

scribing the level of errors of I and II kind with controlling the length of the total normal are given for the first time.

**Practical significance.** The software implementation of the developed simulation-statistical model of measurement and controlling the geometric parameters of the involute teeth makes it possible to reasonably select the measuring devices of the required accuracy at the stage of technological preparation of production. Usage in the educational process simulation-statistical model of measurement and controlling the geometric parameters of the involute teeth makes it possible to improve knowledge and skills, to increase the level of competence of graduates of higher educational institutions in the field of technical measurements and parts control.

**Keywords:** *involute gear wheel, simulation modeling, statistical modeling, length of the total normal, uncertainty, measurement error, percentage of incorrectly rejected articles, acceptance control.*

УДК 622.831.2:539.422.3

Л.М. Захарова, І.В. Назимко

## **КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПЕРЕХОДУ МАЛОАМПЛІТУДНОГО ПОРУШЕННЯ**

L. Zakharova, V. Nazimko

### **COMPLEX OF APPROACHES PROVIDING TRANSITION OF MICRO-FAULT**

**Мета.** Мета даної статті полягала в розвитку комплексного підходу до вирішення проблеми переходу малоамплітудного порушення вугільного пласта довгим очисним вибієм.

**Методологія.** Для обґрунтування оптимального рішення проблеми переходу малоамплітудного порушення застосовано методи проектно-орієнтованого управління процесом переходу.

**Результати.** Не існує надійної окремої технології, яку б можна було застосувати для переходу малоамплітудного порушення вугільного пласта довгим очисним вибієм. Так геофізичні методи розвідки вугленосної товщі не забезпечують гарантії для успішного переходу пошкодженої товщі навколо малоамплітудного порушення. Ми запропонували розглядати процес переходу малоамплітудного порушення як проект і управляти ризиками переходу за допомогою певного набору технологій, які доповнюють одна одну. Найбільш критичними компонентами для рішення проблеми переходу є моніторинг дисипативних структур, оптимальне комбінування технологій дегазації вугільного пласта й оточуючих його пісковиків, а також спеціальний метод контролю швидкості газовиділення зі шпуру для визначення викидонебезпечності вугільного пласта, що відпрацьовується. Перша технологія забезпечує управління моніторингом дисипативних структур, що дозволяє ефективно керувати вказаними дисипативними структурами й запобігти обваленню покрівлі пласта під час переходу порушення. Решта технологій допомагає підтримувати високі темпи посування очисного вибію, що підключає й стимулює довговічність тріщинуватого масиву для підвищення стійкості покрівлі пласта.

**Новизна.** Вперше було застосовано проектно-орієнтований підхід для вирішення проблеми переходу малоамплітудного порушення вугільного пласта очисним вибієм.

**Практична цінність.** Нові результати дозволяють практикам ефективно управляти станом масиву гірських порід у складних геологічних умовах розробки вугільного родовища.

**Ключові слова:** *вугільний пласт, метан, малоамплітудне порушення, дисипативні структури, моніторинг, очисний вибій, темпи посування, дегазація.*

**Вступ.** Енергетична безпека нашої держави може бути гарантована на декілька століть завдяки власним запасам кам'яного вугілля. Проте третина усіх достовірно розвіданих запасів інтенсивно пошкоджена геологічними порушеннями. Для вугільних родовищ характерною особливістю є те, що переважна більшість диз'юнктивних порушень має малу амплітуду, яка не перевищує 1,5-3м. Такі малоамплітудні порушення (МАП) неможливо встановити шляхом аналізу стратиграфічних колонок, отриманих за допомогою буріння розвідувальних свердловин. Тому у процесі відпрацювання виїмкових стовпів виникає високий ризик непередбаченої зустрічі очисним вибієм малоамплітудного порушення (МАП). Це призводить до багатьох масштабних негативних наслідків, оскільки зрушення масиву у зоні переходу МАП супроводжується особливо інтенсивними незворотними деформаціями, які призводять до обвалення безпосередньої покрівлі вугільного пласта, пошкодження вибійного обладнання, розубожіння видобутку пустою породою і навіть нещасними випадками.

Наразі напрацьовано низку заходів і технологій, які сприяють підвищенню ймовірності вдалого переходу МАП. Найбільш вражаючі результати отримані завдяки розвитку сучасних методів пластової томографії [1,2,3] але проблема залишається невирішеною. Причина полягає у значній невизначеності геологічних умов порушень, а також складністю інтерпретації результатів геофізичних методів розвідки МАП. До того ж вартість мікросейсмічної томографії масиву гірських порід залишається надто високою. Саме тому виробничники недовіряють надійності геофізичних методів розвідки й покладаються головним чином на свої сили та удачу, коли ризикують перейти МАП очисним вибієм, застосовуючи тактичне маневрування очисним комплексом [4]. Саме тому останнім часом вирішення проблеми переходу МАП очисними роботами здійснюється комплексним методом, який базується на проектно-орієнтованому підході [5].

Отже **метою** статті є вдосконалення комплексного методу управління процесом переходу МАП.

**Викладення основного матеріалу.** Аналіз практики переходу МАП очисними вибіями на сучасних вугільних українських шахтах показав, що масштабні втрати, обумовлені переходом зон малоамплітудної порушеності вугільних пластів є наслідком цілої низки причин і факторів, які набагато ширше відсутності чи низької достовірності технологій розвідки та прогнозування зон малоамплітудної порушеності. Ці причини мають не тільки і не стільки технічний характер, а криються у підвалинах людської психології, економіки, організації та управління. Саме тому у даній роботі пропонується вирішувати проблему нейтралізації ризиків і негативних наслідків відпрацювання вугільних запасів у зонах малоамплітудної порушеності методами управління проектами.

Робота окремої дільниці має усі ознаки проекту [6,7]. По-перше відпрацювання кожної дільниці має початок і кінець і керується загальною ціллю. По-друге умови відпрацювання будь якої виїмкової дільниці є унікальними, що відображається в індивідуальному проекті відпрацювання. Унікальність обумовлена перш за все неповторністю геологічних умов розробки. По-третє робота виїмкової дільниці підлягає постійному моніторингу, який виконує ціла низка служб (безпеки, вентиляції, дегазації, головного механіка, маркшейдера, геолога, представника відділу контролю якості і ін.).

Зауважимо, що геофізична розвідка виконується один раз, оскільки вона вельми коштовна. Проте внаслідок нестаціонарності геологічного середовища, в якому працює дільниця, виникає необхідність періодичного корегування параметрів технології, та організації робіт. Саме ця важлива компонента оперативного прогнозу може і повинна виконуватись набагато дешевшим, проте надійнішим моніторингом еволюції дисипативних структур у порушеному масиві, які будуть супроводжувати перехід МАП очисним вибієм.

На рис. 1 наведений комплекс ресурсів, які варто залучати для управління проектом переходу МАП довгим очисним комплексом. Як уже наголошувалось, доцільно застосовувати оптимальне комбінування ресурсів для вирішення складної й невирішеної проблеми переходу МАП. Так необхідно заохочувати виробничників до застосування геофізичних методів розвідки, зокрема мікросейсмічної томографії. Проте така технологія може бути застосована лише одноразово на ділянках виїмкового стовпа, які підозрюються на наявність складного й небезпечного МАП. Під час переходу ж такого МАП доцільно виконувати поточний або оперативний моніторинг дисипативних структур, які будуть виникати у безпосередній покрівлі пласта.

Саме такий моніторинг по-перше дає цінну інформацію про поточний стан покрівлі, а по-друге його вартість настільки мала, що нею можна знехтувати, оскільки вказаний моніторинг здійснюється дільничним маркшейдером або відповідальним виконавцем шляхом поточного спостереження за інкрементальними зрушеннями порід покрівлі на її контурі. Важливо лише забезпечити необхідну періодичність вимірів інкрементальних зрушень й їх оперативний аналіз згідно методики [8,9], а також гарантувати вчасне й кваліфіковане реагування на виникнення небезпечного стану покрівлі, що можливо забезпечити лише методами управління проектом [5,6].

Поряд з моніторингом дисипативних структур у покрівлі пласта дуже ефективним прийомом контролю стійкості покрівлі у зоні МАП є управління тем-

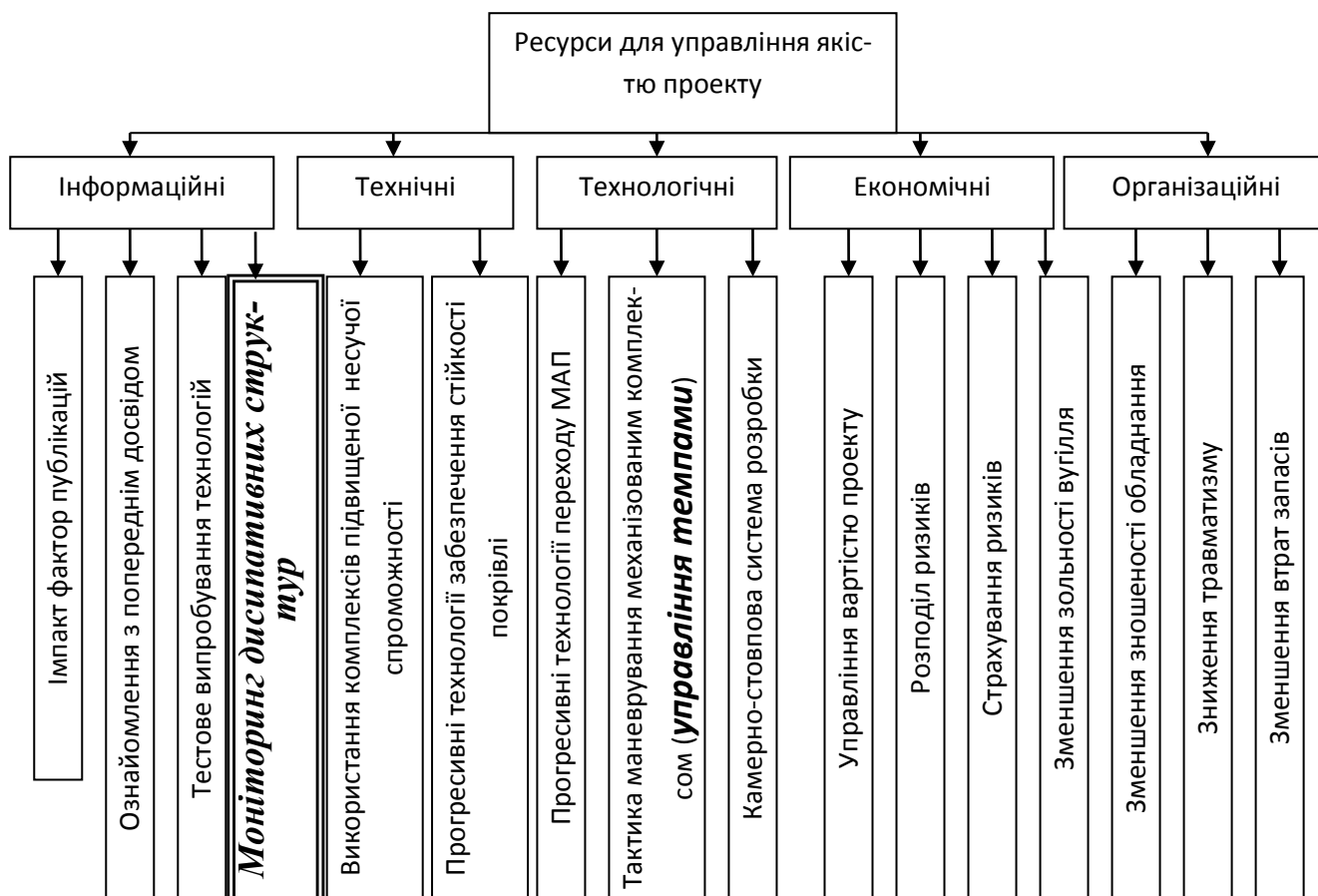


Рис. 1. Структура ресурсів для управління якістю проекту

пами посування очисного вибію. Цей тактичний прийом занесений у перелік технологічних ресурсів на рис. 1, хоча фактично він є суто геомеханічним. Суть у тому, що збільшення темпів посування лави залучає такий фактор як довговічність порід [10]. Міцність твердого тіла й гірських порід зокрема не є константою. Чим швидше навантажується тверде тіло, тим більше його міцність. Отже підвищення темпів посування очисного вибію у зоні переходу МАП позитивно сприяє стійкості порушеної покрівлі, а значить сприяє успішному переходу МАП.

Привабливість прийому, що полягає у збільшенні темпів посування не вичерпується лише фактором довговічності порід. Не менш значущим фактором є зміна процесу обвалення порід безпосередньої покрівлі пласта на її плавний прогин, що відбувається зі зростанням темпів посування очисного вибію [11,12]. Такий корисний ефект пояснюється експоненціальною залежністю дотичних деформацій порід покрівлі від швидкості посування лави (рис. 2). Так підвищення темпів посування з 50 до 150 м/міс або втричі зменшує дотичні деформації уп'ятеро. Такий подвійний позитивний ефект є дуже корисним і його

необхідно залучати для збільшення ймовірності успішного переходу МАП очисним вибієм.

Проте вимога збільшення швидкості посування лави у зоні МАП вступає у протиріччя з безпекою очисних робіт, оскільки саме у зонах МАП найбільш ймовірна небезпека раптових викидів вугілля і вибухонебезпечного метану. Особливо це актуально для сучасних українських вугільних шахт, глибина розробки на яких досягла 900 м і більше. Отже згідно послідовному притриманню комплексності управління процесом переходу МАП необхідно по-перше забезпечити ефективну дегазацію вугільного газонасиченого пласта, а по-друге підсилити безпеку роботи очисного вибію з точки зору можливої викиднебезпечності.

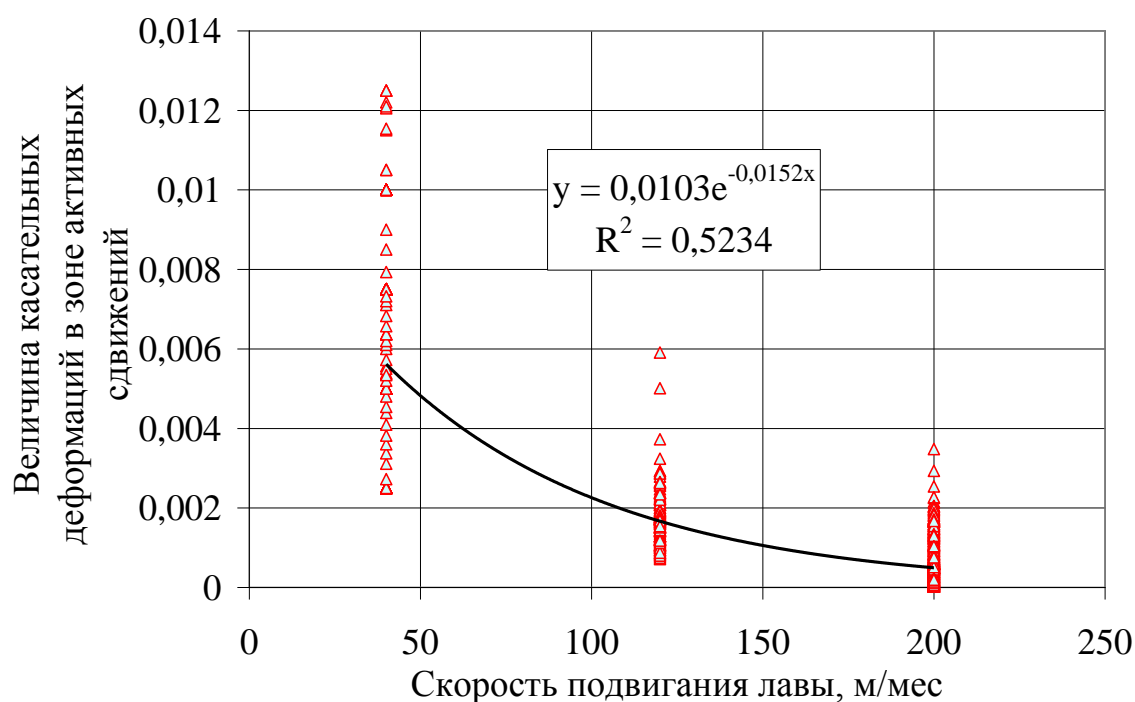


Рис. 2. Залежність величини дотичних деформацій у покрівлі від темпів посування очисного вибію

Для вирішення першої задачі нами розроблений спосіб управління проектом дегазації вугільного пласта, який гарантує безпечне відпрацювання газонасиченого вугільного паста у зоні МАП за умов високих темпів посування очисного вибію.

Дослідженнями доведено, що метан можна умовно розділити на так званий «швидкий» газ і «повільний» газ. «Швидкий» газ накопичується у виробленому просторі, а «повільний газ» залягає у супутниках та поруватих пісковиках і потребує у середньому 9-12 діб, щоб профільтруватися по тріщинам у вироблений простір. Видобуток вугілля сучасними високо навантаженими очисними вибія-

ми здійснюється як правило на межі фактору провітрювання. Тому безпечно збільшення видобутку можливе тільки завдяки комплексній дегазації. Оперативно небезпечну концентрацію метану у очисному вибії можна понизити тільки збільшивши у 1,3-1,5 рази відсмоктування газоповітряної суміші із виробленого простору. Нажаль, відсмоктування газоповітряної суміші з виробленого простору супроводжується засмоктуванням великої кількості повітря, що знижує оптимальну концентрацію метану у газоповітряній суміші, яка подається на когенерацію. Саме тому при вході лави у зону МАП треба одночасно підвищити у 1,15-1,2 рази швидкість дегазації через підземні свердловини, а через годину почати зменшувати згідно експоненті інтенсивність відсмоктування газоповітряної суміші з виробленого простору [13]. Завдяки цьому реалізується синхронна компенсація уповільненої реакції «повільного» газу миттєвою реакцією «швидкого» газу з одночасним зменшенням засмоктування надлишкової кількості повітря у газоповітряну суміш. Реалізація такого газодинамічного механізму дозволяє підтримувати безпеку підземних робіт з одночасним забезпеченням рентабельності когенерації.

Під час переходу МАП необхідно здійснювати моніторинг початкової швидкості газовиділення для оцінки ступеня викиднебезпечності вугільного пласта. Проте нормативний метод виконання вказаної процедури має ряд серйозних недоліків, які затримують темпи гірничих робіт, й не забезпечують необхідної надійності визначення вмісту газу у вугільному пласті. У момент вимірювання нормативним методом початкової швидкості газовиділення значна частина найбільш небезпечного «швидкого» газу неповоротно втрачається (саме тому термін «початкова швидкість» є достатньо умовним).

Усі відомі методи з нормативним включно реалізують умовно точковий аналіз газовиділення, оскільки проби для десорбометрії відбираються, або герметизація ділянки біля вибію шпуру здійснюється на локальних ділянках. Це створює неповноту результатів аналізу, а також спричиняє їх значний випадковий розкид.

Нормативний метод до того ж дає додатковий розкид результатів вимірювання швидкості газовиділення, оскільки герметизація вибійної частини шпуру не є ідеальною. Погано те, що як втрата «швидкого» газу, так і недоліки герметизації створюють систематичну похибку у бік недооцінки кількості небезпечного газу. Усі відомі методи практично не здібні визначити місце границі, де відбулась природня дегазація масиву у бік породного оголення. Вказана точка у шпурі є важливим маркером, який допомагає надійніше визначити такі параметри, як ефективність проти-викидних заходів.

Нормативний метод суттєво затримує процеси підготовки й видобутку корисних копалин, що негативно впливає на темпи вказаних робіт, а отже на економіку шахти. Додаткові збитки породжуються необхідністю введення коефіцієнту запасу, значення якого не виправдано велике, оскільки фактично таким коефіцієнтом компенсується втрата значної кількості «швидкого» газу. Такий вимушено великий запас надійності призводить до надмірних витрат часу, матеріалів, енергії й праці на противиکیدні заходи там, де вони може й непотрібні.

Оскільки втрачається значна частка газу (у вигляді «швидкого»), втрачається можливість додаткової детальної розвідки вмісту газу у зоні МАП під час буріння дегазаційних свердловин з підземних гірничих виробок.

Для усунення вказаних недоліків був обґрунтований новий метод визначення швидкості газовиділення зі шпуру, який не потребує його герметизації, причому газовиділення фіксується з великою точністю з самого початку буріння й навіть мізерна кількість газу не втрачається від обліку. Спосіб ґрунтується на розбавленні газу усередині шпуру нейтральним газом, що подається через бурову штангу у вибій шпуру. Кількість газу, що виділяється обчислюється в залежності від кількості поданого у шпур нейтрального газу й концентрації газової суміші на виході зі шпуру. Здійснено моделювання, яке дозволило розробити надійну процедуру інтерпретації результатів моніторингу швидкості газовиділення, й визначення небезпечної ситуації з точки зору можливості раптового викиду вугілля і газу [14].

Таким чином обґрунтований метод моніторингу дисипативних структур у безпосередній покрівлі вугільного газонасиченого пласта, спосіб дегазації й спосіб моніторингу швидкості газовиділення є важливими компонентами комплексного управління проектом швидкого переходу МАП очисним вибієм.

#### **Висновки.**

Обґрунтовано комплексний підхід до вирішення проблеми переходу малоамплітудного порушення очисним вибієм, який забезпечує необхідну стійкість покрівлі пласта й високі темпи переходу. Такий результат досягнуто завдяки наступними важливими компонентами: моніторингу дисипативних структур у безпосередній покрівлі вугільного газонасиченого пласта, способу комплексної його дегазації й способу моніторингу швидкості газовиділення, який виконується без герметизації шпуру.

Подальшими дослідженнями планується вдосконалення параметрів комплексної технології переходу МАП для підтримання необхідної безпеки інтенсивного вуглевидобутку.

#### **Перелік посилань**

1. Hartline C.S., Walters M.A., Wright M.C. Three-Dimensional Structural Model Building, Induced Seismicity Analysis, Drilling Analysis, and Reservoir Management at The Geysers Geothermal Field, Northern California. GRC Transactions, Vol. 39, 2015: 603-614.
2. Boyle, K. and M. Zoback, 2014, The stress state of the northwest Geysers, CA geothermal field and implications for fault-controlled fluid flow, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, No. 5, pp. -, October 2014, doi: 10.1785/0120130284.
3. Jeanne, P., J. Rutqvist, C. Hartline, J. Garcia, P.F. Dobson and M. Walters, 2014, Reservoir structure and properties from geomechanical modeling and microseismicity analysis associated with an enhanced geothermal system at The Geysers, California, Geothermics, 51, 460-469.
4. Захарова Л.Н., Печная Е.С., Митичкина Е.С., Красько А.Н. (2011). Влияние малоамплитудной нарушенности на устойчивость кровли и темпы подвигания очистных забоев. Проблемы гірського тиску. Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету, Донецьк, ДонНТУ, № 19. - С.155-164.
5. Колесник, Н.А., Захарова Л.Н. (2014). Стохастические основы маркшейдерского обеспечения безопасного ведения горных работ, Уголь Украины, 11, 34-43.

6. Назимко В.В., Мерзлікін А.В., Захарова Л.М. (2014). Обґрунтування структури системи управління проектними ризиками вуглевидобутку та їх ідентифікація. Вісті Донецького гірничого інституту №1(34)-2(35).
7. Мерзликин, А.В., Захарова, Л.Н., Ареф'єв, Є.М. (2014). Аналіз відповідності програми розвитку гірничих робіт вугільної шахти проектно-орієнтованому стилю управління. Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць, 32,164-475.
8. Zakharova, L.M. (2017). Cluster behavior of the ground during its irreversible movement. Acta geodynamica et geomaterialia, 14(188), 45-49.
9. Грін'єв, В.Г., Захарова, Л.М. Основи забезпечення стійкості підготовчих виробок в умовах необоротного деформування масиву гірських порід. Уголь України, 2017,10, 3-11.
10. Журков, С.Н. (1955). Исследования прочност твердых тел. II. Зависимость долговечности от напряжения. ЖТФ, 25(1), 66-69.
11. Назимко, И.В. Исследование влияние скорости подвигания очистного забоя на характер деформирования покрывающих пород. Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Кривий Ріг, 2006, 5(15), 41–45.
12. 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.
13. Пілюшенко, В.Л., Бокій, Б.В., Пономаренко, О.В., Гречко, Т.К., Захарова, Л.М. Спосіб управління дегазацією високонавантаженого діючого очисного вибію. Патент України 102953, МПК E21F 7/00, Власник: Донецький державний університет управління міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, заявка на винахід № а201208881, подана 18.07.2012, опубл. 27.08.2013, бюл. № 16/2013.
14. Назимко В.В., Молчанов О.М., Дедіч І.О., Грін'єв В.Г., Калугіна Н.О., Захарова Л.М.. Технологія визначення швидкості газовиділення зі шпурів і свердловин. Уголь України, 2018, 3, 27-35.

### АННОТАЦІЯ

**Цель.** Цель данной статьи заключалась в развитии комплексного подхода к решению проблемы перехода малоамплитудных нарушения угольного пласта длинным очистным забоем.

**Методология.** Для обоснования оптимального решения проблемы перехода малоамплитудных нарушений применены методы проектно-ориентированного управления процессом перехода.

**Результаты.** Не существует надежной отдельной технологии, которую можно применить для перехода малоамплитудных нарушений угольного пласта длинным очистным забоем. Так геофизические методы разведки угленосной толщи не обеспечивают гарантии для успешного перехода поврежденной толщи вокруг малоамплитудного нарушения. Мы предложили рассматривать процесс перехода малоамплитудного нарушения как проект и управлять рисками перехода с помощью определенного набора технологий, которые дополняют друг друга. Наиболее критическими компонентами для решения проблемы перехода является мониторинг диссипативных структур, оптимальное комбинирование технологий дегазации угольного пласта и окружающих его песчаников, а также специальный метод контроля скорости газовыделения из шпура для определения выбросоопасности угольного пласта, который обрабатывается. Первая технология обеспечивает управление мониторингом диссипативных структур, что позволяет эффективно управлять указанными диссипативными структурами и предотвратить обрушения кровли пласта при переходе нарушения. Остальные технологии помогают поддерживать высокие темпы подвигания очистной забоя, подключая и стимулируя долговечность трещиноватого массива для повышения устойчивости кровли пласта.



**Новизна.** Впервые было применено проектно-ориентированный подход для решения проблемы перехода малоамплитудных нарушений угольного пласта очистным забоем.

**Практическая ценность.** Новые результаты позволяют практикам эффективно управлять состоянием массива горных пород в сложных геологических условиях разработки угольного месторождения.

**Ключевые слова:** угольный пласт, метан, малоамплитудное нарушение, диссипативные структуры, мониторинг, очистной забой, темпы продвижения, дегазация.

#### **ABSTRACT**

**Purpose.** The objective of this paper is development of a complex approach to the problem of a micro-fault transition by the longwall.

**Methodology.** Project management technology and experimental approach were used to find the optimal decision of the problem of micro-fault transition in the coal seam strata.

**Findings.** There is not a reliable technology, which could be employed to transit micro-fault by a longwall. Geophysical methods of strata exploration do not provide guaranty for successful transition of geologically destructed area in the rock mass. We have proposed to consider process of micro-fault transition as a project and to control risks of the transition using a set of measures and technologies that complement each other. Monitoring of dissipative structures, optimal combination of degassing technologies, and a special method of methane emanation monitoring are the most critical components of the complex approach for project-oriented decision that could provide reliable transition of a micro-fault. The first technology provides prompt management of dissipative structures monitoring, what facilitates effective control of these structures and prevent possibility of the roof fall in the longwall during micro-fault transition. The other technologies assist maintaining of the high rate of the longwall advance, what stimulates durability of the fractured rock mass and provides the roof stability.

**Originality.** It was the first time when project-oriented approach has been used to solve the problem of micro-fault transition..

**Practical implications.** New findings could assist practitioners to control of ground in hard geologic and technical environment, where underground coal seams are extracted.

**Keywords:** *ground control, irreversible ground movement, dissipative structures, micro-faults, longwalls, rate of advance, degassing.*