретна робота з пересування секцій механізованого кріплення слідувала відразу після завершення елементарної виїмки пласта, що забезпечує якнайшвидше підкріплення безпосередньої покрівлі вугільного пласта після його виїмки. У реальності, навіть у очисному вибої, який працює у стійкому проектному режимі, відбуваються зазвичай непередбачені затримки, які порушують теоретичну планограму, зображену на рис. 2, а реальний розклад робіт набуває вигляду, схожого на такий, що наведено на рис. 5. На фрагменті розкладу показано, як виникла затримка елементарної операції виїмки у момент, початок якого збігається з 372 хвилинами й 7 секундами розкладу очисних робіт.

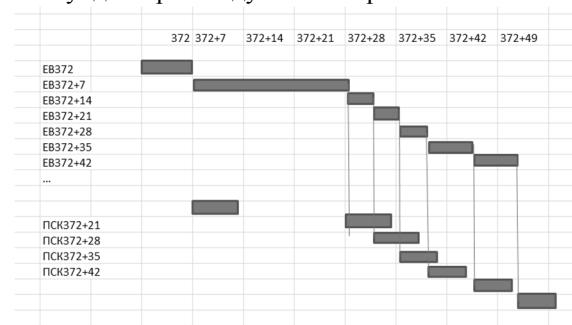


Рисунок 5 – Одна з можливих реалізацій планограми Гантта за умов затримки роботи очисного комбайна

Причин затримки операцій виїмки багато. Найбільш ймовірні причини пов'язані з несправністю комбайна, відключенням електроенергії, що живить привід комбайна, несправністю привибійного конвеєра, зупинкою транспортного ланцюжка на конвеєрному штреку, негативними проявами гірського тиску, наприклад погіршенням стійкості безпосередньої покрівлі та її обваленням, раптовим підвищенням метановиділення, що створює небезпечний ризик вибуху метано-повітряної суміші і багато інших причин, які зазвичай мають невизначений характер. Важливо, що така затримка є небажаною, оскільки вона підвищує ризик невиконання плану.

Отже, відразу після ліквідації причини затримки, комбайнер намагається надолужити втрачений час, збільшивши інтенсивність виїмки. Перші елементарні виїмки після зупинки таким чином здійснюються у скорочений термін і таке прискорення може не вплинути на безпеку робіт. Проте, якщо таке прискорення процесу виїмки триває довго, воно може підвищити концентрацію вибухонебезпечного метану до недопустимого рівня, що створює реальний ризик вибуху метано-повітряної суміші.

На планограмі рис. 5 видно також, що пересування секцій механізованого кріплення може здійснюватись паралельно, або з накладкою у часі, щоб компенсувати тимчасове збільшення швидкості

виїмки вугільного пласта й забезпечити стійкість безпосередньої покрівлі. Однак слід мати на увазі, що потужність маслостанції, яка живить гідравліку механізованого кріплення, є обмеженою і це фізично обмежує кількість секцій, які можуть одночасно пересуватись. Отже, прискорення виїмки може створювати додаткові ризики, які пов'язані з обваленням безпосередньої покрівлі вугільного пласта.

На рис. 6 наведені результати стохастичного моделювання розкладу очисних робіт з урахуванням невизначеності часу виконання елементарних операцій виїмки вугільного пласта. На фрагменті (а) рис. 6 показано експоненціальний розподіл часу виконання елементарних операцій виїмки, побудований на основі статистичного аналізу представницької кількості спостережень фактичного часу виконання вказаної операції.

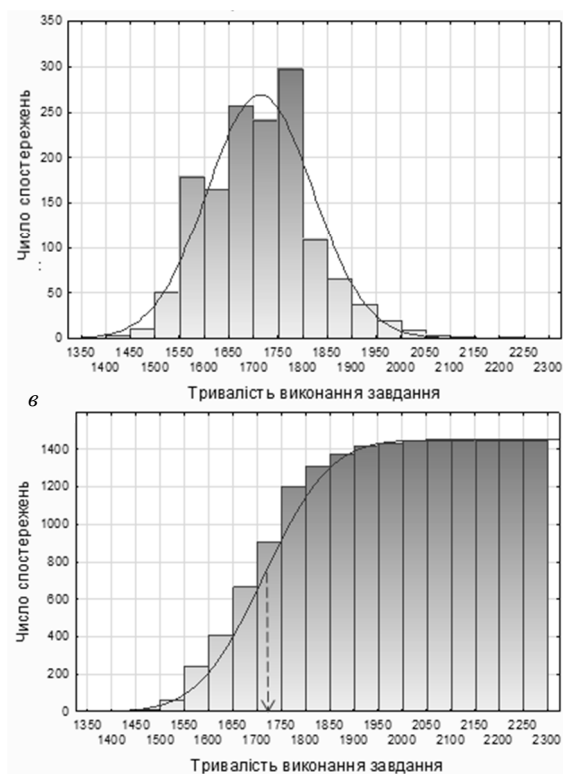
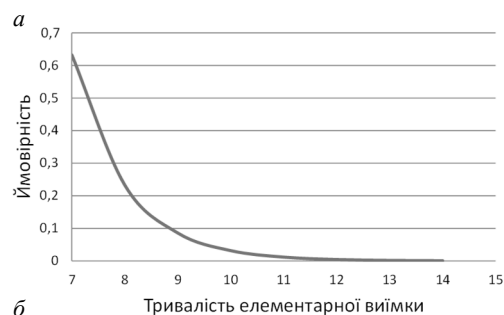


Рисунок 6 – Розподіли ймовірності тривалості очисних робіт: а – щільність тривалості елементарної виїмки; б – щільність тривалості виконання добового завдання; в – кумулятивний розподіл тривалості виконання завдання

Проектний час елементарної виїмки вугільного пласта у даному конкретному випадку становить 7 секунд, проте з певною ймовірністю тривалість вказаної операції може збільшуватись до 12 секунд. Зауважимо, що такий розподіл визначений тільки з урахуванням затримок, обумовлених внутрішніми причинами, які виникають безпосередньо у очисному вибої, причому такі затримки вивчались тільки у стійкому режимі роботи очисного вибою. Іншими словами вказаний розподіл не враховує серйозні непередбачені причини зупинки очисних робіт, наприклад такі, що виникають під час переходу лавою малоамплітудного порушення вугільного пласта.

Фрагмент (б) рис. 6 демонструє щільність розподілу часу виконання добового плану вуглевидобутку з врахуванням розподілу виконання елементарних операцій виїмки, наведеному на рис. 6, а. Незважаючи на те, що всі невизначені часові параметри мали несиметричний вид експоненціальної залежності, час виконання добового плану розподілений симетрично й наближається до нормального закону, що закономірно відображає дію фундаментального закону великих чисел й свідчить про обґрунтованість результатів стохастичного моделювання.

Найбільш ймовірний час виконання добового плану вуглевидобутку становить 1714 хвилин (фрагмент б), що більше у 1,19 рази за тривалість доби (1440 хвилин.). Більш того, ймовірність виконання плану, навіть протягом такого часу, не перевищує 51,7% – фрагмент (в). Для стовідсоткової гарантії того, що добовий план вуглевидобутку буде виконано повністю необхідно витратити 2059 хвилин, що на 42,4% перевищує тривалість доби. Наголошуємо, що вказані ризики є допустимими, оскільки не впливають на безпеку вуглевидобутку.

На жаль, таке відставання гірники намагаються компенсувати зазвичай прискоренням вуглевидобутку, який у переважній кількості випадків обмежений газовим фактором. Саме це призводить до катастроф, пов'язаних з вибухами метано-повітряної суміші, що відбуваються у країнах СНД, Китаї й багатьох країнах, де видобувають вугілля підземним способом. Зауважимо, що ризик катастрофічного вибуху виникає практично відразу після перевищення концентрації метану допустимого рівня за умов наявності відкритого джерела займання вибухонебезпечної газової суміші. Такий ризик легко передбачити й контролювати і проблема катастроф, пов'язаних з вибухами полягає тільки у суб'єктивному людському відношенні до виконання правил безпеки.

Проте, компенсують затримки операцій виїмки ще й іншими способами. Найбільш популярні з них пов'язані зі скороченням ремонтної зміни, коли

замість профілактичного огляду обладнання й дрібного ремонту починають видобувати вугілля. Такі заміни призводять до відкладених ризиків, які замасковані з точки зору причин виникнення, оскільки проявляються з великим запізненням. Особливо небезпечно відкладати ремонт механізованого кріплення. Якщо секція або група секцій механізованого кріплення певний час пересувається без належного опору безпосередній покрівлі пласта, вона може обвалитися, що не тільки затримає очисні роботи, але й створить небезпечну ситуацію, в якій можуть бути травмовані, а часто, й гинуть шахтарі.

Такий же самий ризик виникає у випадку, коли над секціями механізованого кріплення накопичується штиб й шматки породи, які є досить піддатливими й не дають можливості створити належний опір безпосередній покрівлі. Замаскованість вказаного ризику ще більша, оскільки оголення безпосередньої покрівлі зазвичай не є абсолютно пласким та рівним, що утруднює візуальний контроль можливого накопичення штибу та шматків породи за переkritтям секцій. Зауважимо, що такий контроль наразі є суб'єктивним і тому його надійність надто низька.

З роботоздатністю секцій механізованого кріплення таким чином створюється ціла проблема. В умовах підземного вуглевидобутку надійність механізованого кріплення є одним з найбільш вразливіших факторів, оскільки їх безвідмовність, довговічність й ремонтпридатність [15] важко забезпечити.

В усуненні серйозної причини виникнення ризиків вуглевидобутку важливу роль відіграє поточний моніторинг геологічного оточення виїмкової ділянки та прогноз ризиків за ранніми сигналами [16; 17]. Накопичення пошкоджень у безпосередній покрівлі, яка не отримує належного опору механізованого кріплення, відбувається за експонентою, а ймовірність втрати її стійкості визначається експоненціальною залежністю:

$$P(t) = e^{\lambda t},$$

де λ = рп, (р – ймовірність обвалення покрівлі; п – число циклів посування вибою).

Отже, ймовірність обвалення узгоджується з розподілом Пуассона. Згідно статистичним даним, ймовірність обвалення безпосередньої покрівлі на площі виїмкового стовпа, поза межами малоамплітудних порушень становить 0,023. Середня інтенсивність обвалення, ймовірність яких перевищувала 10%, становила 0,1. За таких умов обвалення безпосередньої покрівлі моделюється як марковські процеси [18]. Цей інструмент важливо використовувати для прогнозування ризиків, пов'язаних з обваленням безпосередньої покрівлі.

На ділянках переходу малоамплітудних порушень важливу роль виконує моніторинг й прогноз параметрів МАП. Найбільш перспективним на сьогодні є застосування методів прогнозування на основі нейронних мереж та генетичного алгоритму, який у повному обсязі використовує раніш накопичену інформацію про розривні порушення, що в свою чергу дозволяє визначити координати і амплітуду МАП на прогнозованій ділянці шахтного поля [9].

Результати проведеного прогнозування дозволяють визначити доцільність переходу порушення, розробити план-графік переходу та обґрунтувати профілактичні заходи щодо зниження негативного впливу під час зустрічі геологічного розриву. У свою чергу своєчасність проведення профілактичних заходів в очисних виробках дозволяють відпрацьовувати порушені ділянки шахтного поля з мінімальними втратами швидкості посування, якості вугілля та зменшеним зносом обладнання.

На сьогодні стандартна методика проектування очисних процесів враховує тільки внутрішні фактори, які діють у межах самого очисного вибою. Проте, для забезпечення необхідної надійності оцінки ризиків треба враховувати й фактори, які створюються зовнішнім середовищем [19]. У випадку з очисним вибоєм одним з основних зовнішнім факторів є транспортний ланцюжок, за допомогою якого видобуте вугілля транспортується по конвеєрному штреку, основним підготовчим виробкам і так далі аж до видачі на земну поверхню.

На рис. 7 показано фрагмент планограми, в якій було враховано невизначеність роботи транспортного ланцюжка. Операція транспортування вугілля була включена як складова розкладу очисних робіт, хоча зазвичай це робити не прийнято. На відміну від взаємних зв'язків внутрішніх факторів очисного вибою, тепер операція виїмки стає залежною від операцій транспортування видобутого вугілля. Це показано на рис. 7 таким чином, що під час затримки транспортування (наприклад обумовленим поривом стрічки штрекового конвеєра) операція виїмки пласта призупиняється, оскільки видобуте вугілля нікуди дівати.

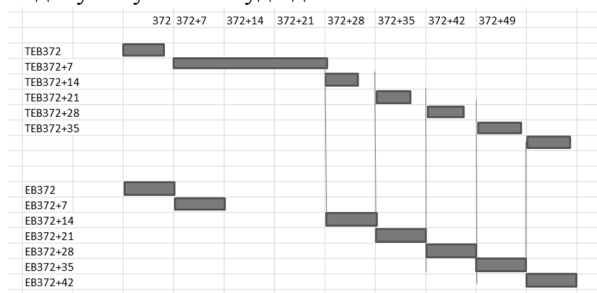


Рисунок 7 – Фрагмент можливої реалізації планограми Гантта з урахуванням роботи транспортного ланцюжка

На рис. 8 показано розподіл часу виконання добової норми вуглевидобутку з урахуванням ризиків, пов'язаних з роботою транспортного ланцюжка. За таких умов тепер найбільш ймовірний час виконання добового плану збільшився до 1845 хвилин або на 28%, що на 9% довше, ніж без урахування ризиків транспортування, а на повне виконання планового завдання потрібно 2200 хвилин. Такі ризики ще більше штовхають гірників на порушення правил безпеки і вимушують надолужувати план ціною свого життя.

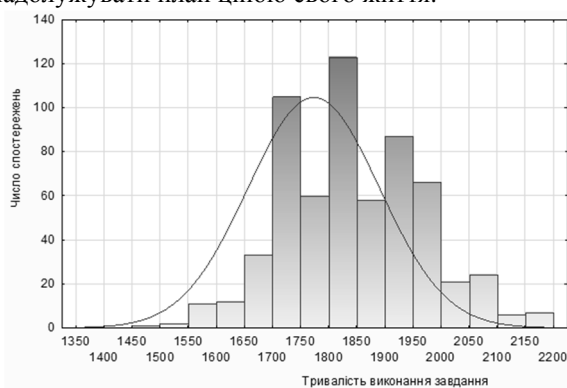


Рисунок 8 – Розподіл часу виконання добової норми вуглевидобутку з урахуванням роботи транспортного ланцюжка

Вибір заходів щодо зниження ризиків

Для зменшення ризиків вуглевидобутку, заходи доцільно базувати на рекомендаціях ISO 31000:2009 з поправками на особливості підземного вуглевидобутку. Згідно стандарту найбільш дієвий спосіб ухилення від ризику полягає у тому, щоб уникнути або відмінити операцію, яка є джерелом ризику. Проте капітальні вкладення у підземний вуглевидобуток надто високі, щоб, наприклад, припинити відпрацьовувати виїмковий стовп, інвестиції у який вже склали порядку кількох мільйонів доларів.

Отже, зазвичай намагаються переходити МАП, які часто трапляються на шляху очисного вибою. У разі неможливості здійснити такий перехід, порушену ділянку залишають у вигляді списаних запасів, перенарізають нову монтажну камеру, переміщують в неї механізований комплекс і продовжують відпрацювання виїмкового стовпа. Збитки від такого переходу МАП можуть сягати сотень тисяч доларів.

Прийняття ризику у переважній більшості випадків у галузі підземного вуглевидобутку неможливе з міркувань безпеки. Отже, такий спосіб є просто неприйнятним у вугільній промисловості.

Усунути джерело ризику вуглевидобутку часто практично неможливо. Особливо це стосується переходу МАП, яке закладено геологічною природою родовища. Скоріше більш прийнятним

буде спосіб, який заснований на зменшенні ймовірності прояву ризиків. Так, у випадку переходу МАП важливу роль у зменшенні ризику зупинки очисного вибою відіграють інноваційні технології прогнозу параметрів МАП або способи його переходу [9].

Можливості зменшення ризиків вуглеводобутку шляхом змінення послідовності робіт дуже обмежені, з причин обмеженого простору підземних виробок й специфічної взаємозалежності основних й допоміжних процесів вуглеводобутку.

Розділення ризиків вуглеводобутку можливе, але наразі страхування ризиків у вугільній галузі не поширене. Більш прийнятним, дієвим і найбільш перспективним є прийняття більш інформованих рішень. Тут значний простір для вдосконалення створюється за рахунок сучасних інформаційних технологій управління складними системами.

Висновки

Вуглеводобуток характеризується суттєвими особливостями, такими як обмеженість простору, висока невизначеність геологічних умов розробки, інтенсивний прояв гірського тиску, небезпека вибуху метаноповітряної суміші або вугільного пилу, гірські удари, висока капіталоемність основних фондів та недружня екологічна атмосфера підземного простору. Вказані особливості накладають суттєві обмеження на вибір технологій зниження та ухилення від ризиків підземного вуглеводобутку.

Вдосконалено методику стохастичного моделювання розкладу очисних робіт шляхом введення і врахування взаємних залежностей між елементарними операціями основних процесів очисних робіт.

Доведено, що традиційна методика проектування очисних робіт має суттєву ваду, яка знижує надійність проектування, оскільки у планогамі очисних робіт не враховуються невизначеності, а також ігноруються допоміжні

процеси, які є суттєвими для виконання плану вуглеводобутку.

У процесі побудови планогамі очисних робіт необхідно вводити запас надійності для врахування невизначеності. Запас надійності на час виконання очисних робіт може коливатись у межах 19-25%, а додатковий запас на суміжні операції (транспортвання й інші) сягає 50% залежно від стану технологічних ланцюжків. Це означає, що планогамі очисних робіт необхідно будувати з урахуванням конкретного стану технологій, обладнання і організації виробничих процесів вугільної шахти.

У документах, які готуються для запуску очисного вибою у роботу і затверджуються інспекцією, необхідно вказувати усі критичні параметри оточення виїмкової ділянки. У першу чергу це стан підготовчих виробок, величина депресії, стан транспортного ланцюжка, стан механізованого кріплення, ступінь його зношення, пропускна здатність підйому. Абстрактне планування з відривом від конкретного оточення очисного вибою породжує потенційні ризики невиконання планового вуглеводобутку або збільшує ймовірність катастроф.

Найбільш перспективними способами зниження ризиків вуглеводобутку є сучасні інформаційні технології, які базуються на моніторингу ранніх сигналів стохастичного середовища, в якому здійснюється вуглеводобуток, прогнозування малоамплітудних геологічних порушень, сучасні логістичні системи, зокрема нагрунтові транспортні засоби, автоматизовані експертні системи. Під час розробки планогамі гірничих робіт доцільно проводити роботу щодо складання акту відповідності **оточення виїмкової ділянки**, який підписується представниками інспекції. Дотримання цієї вимоги закладає важливе юридичне підґрунтя для звуження умов, а може й ліквідації можливості для виникнення катастроф, пов'язаних з вибухами повітряно-метанових сумішей.

Список літератури

1. Маевский В.С. Стохастическое моделирование рисков невыполнения программы развития горных работ на угольной шахте / В.С. Маевский, Л.Н. Захарова, А.В. Мерзлякин // *Наукові праці ДонНТУ. Серія Проблеми моделювання і автоматизації проектування.* – Донецьк, ДонНТУ, вип. 10(197), 2011. – С. 101-110.
2. ISO/IEC 31010:2009 – Risk Management – Risk Assessment Techniques
3. Kahneman D., Slovic P. and Tversky A. *Judgment Under Uncertainty: heuristics and biases.* Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
4. *Practical Project Risk Management: The ATOM Methodology* Practical Project Risk Management: The ATOM Methodology 2012
5. Hansson, S.O., Zalta, E.N. (Spring 2014). "Risk". *The Stanford Encyclopedia of Philosophy.* Retrieved 9 May 2014
6. Risk: An introduction Bernardus Ale 200, "Risk Management – An Analytical Study". *IOSR Journal of Business and Management.* Feb 2014. pp. 83–89. Retrieved 6 June 2016.

7. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. – Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, Київ 2014 р. , 198с. (Нормативний документ Міністерства енергетики та вугільної промисловості).
8. Vallero D.A. and Vesilind P.A. *Socially Responsible Engineering: Justice in Risk Management*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2007, 365 pp
9. Мерзликін А.В. Обґрунтування методу прогнозу і параметрів переходу розривних малоамплітудних порушень: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.11 // НГУ. – Дніпропетровськ, 2005. – 18 с.
10. Руководство к своду знаний по управлению проектами. Четвертое издание (Руководство РМВОК®)/ Американский национальный стандарт ANSI/PMI 99-001-2004. – 388с.
11. Захарова Л.Н. Исследование чувствительности программы развития горных работ и ее рисков в условиях угольной шахты / Л.Н. Захарова, В.В. Назимко / Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Харківський аерокосмічний університет (ХАІ), 2012, №1 (53). – С. 157-164.
12. Trietsch, D., Baker K.R. (2012). PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century. *International Journal of Project Management*, 30(4):490–502.
13. Назимко И.В. Исследование механизма необратимых сдвижений пород вокруг выемочной выработки при разной интенсивности возмущения // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, №9, 2011, ч.1. – С. 343 – 357.
14. Назимко И.В. Оценка устойчивости непосредственной кровли при отработке выемочного участка // Известия горного института. Донецк, ДонНТУ, № 1, 2012. – С. 399 – 409.
15. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. *Математические методы в теории надежности* М.: Наука, 1965. – 524 с.
16. Назимко В.В., Крафт О.А., Мерзликін А.В. Динамическая модель для исследования проектных рисков угледобычи // Наукові праці ДонНТУ. Серія Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем. – Донецьк, 2013. – Вип.1(12)-2(13). – С. 75-86.
17. Назимко В.В., Мерзликін А.В. Розробка та обґрунтування нового методу прогнозування ризиків вугледобутку // Вісник КрНУ. – Кременчук: КНУ, 2016. – Вип. 1/2016(17). – С. 62–71.
18. Назимко В.В., Мерзликін А.В., Селезнева Ю. Совершенствование математической модели надежности работы очистного забоя с учетом влияния горного давления // Проблемы горного давления. – 2012. – №20. – С. 20 – 28.
19. Ke, H., Liu, H., Tian, G. (2015) An uncertain random programming model for project scheduling problem. *International Journal of Intelligent Systems*, 30: 66–79.
20. Talbot J. and Jakeman M. *Security Risk Management Body of Knowledge*, John Wiley & Sons, 2009.
21. Hopkin P. *Fundamentals of Risk Management*. 2nd Edition. Kogan-Page (2012) ISBN 978-0-7494-6539-1
22. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа: НПАОП 10.0-5.25-89. – Министерство угольной промышленности СССР, 1984. – V, 132 с. – (Нормативный документ Минпаливэнерго Украины. Инструкция).

Стаття надійшла до редколегії 17.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Подкопаєв, Донецький національний технічний університет, Покровськ.

Назимко Виктор Викторович

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник
Институт физики горных процессов НАН Украины, Днепр

Мерзликін Артем Владимирович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых»
Донецкий национальный технический университет, Покровск

Захарова Людмила Николаевна

Кандидат технических наук, ведущий специалист
ПрАТ «Донецксталь-МЗ», Киев

**СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ НЕВЫПОЛНЕНИЯ
ПРОГРАММЫ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧИ**

Аннотация. Энергетический комплекс Украины зависит от поставок газа, нефти, ядерного топлива, а также от развития собственной угольной промышленности. Добыча угля подземным способом проводится в крайне опасных и специфических условиях. Такие условия формируют неопределенность внутренней и внешней среды. Риски, порождающие неопределенность, негативно влияют на программу угледобычи, что обычно приводит к хроническому невыполнению плана. Это снижает рентабельность угледобычи и, как следствие, отражается на экономическом состоянии отрасли в целом. Целью исследования было изучение влияния отдельных факторов на отставание от плана угледобычи. В данной работе впервые рассмотрена планогамма горных работ, как комплекс непрерывных и дискретных

работ и операций. Это позволяет применить стохастический метод моделирования, который создает множество вариантов выполнения программы горных работ и таким образом охватывает все потенциально возможные его реализации. По результатам исследования усовершенствована методика стохастического моделирования программы ведения очистных работ путем введения и учета взаимных зависимостей между элементарными операциями основных процессов угледобычи. Установлено, что наиболее перспективными способами снижения рисков угледобычи являются современные информационные технологии, которые базируются на мониторинге ранних сигналов стохастического окружения, в котором осуществлялась угледобыча.

Ключевые слова: *планограмма; неопределенность; стохастическое моделирование; элементарные операции; риски*

Nazimko V.

Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Principal Researcher
Institute of Physics of Mining Processes NAS of Ukraine, Dnipro

Merzlikin A.

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining of Mineral Deposits
Donetsk National Technical University, Pokrovsk

Zakharova L.

PhD in Technical Sciences, Researcher
Doneststeel Group, Kiev

STOCHASTIC SIMULATION OF RISK OF FAILING TO COMPLY WITH UNDERGROUND COAL MINING PLAN

Abstract. *The energy complex of Ukraine depends on the supply of gas, oil, nuclear fuel, as well as the development of the coal industry. The underground coal is conducted in particularly dangerous and specific conditions. These conditions create the uncertainty of internal and external environment. Generated by such uncertainty risks adversely affect the coal extraction, which usually leads to chronic failure of the plan. This reduces the profitability of coal mining and consequently affects the economic state of the industry in general. The aim of the research was to study the effect of individual factors on the delay of planned production of coal. This paper considers the schedule of coal mining production, as a set of discrete and continuous work and operations. This made it possible to use stochastic modeling method that enables to create many embodiments of mining plan. Thus, it covers every potentially possible implementation. The study improved the methods of stochastic modeling of the plan remediation by introduction and taking into consideration the mutual dependencies between elementary operations of major coal mining processes. It has been found that the most promising way to reduce the risks of coal mining is the use of modern information technology based on monitoring of early signals of stochastic environment in coal mining.*

Key words: *schedule; uncertainty; stochastic modeling; elementary operations; risks*

References

1. Maevsky, V.S. (2011). *Stochastic Simulation of Risk of a Program for Mining Development at a Coal Mine / V.S Maevsky, L.M. Zaharova, A.V. Merzlikin // Scientific Papers of DonNTU. Problems of Simulation and Computer Aided of Dynamic System. Donetsk, DonNTU, 10(197), 101-110.*
2. ISO/IEC 31010:2009 – Risk Management – Risk Assessment Techniques
3. Kahneman, D., Slovic, P. and Tversky, A. (1982). *Judgment Under Uncertainty: heuristics and biases.* Cambridge: Cambridge University Press.
4. *Practical Project Risk Management: The ATOM Methodology Practical Project Risk Management.* (2012).
5. Hansson, S.O., Zalta, E.N. (2014). "Risk". *The Stanford Encyclopedia of Philosophy.* Retrieved 9 May 2014
6. Ale B. Risk: An introduction 200, "Risk Management – An Analytical Study". *IOSR Journal of Business and Management.* Feb 2014. 83–89. Retrieved 6 June 2016.
7. *Rules of safety at the coal mines: NPAOP 10.0-1.01-10. – The State Committee of Ukraine for Industrial Safety, Safety and Mining Supervision, Kyiv 2014 y. 198p. (Regulations of the Ministry of Energy and Mines)*
8. Vallero, D.A. & Vesilind, P.A. (2007). *Socially Responsible Engineering: Justice in Risk Management.* John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 365.
9. Merzlikin, A.V. (2005). *Method of micro-faults parameters forecasting: The author's abstract of the thesis of a Cand.Tech.Sci.: 05.15.11 // NMU. Dnipropetrovsk, 18.*
10. *A guide to the knowledge of project management. Fourth Edition (Leadership PMBOK®)/ American National Standard ANSI/PMI 99-001-2004, 388.*
11. Zacharova, L.M. & Nazimko, V.V. (2012). *Sensitivity investigation of development program and mining risk at a coal mine. Radiotelectronic and computer systems. Kharkiv: Kharkiv University of Aerospace (KhAI), 1 (53), 157-164.*
12. Trietsch, D., Baker K.R. (2012). *PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century. International Journal of Project Management, 30(4), 490–502.*

13. Nazimko, I.V. (2011). Investigation of the mechanism of rock irreversible movement around a longwall advancing with different rate. *Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine, № 9 (part I)*, 343–357.
14. Nazimko, I.V. (2012). Evaluation of the longwall roof stability during a panel extraction. *Proceedings of the Donetsk mining institute. Donetsk, DonNTU, 1*, 399–409.
15. Gnedenko, B.V. & Belyaev, U.K. & Soloviev, A.D. (1965). *Mathematical methods in theory of reliability*. M.: Science, 524.
16. Nazimko, V.V. Dynamic model for risk investigation of coal extraction projects / V.V. Nazimko, O.A. Kratt, A.V. Merzlikin // *Scientific Papers of DonNTU. Problems of Simulation and Computer Aided of Dynamic System. Donetsk, DonNTU, 1(12)-2(13)*, 75-86.
17. Nazimko, V.V. (2016). Development and rationale of the new method to forecast of risks coal mining / V.V. Nazimko, A.V. Merzlikin // *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 1/2016(17)*, 62–71.
18. Nazimko, V.V. (2012). Improving a mathematical model of the reliability of a working face taking into account rock pressure influence / V.V. Nazimko, A.V. Merzlikin, U. Seleznova // *Ground of control in mining, 20*, 20–28.
19. Ke, H., Liu, H., Tian, G. (2015). An uncertain random programming model for project scheduling problem. *International Journal of Intelligent Systems, 30*, 66–79.
20. Talbot, J. and Jakeman, M. (2009). *Security Risk Management Body of Knowledge*, John Wiley & Sons.
21. Hopkin, P. (2012). *Fundamentals of Risk Management*. 2nd Edition. Kogan-Page. ISBN 978-0-7494-6539-1
22. Instructions for the safe management of mining operations on formations that are dangerous for sudden releases of coal, rock and gas: NPAOP 10.0-5.25-89. – Ministry of Coal Industry of the USSR, 1984. – V, 132 c. – (Normative document of Ukraine. Instruction).

Посилання на публікацію

- APA Nazimko, V., Merzlikin, A., & Zakharova, L., (2017). Stochastic simulation of risk of failing to comply with underground coal mining plan. *Management of Development of Complex Systems, 30*, 169-179.
- ГОСТ Назимко В.В. Стохастичне моделювання ризиків невиконання розкладу підземного вуглевидобутку [Текст] / В.В. Назимко, А.В. Мерзлікін, Л.М. Захарова // *Управління розвитком складних систем*. – 2017. – № 30. – С. 169-179.