

РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ НОВОГО МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

А. В. Мерзлікін

Донецький національний технічний університет
пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, 85302, Україна.
E-mail: artem.v.merzlikin@gmail.com

В. В. Назимко

Інститут фізики гірничих процесів НАН України
вул. Сімферопольська, 15, м. Дніпро, 49600, Україна.
E-mail: victor_nazimko@mail.ru

Розглянуто роботу очисного вибою як динамічної системи зі змішаним характером входних факторів. Встановлено, що функції, які описують залежність між входними і вихідними факторами, не є лінійними і часто не безперервними. Обґрунтовано метод прогнозування ризиків підземного вуглевидобутку на основі врахування дрейфу статичних характеристик динамічної системи через природню варіації газовиділення, яка може змінюватися в результаті варіації гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільного пласту або в результаті застосування більш ефективної його дегазації.

Ключові слова: ризики, прогнозування, вуглевидобуток, проект, управління, оперативність.

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ НОВОГО МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ УГЛЕДОБЫЧИ

А. В. Мерзликін

Донецкий национальный технический университет
пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, 85302, Украина.
E-mail: artem.v.merzlikin@gmail.com

В. В. Назимко

Институт физики горных процессов НАН Украины
ул. Симферопольская, 15, г. Днепр, 49600, Украина.
E-mail: victor_nazimko@mail.ru

Рассмотрена работа очистного забоя как динамической системы со смешанным характером входных факторов. Установлено, что функции, описывающие зависимость между входными и выходными факторами, являются нелинейными и зачастую не непрерывными. Обоснован метод прогнозирования рисков подземной угледобычи на основе учета дрейфа статических характеристик динамической системы через естественную вариацию газовой выделения, которая может изменяться в результате вариации горно-геологических условий отработки угольного пласта или в результате применения более эффективной его дегазации.

Ключевые слова: риски, прогнозирование, угледобыча, проект, управление, оперативность.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Видобуток вугілля є найбільш надійним джерелом енергетичної незалежності України. Тому на найближче десятиліття розвиток вугільної промисловості нашої держави залишається стратегічно важливим завданням. Значним резервом що дозволяє підвищити рентабельність галузі в умовах після кризової конкурентної економіки є проектний стиль управління, широке впровадження якого дозволить підвищити якість проектів вуглевидобутку та забезпечити його рентабельність. Останні дослідження показують, що проектні ризики підземного вуглевидобутку є серйозною проблемою, яка стримує застосування сучасних методів управління в галузі [1].

Підземний вуглевидобуток істотно відрізняється специфікою, яка значно підвищує рівень проектних ризиків. Це пов'язано з високим рівнем невизначеності геологічних умов відпрацювання підземних запасів вугілля, малого підземного робочого простору, низькою мобільністю техніки та устаткування, а також цілою низкою небезпек у вигляді аварій, вибухів, пожеж, раптових викидів вугілля, газу та породи. У зв'язку з цим виникає завдання своєчасного прогнозування проектних ризиків підземного вуглевидобутку. Рішення такої задачі дозволить забезпечити можливість керованої та стійкої роботи очисних вибоїв, що гарантує рентабельність вугільних підприємств [2–4].

На теперішній час найбільша кількість досліджень присвячено вивченню економічних ризиків вуглевидобутку [4]. Підкреслюється, що ризики є одним з найголовніших перешкод для інвестування у вугільну промисловість [5], а також недостовірність економічної інформації є головною причиною економічних ризиків [6].

Останнім часом ризики розглядаються як невід'ємна компонента проектів підземного вуглевидобутку, якою необхідно управляти [7–9]. Вочевидь, що ефективність управління проектними ризиками безпосередньо залежить від оперативності та своєчасності виявлення ризиків. Економічні методи виявлення проектних ризиків досить інерційні та дозволяють виявити ризики з великою затримкою тільки після отримання і аналізу інформації про фінансовий стан процесу вуглевидобутку. У зв'язку з цим більш надійні методи прогнозування і своєчасного виявлення проектних ризиків повинні базуватися на моніторингу поточних виробничих процесів вуглевидобутку [10]. Рішення такого завдання розглядається в даній статті.

Мета роботи – удосконалення методики прогнозу стійкості роботи очисного вибою на основі модифікації ентропійного показника вуглевидобутку.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Довгий очисний вибій є основним інструментом підземного вуглевидобутку. По суті очисний вибій є динамічною системою, до якої застосовні закони автоматичного управління [10]. Відповідно до класифікації [10] для керування роботою очисного вибою застосовують інтегровану систему автоматичного управління (ІАСУ), яка використовує процеси управління з розімкненого циклу, в якому бере участь оператор, а також замкнутого циклу з використанням негативного зворотного зв'язку, який реалізується за рахунок застосування сучасних систем автоматичного управління окремими механізмами (наприклад забійним конвеєром) і технологічними лініями (наприклад механізованим комплексом).

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

З урахуванням вищезгаданої специфіки підземного вуглевидобутку оперативність системи управління має надзвичайно велике значення. Так затримка роботи сучасного очисного вибою на 10-20 хвилин призводить до втрати прибутку, яка обчислюється десятками тисяч гривень при сприятливих гірничо-геологічних умовах відпрацювання вугільного пласта. Затримка кріплення нестійкої безпосередньої покрівлі вугільного пласта на кілька хвилин може привести до обвалення покрівлі та зупинці очисного вибою на кілька годин, а то і змін. В цьому випадку втрата прибутку буде обчислюватися вже сотнями тисяч гривень.

Проблема управління роботою очисного вибою як динамічної системи ускладнюється змішаним характером вхідних факторів, частина з яких має безперервну природу, а частина дискретну. При цьому функції, що описують залежності між вхідними та вихідними величинами є нелінійними і часто не є безперервними. Це істотно ускладнює процес управління роботою очисного вибою, який представляє собою по суті екстремальну систему з плаваючою статичною характеристикою.

Так оптимальне навантаження на лаву (довгий очисний вибій) обчислюється виходячи з урахування можливостей вугільного комбайну, забійного конвеєру, механізованого комплексу та інтенсивності газовиділення з пласта і вміщуючих порід. Як правило остаточне оптимальне навантаження обмежується чинником газовиділення, а статична характеристика лави є плаваючою: при зменшенні газовиділення оптимальне навантаження зростає і навпаки. При видобутку меншим ніж є оптимальний рівень, падає рентабельність вуглевидобутку, а при перевищенні оптимального рівня видобутку виникає небезпека вибуху метану.

Ще раз слід зазначити про специфіку підземного вуглевидобутку, яка сильно ускладнює повну автоматизацію отримання, збору та обробки вихідної інформації про стан динамічної системи очисного вибою і поточного значення вхідних факторів, а також рівня перешкод. Якщо моніторинг видобувного обладнання і техніки в даний час автоматизований в тій чи іншій мірі, то достовірна оперативна оцінка стану покрівлі пласта, який відпрацьовується, поточної інтенсивності газовиділення, фактичної ширини заходки, стійкості сполучення лави з виїмковими виробками поки що практично неможлива. Разом з тим останні фактори є не менш важливими, ніж стан техніки з точки зору забезпечення стійкої роботи лави. Як правило в прихованому вигляді зазначена інформація відображається на змінному і добового видобутку, яка визначається з високою вірогідністю. Іншими словами найбільш оперативна достовірна інформація про стан очисного вибою може бути зібрана протягом доби в інтегральному вигляді добового видобутку. Для порівняння слід зазначити, що мінімальний лаг, з яким накопичується оперативна інформація про фінансовий стан вугільної шахти становить місяць.

Таким чином прогноз ризиків зупинки лави або втрати стійкості роботи очисного вибою можна побудувати на основі аналізу динаміки добового видобутку, яка є часовим рядом, в якому присутні не тільки корисні сигнали, але і перешкоди. Протягом останніх років розроблені емпіричні методи для аналізу динамічних систем, вихідним сигналом яких є часовий ряд складних автоколивальних процесів, на які накладено перешкоди [11–13].

Дослідженнями [11] встановлено, що видобуток очисного вибою в стійкому режимі роботи описується випадковою стаціонарною функцією часу з нормаль-

ним розподілом вихідних величин. Доведено, що стійкість роботи очисного забою можна прогнозувати на підставі аналізу динаміки змінення варіації видобутку, для чого використовується коефіцієнт варіації або поточне значення середньоквадратичного відхилення видобутку (СКВ) [14]. При цьому показано, що безперервне зростання СКВ протягом 5-6 діб з високим ступенем достовірності свідчить про майбутню втрату стійкості роботи очисного забою. Також обґрунтовано оптимальний відрізок часу і ширина ковзаючого вікна, в межах якого слід визначати СКВ.

Аналогічний підхід в управлінні динамічними нелінійними екстремальними системами на основі застосування СКВ описаний в публікації [15] і патенті [16]. У монографії [15] вперше запропоновано використовувати ентропійний показник $H(y)$ динамічної системи, який обчислюється за відомою формулою Шеннона:

$$H(y) = - \int_{-\infty}^{\infty} p(y) \ln p(y) dy \quad (1)$$

де $p(y)$ – щільність розподілу або диференційний закон розподілу вихідного сигналу.

Робота [16] містить вельми перспективний метод визначення керуючого сигналу, який заснований на обліку структури ентропійного показника динамічної системи.

$$\Delta e = \sigma \cdot K_e \quad (2)$$

де σ – значення середньоквадратичного відхилення вихідної величини;

K_e – ентропійний коефіцієнт закону розподілу вказаної величини.

Величина ентропійного коефіцієнту залежить від виду закону розподілу, причому максимальне значення $K_e = 2,066$ відповідає нормальному закону розподілу. Автори також намагаються зменшити обсяг вихідної інформації, необхідної для визначення величини ентропійного потенціалу, що дозволяє оперативно контролювати стан системи в динамічному режимі. В результаті представляється можливим комплексно оцінити не тільки розкид параметру у вигляді величини σ , але і його характер, який визначається законом розподілу, у вигляді величини K_e . Оптимізація управління, відповідно до запропонованого способу, полягає в цілеспрямованому зміні величини ентропії потенціалу системи. Реалізація такого завдання можлива за рахунок зміни статичних і динамічних властивостей системи, наприклад зміни параметрів регулятора, введення до складу системи спеціальних коригувальних ланок, модернізації окремих елементів системи з метою зміни динамічних характеристик, наприклад постійних часу, тобто за рахунок зміни передавальної функції системи. В результаті чого зміняться умови проходження випадкових впливів через систему, що в кінцевому рахунку призведе до зміни закону розподілу керованого параметру. Таким чином, з використанням запропонованого способу підвищується повнота контролю за станом системи і ефективність управління нею за рахунок обліку і зміни закону розподілу вихідного параметру за величиною ентропії коефіцієнта.

З урахуванням специфіки підземного вуглевидобутку авторами даної статті запропоновано модифікацію описаного методу на основі врахування дрейфу статичних характеристик динамічної системи через природну варіацію газовиді-

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

лення, яка може змінюватися в результаті варіації гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільного пласту або в результаті застосування більш ефективної його дегазації. Крім того було встановлено, що розподіл затримок в роботі очисного вибою добре узгоджується з експоненціальним законом, а випадкові переходи від робочого стану в стан зупинки можна в першому наближенні описати марковськими ланцюгами. Це означає, що найбільший вплив на поточний стан очисного вибою надає стан на попередньому етапі його моніторингу, наприклад, протягом попередньої доби. У зв'язку з цим запропоновано обчислювати варіацію видобутку з урахуванням вагових коефіцієнтів, які швидко зменшуються в міру віддалення вихідних величин в минуле.

При визначенні стійкості роботи очисного вибою нами також запропоновано врахувати рівень ризику. Якщо критичний інтервал часу, протягом якого зберігається небезпечна тенденція втрати стійкості роботи очисного вибою прийняти рівним 6 діб, тоді ризик помилки другого роду наближається до десятих часток відсотку. Разом з тим протягом такого часу витрати енергії, праці, часу і грошових коштів на виведення динамічної системи очисного вибою з нестійкого стану будуть дуже великі. Навпаки, при дуже короткому інтервалі часу для прийняття гіпотези про імовірної втрати стійкості роботи лави ймовірність помилки першого роду підвищується і можуть бути не виправдано витрачені кошти на ліквідацію небезпечного стану очисного вибою, якого фактично не було. У зв'язку з цим рішення про ступінь ризику слід віддати операторам, які керують роботою очисного вибою і враховують всі компоненти ризику в місцевих умовах.

В результаті процедура аналізу стійкості роботи очисного вибою виглядає наступним чином.

У ковзаючому вікні завширшки 16 діб визначають часовий ряд видобутку, за яким з урахуванням вагових коефіцієнтів визначають її СКВ. Вагові коефіцієнти визначають за залежністю

$$B = 0,551 \cdot \exp^{(-0,16x)} \quad (3)$$

де x – означає номер діб.

При цьому поточна доба має номер 1, вчорашня - номер 2 і т.д.

Потім визначають похідну СКВ добового вуглевидобутку і вимірюють поточне збільшення газовиділення на виїмковій ділянці за даними служби вентиляції. Потім обчислюють ентропійний потенціал вуглевидобутку згідно з залежністю:

$$\Delta e = \frac{P_e}{D_{cp}} + k \frac{\Delta \Gamma}{\Gamma_n} \quad (4)$$

де P_e – похідна СКВ вуглевидобутку, т/діб²;

D_{cp} – середньозважений вуглевидобуток у межах ковзаючого вікна, т/діб;

$\Delta \Gamma$ – приріст газовиділення, м³/доб²;

Γ_n – поточне газовиділення, м³/діб;

k – безрозмірний емпіричний коефіцієнт.

Після цього задають рівень ризику і визначаються тривалість критичного періоду згідно залежності:

$$T = 3 - 0,5 \ln \left(\frac{100}{R} - 1 \right) \quad (5)$$

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

де T – критичний період, діб,

R – рівень ризику, %.

Стан «небезпечно» фіксують у випадку, коли ентропійний Потенціал вуглеводобутку має позитивний знак протягом T діб поспіль. При цьому тривалість критичного періоду визначають шляхом послідовного аналізу [17].

Приклад реалізації розробленого методу прогнозу стійкої роботи очисного вибою наведено для наступних умов. Глибина розробки становить 800 м. Потужність вугільного пласта 1,5 м. Довжина лави складає 250 м. Управління покрівлею здійснюється шляхом повного її обвалення за допомогою механізованого комплексу КД90. Заданий рівень ризику становить 90 %. Темпи просування лави змінювалися в межах 50-200 м/міс. Динаміка видобутку показана на графіку (а) рис. 1. На фрагменті (б) рис. 1 наведено розподіл СКВ видобутку, на рис. 1, (в) показана динаміка газовиділення, а на фрагменті (г) зміна ентропії потенціалу вуглеводобутку.

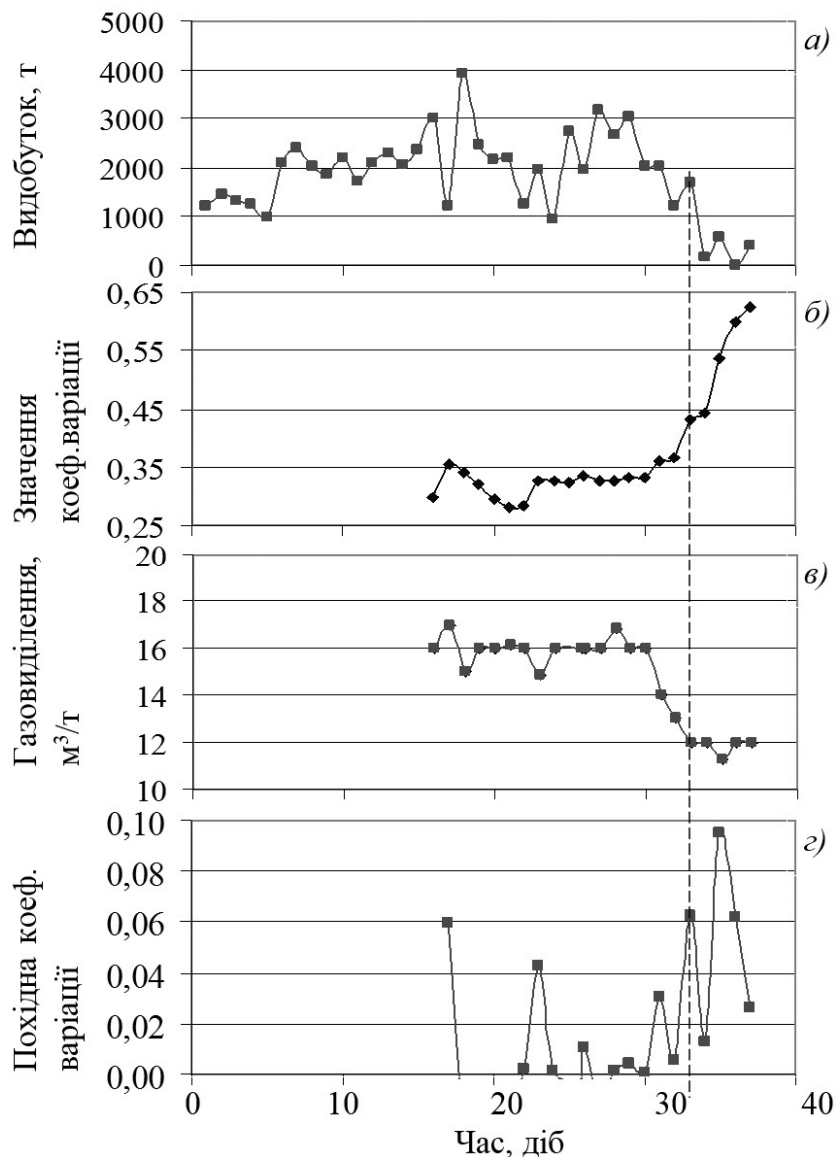


Рисунок 1 – Співвідношення параметрів

При рівні ризику 10 % тривалість критичного інтервалу часу становить 2,9 доби. Графіки показують, що починаючи з 30 доби спостережень за роботою лави позитивний знак ентропійного потенціалу зберігається протягом трьох діб, що з імовірністю 90 % означає, що стійкість роботи очисного вибою може бути втрачена. У зв'язку з цим необхідно застосувати заходи щодо стабілізації стійкої роботи лави. Характерно, що в цей момент видобуток складає 1900 тон/добу, що приблизно відповідає середньому рівню видобутку. Це означає, що своєчасні заходи щодо стабілізації роботи очисного вибою будуть прийняті вчасно, а витрати на їх реалізацію будуть мінімальні.

Якби ці заходи не були прийняті, очисний вибій втратив би стійкість роботи, та видобуток протягом наступної доби зменшився практично до нуля. Таким чином розроблена методика дає можливість із заданою надійністю або рівнем ризику оцінити стійкість роботи очисного вибою як складної динамічної системи і забезпечити на основі цього надійне управління зазначеним об'єктом.

Облік дрейфу статичної характеристики очисного вибою дозволяє істотно скоротити помилки першого роду у вигляді помилкового сигналу про настання нестійкого режиму роботи лави. При зниженні інтенсивності газовиділення згідно з формулою (2) величина ентропійного потенціалу очисного вибою падає, оскільки збільшення швидкості газовиділення має негативний знак. Навпаки, зростання інтенсивності газовиділення збільшує ентропію динамічної системи, що виводить режим її роботи з оптимуму, причому в більш небезпечну сторону, оскільки збільшується небезпека вибуху газоповітряної суміші. Це дозволяє відфільтрувати випадкові коливання вхідних параметрів, які впливають на СКВ видобутку в позитивну сторону.

ВИСНОВКИ. Виконані дослідження дозволили удосконалити методику прогнозу стійкості роботи очисного вибою як екстремальної нелінійної динамічної системи на основі модифікації ентропійного показника вуглевидобутку. При цьому враховано дрейф статичної характеристики динамічної системи очисного вибою в залежності від інтенсивності газовиділення з пласта і вміщуючих порід.

Облік рівня ризику дозволяє раціонально управляти проектом підземного вуглевидобутку за рахунок своєчасного прийняття керуючих заходів і мінімізації витрат на виведення очисного вибою в стан стійкої роботи за рахунок зниження ймовірності прийняття помилкової гіпотези про небезпечний стан режиму роботи лави.

Перевірка методики на конкретному прикладі свідчить про її надійності та ефективності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стохастическое моделирование рисков невыполнения программы развития горных работ на угольной шахте / В.С. Маевский, Л.Н. Захарова, А.В. Мерзликин // Наукові праці ДонНТУ. Серія Проблеми моделювання і автоматизації проектування. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип.10(197). – С. 101–110.
2. Федоров В.Н. Обеспечение ритмичной работы очистных забоев – главное условие роста эффективности – Уголь, 2009. – № 1. – С. 70–73.

3. Федоров В.Н. К вопросу технического регулирования производственных процессов современной шахты – Уголь, 2010. – № 2. – С. 49–51.
4. Петросов А.А., Мангуш К.С. Экономические риски горного производства. – М.: МГГУ, 2002. – 156 с.
5. Кочура И.В. Выявление и классификация рискованных ситуаций при инвестировании средств в угольные предприятия // Экономика: проблемы теории і практики. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2002. – Вип. 165. – С. 69–75.
6. Бифов Р.Ж. Обоснование параметров издержек производства угольной компании в условиях недостоверной экономической информации. – М.: МГГУ, 2003. – 198 с.
7. Мангуш К.С. Экономическая оценка риска инвестиционного проекта строительства угледобывающего предприятия. – М.: МГГУ, 2007. – 167 с.
8. Захарова Л.Н. Оценка риска невыполнения годовой программы развития горных работ с помощью стохастического моделирования // Форум гірників. Матеріали міжнародної наукової конференції, 21-23 жовтня 2010р., м. Дніпропетровськ / Экономика і управління у гірничій промисловості. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2010. – Том 3. – С. 217–225.
9. Захарова Л.Н., Селезнева Ю.М. Анализ рисков невыполнения программы горных работ // Доповіді науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 19–20 травня 2011 р., м. Дніпропетровськ / Сучасні проблеми екології та геотехнології. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011. – С. 68–75.
10. Михайлов В. С. Теория управления. – К.: Выща школа Головное изд-во, 1998. – 312 с.
11. Smirnov D.A. Detection of weak directional coupling. Phys. Rev. E. 2005. Vol. 71, P. 237–247.
12. Bezruchko V.P. Reconstruction of time-delayed feedback systems from time series / Physica D. – 2005. – Vol 203. – P. 209–223.
13. Исследование вариации темпов добычи угля из длинных очистных забоев / М.А. Ильяшов, А.А. Яйцов, Л.Н. Захарова // Вісті Гірничого Інституту. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Вип. 1. – С. 193–200.
14. Оценка устойчивости работы очистных забоев по параметрам распределения добычи / М.А. Ильяшов, В.В. Назимко., А.В. Мерзликин // Материалы международной научно-практической конференции г. Днепропетровск НГУ, 2011. – С. 52–63.
15. Электрические измерения неэлектрических величин / А. М. Туричин, П.В.Новицкий, Е.С. Левшина – Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.
16. Лазарев В.Л. Способ контроля и управления динамической системой // Патент России №2296356, МПК 2006.01, G05B13/00, 27.03.2007.
17. Булинский А.В., Ширяев А.Н. Теория случайных процессов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 408 с.

**DEVELOPMENT AND RATIONALE OF THE NEW METHOD
TO FORECAST OF RISKS COAL MINING**

A. Merzlikin

Donetsk National Technical University
sq. Shibankova, 2, Krasnoarmiysk, 85302, Ukraine.
E-mail: artem.v.merzlikin@gmail.com

V. Nazimko

Institute for Physics of Mining Processes
vul. Simferopolskaya, 15, Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine.
E-mail: victor_nazimko@mail.ru

Purpose. Development of a new method to forecast for stable work of the mining face, with considering natural variations gassing. **Methodology.** We consider the work of the mining face as a dynamic system with a mixed character of input factors. It is established that the function which are describing the relationship between input and output factors are nonlinear and often discontinuous. **Results.** The method of the forecast stable work of the mining face as the extreme nonlinear dynamic system, has based on modification of the entropy index of coal mining. **Originality.** The methods of forecasting risks of underground coal production with considering the drift of the static characteristics of a dynamic system was based with considering the natural variation of gas release, which may change as a result of variations in geological conditions of mining coal seam or as a result of its more effective degassing. **Practical value.** Improved methods of forecasting work mining face allows efficiently manage the project of coal mining through the timely adoption of control measures and minimizing the cost of removing the mining face in a state of steady work. Reference 17, Figure 1.

Key words: risk, forecast, coal mining, project management, efficiency.

REFERENCES

1. Maevsky, V.S., Zaharova, L.N. and Merzlikin, A.V (2011) "Stochastic simulation of risk of a program for mining development at a coal mine". *Problems of Simulation and Computer Aided Design of Dynamic System. Scientific Papers of Donetsk National Technical University*. Donetsk, DonNTU, vol. 10, no. 197, pp. 101–110.
2. Fedorov, V.N. (2006) "Ensuring smooth operation of production faces - the main condition for the effectiveness of growth". *Coal*, no. 1. – pp. 70–73.
3. Fedorov, V.N. (2010) "On the issue of technical regulation of production processes modern mine". *Coal*. – no. 2. – pp. 49–51.
4. Petrosov, A.A. and Mangush, K.S. (2002) *Ekonomicheskiye riski gornogo proizvodstva*. [The economic risks of the mining industry.] –M.: MGGU. – 156 p.
5. Kochura, I.V. (2002) "Identification and classification of risk situations when investing in coal mines". *Economy: problems of theory and practice* – Dnepropetrovsk: DNU, vol. 165, pp. 69–75.
6. Bifov, R.J. (2003) *Obosnovaniye parametrov izderzhek proizvodstva ugolnoy kompanii v usloviyakh nedostovernoy ekonomicheskoy informatsii*. [Justification of the

cost of production parameters of the coal companies under false economic information.] – М.: MGGU, 2003. – 198 p.

7. Mangush, K.S. (2007) *Ekonomicheskaya otsenka riska investitsionnogo proyekta stroitelstva ugledobyvayushchego predpriyatiya*. [Economic evaluation of the risk of the investment project to build a coal-mining enterprise.] – М.: MGGU. – 167 p.

8. Zaharova, L.N. (2010) "Risk assessment of the implementation of the annual program of mining operations using stochastic modeling". *Forum of Miners. Proceedings of the International Conference, 21-23 October 2010, c. Dne-propetrovsk / Economics and management in the mining industry*. – Dnipropetrovsk National Mining University, vol. 3, pp. 217–225.

9. Zaharova, L.N. and Selezneva, Y.M. (2011) "Risk analysis of failure of the program of mining operations" *Reports of the Scientific Conference of Students and Young Scientists 19-20 May 2011, c. Dnepropetrovsk / Modern problems of ecology and geotechnology*. – Dnipropetrovsk National Mining University, vol. 2, pp. 68–75.

10. Mihaylov, V.S. (1998) *Teoriya upravleniya*. [Control theory.] – К.: Vyshcha shkola. – 312 p.

11. Smirnov, D.A. (2005) Detection of weak directional coupling. *Phys. Rev. E*. vol. 71, pp. 237–247.

12. Bezruchko, B.P. (2005) Reconstruction of time-delayed feedback systems from time series. *Physica D.*, vol. 203, pp. 209–223.

13. Ilyashov, M.A., Yaytsov, A.A. and Zaharova, L.N. (2010) "Research of variation rate of coal extraction from long working faces". *Proceedings of the Mining Institute*. – Donetsk: DonNSU, vol. 1. – pp. 193–200.

14. Ilyashov, M.A., Nazimko, V.V. and Merzlikin, A.V. (2011) "Assessment of the stability of the stopes by parameters loot" *Proceedings of the international scientific-practical conference*. – Dnepropetrovsk National Mining University, pp. 52–63.

15. Turichin, A.M., Novitskiy, P.V. and Levshina, E.S. (1975) *Electrical measurements of non-electric values* – Ed. 5-th, – L.: Energy. – 576 p.

16. Lazarev, V.L. (2007) "Method for monitoring and control of dynamic systems" Patent of Russia №2296356, JPC 2006.01, G05B13/00, 27.03.2007.

17. Bulinskiy, A.V. and Shiryaev, A.N. (2005) *Teoriya sluchaynykh protsessov*. [The theory of stochastic processes.] – М.: FIZMATLIT. – 408 p.

Стаття надійшла 28.03.2016.