

## AGGREGATE TUNNELING COMPLEX FOR PREPARATORY WORKINGS ON EMISSION-HAZARDOUS COAL SEAMS AND ROCKS

*Minieiev S.P.<sup>1\*</sup>, Trokhymets M.Ya.<sup>1</sup>, Maltseva V.Ye.<sup>1</sup>, Vialushkin, O.Ye.<sup>2</sup>, Dzerzhynskiyi, V.O.<sup>3</sup>,  
Taran, D.Ye.<sup>3</sup>*

*Minieiev S.P.<sup>1\*</sup>, Yanzhula O.S.<sup>2</sup>, Sachko R.N.<sup>2</sup>, Byelikov I.B.<sup>3</sup>, Holub S.N.<sup>4</sup>, Samopalenko  
P.M.<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mekhaniks of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro,  
Ukraine*

*<sup>2</sup>National Metallurgical Academy of Ukraine, 49000, Dnipro, Ukraine*

*<sup>3</sup>Novokramatorsk Machine-Building Plant, Kramatorsk, Ukraine*

*\*Corresponding author: [sergminee@gmail.com](mailto:sergminee@gmail.com)*

**Abstract.** The article presents the development of an aggregate tunneling complex for preparatory workings on emission-hazardous coal seams and rocks, for a complete safe technological cycle of excavation of rocks and the mechanized anchoring of its roof. For aggregation of a tunneling complex the use of the VAT “Kramatorsk machine-tool” combine P-110 with a working body on a telescopic boom and on the basis of the drilling machine EBGП-1М of a design of the Konotop machine plant the device for mechanized drilling of boreholes or wells, which is placed on the telescopic boom of the combine. Developed a destructive tool, for rotary vibratory loading method of drilling in rocks of medium strength and strong and together with the components of the aggregate tunneling complex to carry the full technological cycle of excavation of rocks. The safe way of carrying out preparatory working with the mechanized anchor fastening of its roof is developed and in industrial conditions its efficiency, conclusion is defined – developed a new aggregate tunneling complex with mechanized anchoring of the roof of the workings and technology for the safe conduct of preparatory workings in rocks prone to gas-dynamic phenomena can be recommended for implementation in the mining coal industry.

**Key words:** gas-dynamic phenomena, anchors fastening, aggregate tunneling complex, rock.

## АГРЕГАТНИЙ ПРОХІДНИЦЬКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ ПО ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНИМ ВУГІЛЬНИМ ПЛАСТАМ І ПОРОДАМ

*Мінеєв С.П. <sup>1\*</sup>, Трохимець М.Я.<sup>1</sup>, Мальцева В.Є.<sup>1</sup>, Вялушкін Є.О.<sup>2</sup>, Держинський В.О.<sup>3</sup>,  
Таран Д. Є.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки НАН України, Україна*

*<sup>2</sup>Національна металургійна академія України, 49600, м. Дніпро, Україна*

*<sup>3</sup>Новокраматорський металургійний завод, м. Краматорськ, Україна*

*\*Відповідальний автор: [sergminee@gmail.com](mailto:sergminee@gmail.com)*

**Анотація.** В статті надана розробка агрегатного прохідницького комплексу для проведення підготовчої виробки по викидонебезпечним вугільним пластам і породам, який може здійснювати повний безпечний технологічний цикл виїмки гірських порід і механізоване анкерне кріплення її покрівлі. Для агрегування прохідницького комплексу запропоновано використання комбайна П-110 ВАТ “Краматорський машзавод” з робочим органом на телескопній стрілі, а на базі бурового станка ЕБГП-1М конструкції Конотопського машзаводу розроблено пристрій для механізованого буріння шпурів або свердловин, який розміщують на телескопній стрілі комбайна. Розроблено породоруйнівний інструмент, який може здійснювати ефективний обертально-вібронавантажний спосіб буріння у гірських породах середньої міцності та міцних і, разом з компонентами агрегатного прохідницького комплексу, здійснювати повний технологічний цикл виїмки гірських порід. Розроблено безпечний спосіб проведення підготовчої виробки з

механізованим анкерним кріпленням її покрівлі і в промислових умовах визначена його ефективність, що дозволяє зробити висновок - розроблені агрегатний прохідницький комплекс з механізованим анкерним кріпленням покрівлі виробки і технологія для безпечного проведення підготовчої виробки у гірських породах, схильних до газодинамічних явищ, можуть бути рекомендовані для впровадження у гірничу вуглевидобувну галузь.

**Ключові слова:** газодинамічні явища, анкерне кріплення, агрегатний прохідницький комплекс, гірська порода.

## 1. Вступ

На викидонебезпечних вугільних пластах при виконанні гірничих робіт з використанням прохідницьких комбайнів (далі ПК) можуть відбуватися газодинамічні явища (далі ГДЯ), які загрожують безпечній роботі шахтарів переважно при: виїмці вугілля, одночасній виїмці породи і вугілля, оформленні вибою, механічній дії на вибій після струсного вибуху, а також навіть після стояння вибою протягом короткого часу. В шахтних умовах ГДЯ обумовлюються сукупністю факторів, першорядне значення з яких мають: напружений стан гірських порід в привибійній зоні виробки, яку проводять, наявність в ній концентрацій напружень, її газonosний стан і фізико-механічні властивості. Умови залягання пластів вугільних шахт Донецького басейну більше складні в порівнянні з іншими регіонами. Середня глибина розробки родовища перебільшує 700 м, а 30% шахт працюють на глибині 1000 – 1400 м. Приблизно 80% шахт – газові, 60% – небезпечні по вибухам вугільного пилу, а 50% – небезпечні по раптовим викидам і гірським ударах [1, 2]. Проведення пластових виробок ПК у викидонебезпечних вугільних пластах і гірських породах, а також зонах гірничо-геологічних порушень, викриття викидонебезпечних пластів виробками на шахтах України відносяться до гірничих робіт в надзвичайно складних умовах. Тому забезпечення охорони праці та промислової безпеки і, разом з цим, високих темпів проведення виробки при розробці технологічних схем проведення пластових виробок ПК у викидонебезпечних вугільних пластах і гірських породах являються актуальними проблемами. Одним з оптимальних варіантів рішення цих задач є створення агрегатного прохідницького комплексу, який складається з ПК, обладнаного приладами і механізмами, (які відповідають винахідницькій новизні для України), для виконання всього єдиного технологічного циклу виїмки гірської породи, а його противикидні засоби не призведуть до збільшення трудоемності і тривалості проведення виробки і органічно впишуться в операції прохідницького циклу. При проведенні підготовчих виробок ПК у викидонебезпечних вугільних пластах і гірських породах, обов'язково проводяться заходи безпеки. Тому технологічний цикл може складатися із попереднього буріння вибухових шпурів при буровибуховому способі проведення виробки в струсному режимі, попереднього буріння випереджальних, комплекту розвантажувальних, дегазаційних і нагнітальних шпурів, проведення процесу гідророзпушування привибійної частини викидонебезпечного гірського масиву до безпечних норм розвантаження і дегазації, подальшого чисто механічного руйнування гірських порід на вибої виробки робочим органом (далі РО) ПК і механізованого анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки.

Слід врахувати, що буріння шпурів і свердловин у будь-яких вугільних пластах і породах, особливо при проведенні виробок з площиною перерізу більше ніж 20 м<sup>2</sup>, є проблемою. Для проведення таких виробок необхідно пробурити не менше 65 – 70 шпурів на глибину до 2.5 м [2]. Таку проблему можливо вирішити тільки використанням пристрою для механізованого буріння шпурів або свердловин (бурового станка) у викидонебезпечному вугільному пласту при проведенні в ньому підготовчих пластових виробок ПК з РО на телескопній стрілі (далі ТС), який має можливість здійснювати процес буріння в будь-якому місці поверхні вибою виробки, яку проводять, і в будь-якому напрямку відносно її осі. Ще однією проблемою є відсутність ефективного вітчизняного породоруйнівного інструменту (коронки) для бурового станка у гірських породах середньої міцності та міцних. Крім того, важливим питанням є

можливість здійснювати буріння шпурів під анкерне кріплення покрівлі проведеної виробки механізованим способом.

Тому метою даної роботи є розробка комплексу обладнання для агрегатного прохідницького комплексу, технології для здійснення необхідних заходів безпеки при комбайновому проведенні підземних підготовчих виробок в зонах гірських порід з явними проявами ГДЯ і способу механізованого анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки.

## **2. Методика**

Обстеження і оцінка експлуатаційного обладнання технологічних комплексів при комбайновому проведенні підземних підготовчих виробок в зонах гірських порід з явними проявами ГДЯ виявило проблему - відсутність комплексу обладнання і технології для здійснення необхідних заходів безпеки. Для вибору способу вирішення цієї проблеми було сформульовано вимоги для визначення агрегатних компонентів комплексу з урахуванням мінімальних негативних збитків для підприємства.

Відомо, що машинобудівні заводи України ВАТ “Ясинуватський машзавод”, ЗАТ “Горлівський машинобудівний” Торгово-промислової компанії Вуглемаша і ВАТ “Краматорський машзавод” на сьогоднішній день розробили і серійно випускають ефективні ПК, такі як КСП-32М, КПД, і П-110 відповідно. Авторами статті був проведений порівняльний аналіз їх технічних і механічних характеристик, за допомогою якого для нового агрегатного прохідницького комплексу було вибрано ПК вітчизняного виробництва марки П-110 ВАТ “Краматорський машзавод”.

Проведені інженерно-аналітичні дослідження допомогли прийняти технічні рішення щодо компонентів нового агрегатного комплексу для проведення підготовчих виробок по гірським породам, схильним до ГДЯ і механізованого анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки. Для вирішення актуальної на сьогоднішній день проблеми - буріння шпурів і свердловин у будь-яких вугільних пластах і породах при проведенні виробок з площиною перерізу більше ніж 20 м<sup>2</sup>, було розроблено пристрій на базі бурового станка ЕБПП - 1М, який розміщують на ТС РО ПК і пристрій для буріння шпурів під анкерне кріплення її покрівлі, який після закінчення циклу проведення підготовчої виробки шляхом механічного руйнування вибою теж закріплюють на ТС РО ПК. Для більш ефективного буріння шпурів і свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних було розроблено ефективний породоруйнівний інструмент (коронку) бурового станка.

При розробці ефективного способу проведення підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту агрегатним ПК для розрахунку кількості дегазаційних, розвантажувальних та нагнітальних шпурів і свердловин методом математичного моделювання були встановлені залежності, які підтвердилися результатами гірничо-експериментальних досліджень, проведених в шахтних умовах.

## **3. Результати та обговорення**

### **3.1 Розробка пристрою для механізованого буріння шпурів або свердловин для агрегування прохідницького комбайну**

Важливими вимогами для розробки пристрою для механізованого буріння шпурів або свердловин у викидонебезпечному вугільному пласті при проведенні в ньому підготовчих пластових виробок є мінімальні фізичні затрати для здійснення його монтажу у вибої виробки і можливість здійснювати процес буріння в будь-якому місці поверхні вибою площиною в перерізі не менше ніж 20 м<sup>2</sup> по гірським породам міцністю  $f = 6-8$  по шкалі проф. М.М. Протод'яконова.

Таким вимогам відповідає пристрій, який розміщений на ТС ПК з можливістю переміщуватись сумісно із стрілою по осі виробки і прокручуватись навколо перпендикулярної і паралельної осі ТС ПК на 360°.

Авторами статті розроблена конструкція пристрою на базі бурового станка ЕБГП - 1М конструкції Конотопського машзаводу, в якому за рахунок оснащення бурового свердла хомутом, стояком і двухвилковим кронштейном забезпечується можливість здійснювати процес буріння в будь-якому місці поверхні вибою виробки, яку проводять, і в будь-якому напрямку щодо її осі. Таке рішення дає можливість породоруйнівному інструменту (далі ПІ) (коронці), який закріплений на буровій штанзі, здійснювати шість ступенів вільності: переміщуватись щодо осі виробки (вперед-назад, вправо-вліво і вверх-вниз), обертатись (провертатись) навколо осі ТС і РО ПК, обертатись (провертатись) навколо осі стояка і навколо осі кронштейнових вилок у площині бурової штанги.

На Рис. 1 показано пристрій для механізованого буріння шпурів або свердловин у викидонебезпечному вугільному пласті, який розміщений на ТС РО ПК.

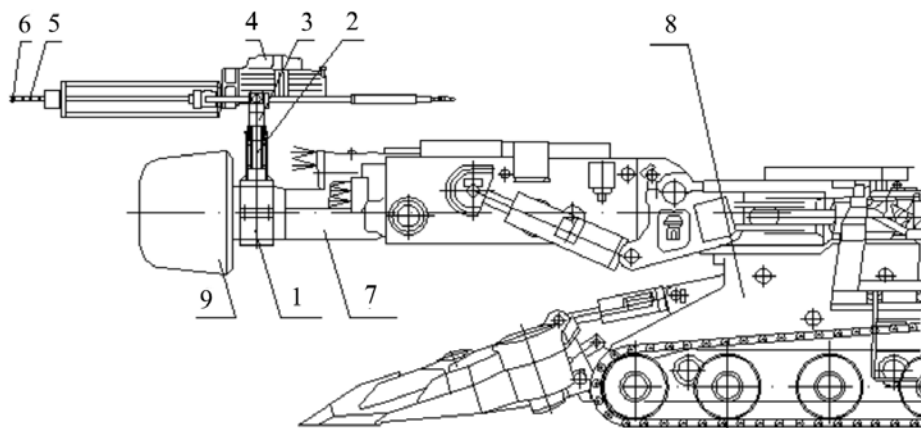


Рис. 1. Пристрій для механізованого буріння шпурів або свердловин у викидонебезпечному вугільному пласті, який розміщений на телескопній стрілі робочого органа прохідницького комбайна [3]

Пристрій складається із хомута 1, стояка 2, жорстко закріпленого на хомуті 1, двухвилкового кронштейна 3, закріпленого на стояку 2 з можливістю проворота навколо його осі, бурового станка 4 з буровою штангою 5 та породоруйнівним інструментом 6, закріпленого на двухвилковому кронштейні 3, з можливістю проворота навколо осі кронштейнових вилок. Пристрій хомутом 1 закріплюють на телескопній частині ТС 7 ПК 8 позаду його РО 9.

У сукупності по своїх відмітних ознаках пристрій для механізованого буріння шпурів або свердловин у викидонебезпечному вугільному пласті при проведенні в ньому підготовчих пластових виробок ПК з РО на ТС забезпечує новий технічний результат – можливість ПІ здійснювати найбільш можливий варіант ступенів вільності (шість), чим досягається можливість вести механізоване буріння шпурів або свердловин у будь-якому місці поверхні виробки, яку проводять і в будь-якому напрямку щодо її осі [3].

### 3.2 Розробка породоруйнівного інструменту обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних

Для буріння шпурів або свердловин у гірських породах (далі ГП) середньої міцності та міцних було визначено, що найбільш простим і надійним способом підвищення інтенсивності і одночасне зниження енергоємності є обертально-вібронавантажний спосіб, який здійснюється без використання додаткових енергоносіїв. В процесі буріння ГП таким способом здійснюють одночасне саморегулююче чисто механічне вібронавантаження на вибій шпуру або свердловини як в осьовому напрямку, так і в площині прикладання обертального моменту.

Автори статті удосконалили пристрій обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин в ГП середньої міцності та міцних, в якому нові конструктивні елементи

дозволяють забезпечити технічний результат – інтенсифікацію процесу обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин в ГП середньої міцності та міцних.

На Рис. 2 зображений пристрій для обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин в ГП середньої міцності та міцних [4].

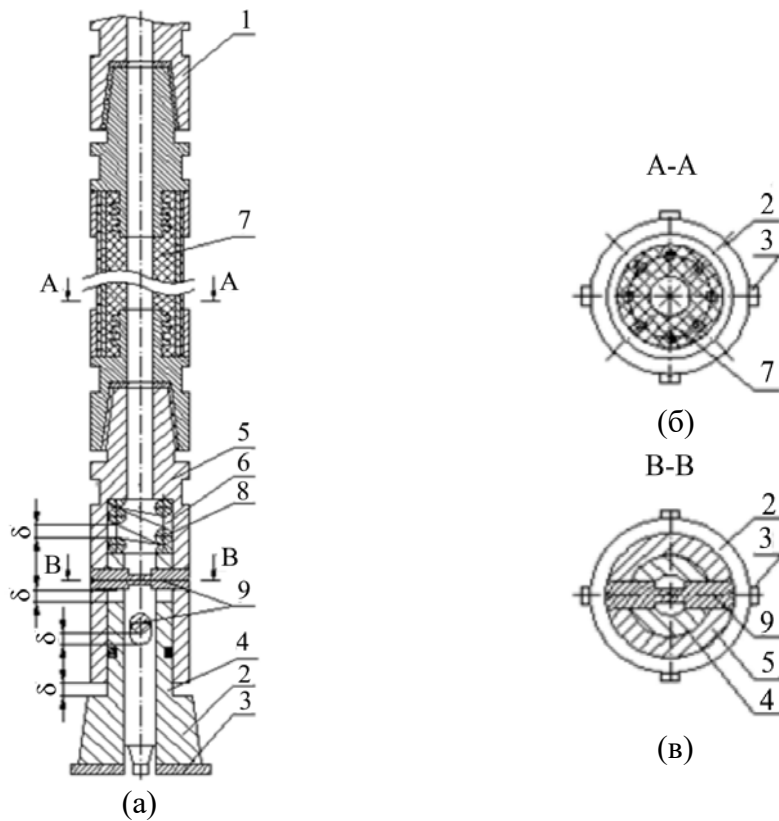


Рис. 2. Пристрій для обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин в ГП середньої міцності та міцних: а – осьовий переріз; б – переріз у площині А – А; в - переріз у площині Б – Б [4].

Пристрій складається з бурової штанги 1, ПП 2; з твердосплавними пластинами 3, що армують його робочу поверхню, і хвостовиком 4, жорсткого перехідника 5 з осью порожниною 6, якою він насунутий на хвостовик 4, по ковзній посадці і механічно з'єднаний з ним з можливістю передачі йому обертального моменту, осевого переміщення в порожнині 6 і осевого зусилля, перехідника у вигляді пружної труби (далі ПТ) 7 із матеріалу, що має межу міцності при крутінні меншу ніж у жорсткого перехідника 5 і джерела осевого вібронавантаження у вигляді сталеві пружини (далі СП) 8. ПТ 7 соосно і жорстко з'єднана одним кінцем з жорстким перехідником 5, другим – з буровою штангою 1 і має можливість закручуватися відносно осі бурової штанги в протилежному напрямку прикладання обертального моменту на кут не більше ніж  $3^\circ$  і розкручуватися до  $0^\circ$ , а СП 8, що розміщена в порожнині 6 жорсткого перехідника 5, стикована з торцем хвостовика 4, попередньо підтиснута і має можливість бути повністю дотиснутою і розтиснутою не більш ніж на 3,0 мм. Найбільш простіше механічне з'єднання жорсткого перехідника 5 з хвостовиком 4 є двупальцеве з'єднання 9, яке приведене на Рис. 2а і 2в.

ПТ необхідна для здійснення вібронавантаження на ПП в площині прикладання обертального моменту. СП, що стикована з торцем хвостовика ПП, необхідна для здійснення вібронавантаження на ПП в осевому напрямку, тобто в напрямку вибою шпура або свердловини.

Відомо, що ГП – це крихкий матеріал з різною міцністю. Станки для буріння ГП середньої міцності та міцних, що здійснюють обертальний спосіб буріння, завжди мають чіткі технічні

параметри при бурінні в конкретній ГП: постійне зусилля механічного осьового притискання ПІ до вибою шпуру або свердловини і прикладання обертального моменту до ПІ. В процесі буріння ці параметри повинні дорівнювати межі міцності ГП відповідно на стиск і зсув.

У розробленому пристрої повне зусилля стискання СП 8, яка здійснює осьове вібронавантаження на ПІ (2-4) дорівнює межі міцності ГП на стиск при впровадженні в неї ПІ (2-4), а обертальний момент закручування ПТ 7 до  $3^\circ$  в напрямку протилежному відносно обертального моменту бурової штанги 1, яка здійснює вібронавантаження на ПІ (2-4) в площині прикладання обертального моменту і дорівнює межі міцності ГП на зсув по всій площині вибою шпуру або свердловини.

Математична модель розрахунку кількості циклів руйнування ГП на вибої шпуру або свердловини при бурінні пристроєм має вигляд

$$z = \frac{\pi \cdot D}{b}, \quad (1)$$

де  $z$  – кількість циклів руйнування ГП, шт.;  $D$  – зовнішній діаметр шпуру або свердловини, м;  $b$  – геометричний розмір продуктів руйнування, м.

Використовуючи залежність(1), знайдено максимальний кут закручування ПТ пристрою за формулою

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot b}{\pi \cdot D} \quad (2)$$

де  $\alpha$  - максимальний кут закручування ПТ 7 розробленого пристрою, град.

По даним [5] прикладання до вибою шпуру або свердловини нормального або дотикового навантаження змінює характер напруженого стану ГП в привибійній зоні. Замість всебічного стискання виникає неоднорідний напружений стан, який характеризується зонами стиснення, розтягування і перехідною зоною, в якій діють напруження як стиснення, так і розтягування. Найбільшого значення напруження в ГП середньої міцності досягають на лінії дії рівнодійних вертикальних та горизонтальних сил на відстанях 0,5-1,0 мм від площини вибою шпуру або свердловини, а на поверхні вибою - на відстані 1,0-2,5 мм від точки контакту передньої грані різця ПІ з ГП. З цього чинника зроблено висновок, що геометричний розмір продуктів руйнування ГП середньої міцності в 6 одиниць по шкалі проф. М.М. Протод'яконова при бурінні обертальним способом свердловин діаметром  $45^\circ$  мм дорівнює 1,15 мм - 1,2 мм, в середньому  $b = 1,17$  мм.

Значення  $D = 0,45$  мм,  $b = 1,17$  мм, було підставлено у залежність (2) і знайдено максимальний кут закручування  $\alpha = 3^\circ$ .

Початок руйнування ГП на вибої шпура або свердловини розробленим пристроєм здійснюється дотисканням СП 8 до повного стискання на відстань до 3,0 мм, а кінець руйнування - розтисканням СП 8 і додатковим впровадженням ПІ (2-4) у вибій шпура або свердловини. Також до 3,0 мм за рахунок більшої швидкості розтискання СП 8 на ПІ (2-4) в порівнянні з швидкістю прикладання осьового притискання буровою штангою 1 розробленого пристрою до вибою шпуру або свердловини. СП 8 в пристрої діє миттєво, наприклад, як порох, що загорівся у патроні вогнепальної зброї, а бурова штанга має інерційність дії на ПІ (2-4), тому в кінці руйнування ГП на вибої шпуру або свердловини у розробленому пристрої передбачено розтискання СП 8 на відстань  $\delta$ , яка дорівнює не більше 3,0 мм (см. Рис. 2а). Таким чином, за кожний період руйнування ГП на вибої шпура або свердловини здійснюється додаткове впровадження ПІ в ГП, яке може дорівнювати до 3,0 мм, що збільшує швидкість буріння і його ефективність.

Новий технічний результат у розробленому пристрої – інтенсифікація процесу обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин в ГП середньої міцності та міцних шляхом підвищення швидкості буріння і зменшення енергоємності процесу, які досягаються одночасністю і саморегулюванням механічного вібронавантаження на ПІ пристрою в процесі буріння як в осьовому напрямку, так і в площині прикладання обертального моменту без використання додаткових енергоносіїв.

Етапи руйнування ГП на вибою шпура або свердловини автоматично регулюють етапи вібронавантаження на ПП пристрою завдяки динамічним властивостям ПТ 7 і СП 8 без використання додаткового енергоносія.

Подача промивної рідини під тиском 3,0 - 5,0 МПа на вибій шпура або свердловини в процесі подвійного одночасного саморегулюючого вібронавантаження на ПП пристрою зменшує його тертя по вибою, що збільшує його зносостійкість.

### 3.3 Розробка способу і технології проведення підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту агрегатним ПК

Для розробки ефективного способу проведення підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту агрегатним ПК було проведено аналіз відомих способів [1, 2, 6, 7]. Проте недоліком цих способів є те, що вони не передбачають заходів проти ГДЯ, тому є небезпечними. Крім того, слід відзначити, що добуве проведення підготовчої виробки цими способами - не більше 3 м.

Теорія раптових викидів вугілля та газу у вироблений простір (виробку) твердить, що для запобігання ГДЯ достатньо здійснити одне із слідуєчих умов:

- зменшити напружений стан газоносного вугільного масиву;
- знизити тиск газу в пласту (зменшити газоносність масиву);
- змінити властивості пласта [8].

Авторами вирішена задача створення способу, який значно підвищує безпеку проведення підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту ПК. Розроблений спосіб включає процеси попереднього буріння дегазаційних, розвантажувальних та нагнітальних шпурів в площині вибою виробки, нагнітання рідини у нагнітальні шпури, збір газу, що виділився в процесі нагнітання із дегазаційних та розвантажувальних шпурів у газозбірник і наступне проведення виробки шляхом механічного руйнування гірських порід на вибої ПК. Кількість дегазаційних та розвантажувальних шпурів визначають за математичними залежностями, які забезпечують при герметизації виробки на відстані не менше ніж 30 м від вибою при завершенні процесу нагнітання рідини у нагнітальні шпури одночасне досягання показників: залишкового вмісту газу в атмосфері герметичної частини виробки не більш ніж 1 % і величини деформації розвантажувальних шпурів не менше ніж на 20 % від їх початкового діаметру.

Дегазаційні шпури бурять в кількості, яку визначають за залежністю

$$n_{deg} = k_{deg} \frac{G \cdot S}{D_{deg} \cdot t_{inj} \cdot V}, \quad (3)$$

де:  $G$  – газоносність вугільного пласта, м<sup>3</sup>/кг;  $S$  – площа вибою виробки, м<sup>2</sup>;  $D_{deg}$  – діаметр дегазаційних шпурів, м;  $t_{inj}$  – тривалість нагнітання рідини у нагнітальні шпури, с;  $V$  – об'єм рідини, яку нагнітили у вугільний пласт, м<sup>3</sup>;  $k_{deg}$  – коефіцієнт пропорційності, кг·с/м. Розвантажувальні шпури бурять в кількості, яку визначають за залежністю

$$n_{rel} = k_{rel} \frac{f}{\gamma \cdot H \cdot D_{rel} \cdot t_{inj}}, \quad (4)$$

де:  $f$  – коефіцієнт міцності гірських порід за шкалою М.М. Протодьяконова;  $\gamma$  – питома вага гірських порід, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – відстань від поверхні, на якій проводять підготовчу виробку, м;  $D_{rel}$  – діаметр розвантажувальних шпурів, м;  $t_{inj}$  – тривалість нагнітання рідини у нагнітальні шпури, с;  $k_{rel}$  – коефіцієнт пропорційності, кг·с/м [9].

Дегазаційні шпури бурять по контуру вибою, розвантажувальні – горизонтально знизу площини вибою, нагнітальні - в центрі. Перед нагнітанням рідини у нагнітальні шпури у виробці перпендикулярно її осі на відстані від вибою не менше ніж 30,0 м споруджують герметичну стіну. В ній монтують вакуум-насос, який з'єднують з установкою утилізації газу, що виділиться з поверхні вибою, дегазаційних та розвантажувальних шпурів, підосви, покрівлі і боків виробки. Змінні параметри ( $D_{deg}$ ,  $D_{rel}$ ), що входять у формули (3, 4) приймають такими, що при визначенні необхідної тривалості нагнітання рідини у нагнітальні

шпури досягаються безпечні стабільні і одночасні показники: залишковий вміст газу в атмосфері виробки не більш ніж 1% і величина деформації розвантажувальних шпурів не менше ніж 20% від їх початкового діаметру.

Газозбірник – це простір між поверхнею вибою виробки і герметичною стіною, яку споруджують перпендикулярно осі виробки на відстані від вибою виробки не менше ніж 30 м [9].

На Рис. 3 зображені схема розміщення обладнання для здійснення способу проведення підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту ПК. Схема складається з ПК 1, бурового станка 2, який розміщений на ТС 3 ПК 1, пристрою гідроімпульсної дії 4, високонапірної насосної установки 5, гнучкого високонапірного рукава 6, пульта керування режимом нагнітання води у вугільний пласт 7, герметичної стіни 8, вакуум-насоса 9, установки утилізації газу 10, що виділяється із поверхні вибою, дегазаційних 11, розвантажувальних 12 і нагнітального 13 шпурів, підосви 14, покрівлі 15 і боків 16 виробки, газоаналізатора 17, деформометра 18, дистанційного індикатора 19 газоаналізатора 17 і дистанційного індикатора 20 деформометра 18. Виробка обладнана вентиляційним трубопроводом 21 і протипожежним трубопроводом 22, які підведені до герметичної стіни 8.

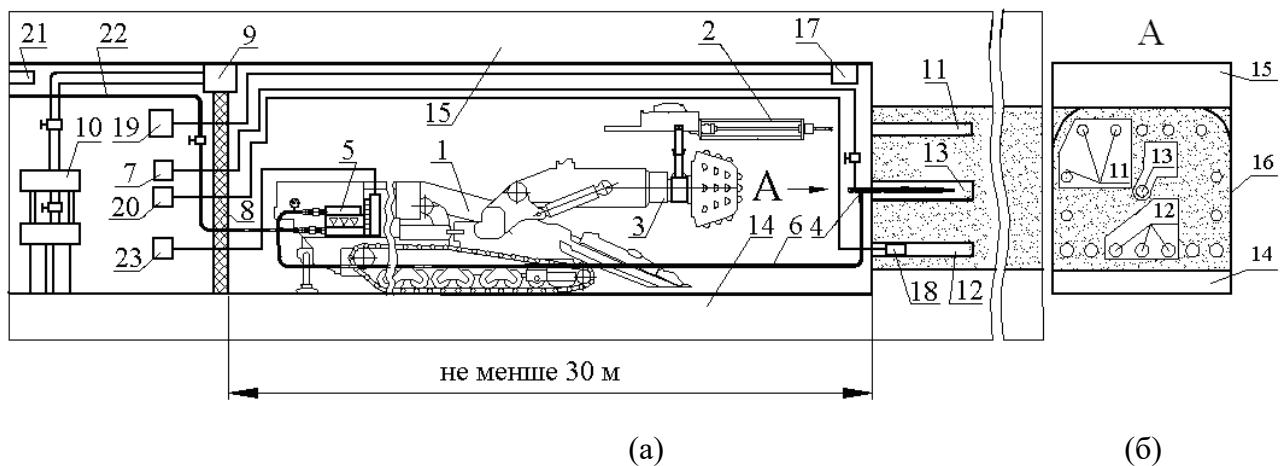


Рис. 3. Схема розміщення обладнання для здійснення способу проведення підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту прохідницьким комбайном: а - в площині підготовчої виробки; б - вид А (розміщення дегазаційних, розвантажувальних та нагнітального шпурів у площині вибою) [9]

На виді А (Рис. 3.б) зображений вибір підготовчої виробки, на якому показано дегазаційні шпури 11, розвантажувальні шпури 12, нагнітальний шпур 13, підосва 14, покрівля 15, і боки виробки 16.

На Рис. 3.а зображена схема розміщення бурового станка 2 [5] перед бурінням дегазаційних 11, розвантажувальних 12 та нагнітального 13 шпурів.

Новий технічний результат – підвищення рівня безпеки при проведенні підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту ПК, забезпечується здійсненням всіх трьох теоретично можливих умов запобігання ГДЯ шляхом попереднього буріння комплекту дегазаційних, розвантажувальних та нагнітального шпурів у визначених кількостях та схемі їх розміщення по поверхні вибою, які пропонуються авторами, перед імпульсним гідророзпушуванням привибійної частини пласта, а також спорудженням герметичної стіни у виробці на відстані не ближче ніж 30 м від вибою, одночасним відкачуванням газу із-за герметичної стіни до безпечного рівня та створенням величини деформації розвантажувальних шпурів не менше ніж на 20 % від їх початкового діаметру і вмісту метану у загерметизованій зоні не більше ніж 1 %.



Для визначення кількості дегазаційних 11 та розвантажувальних 12 шпурів, на шахті «Краснолиманська» ДП «Краснолиманська» авторами були проведені гірничо-експериментальні дослідження з використанням розробленого способу. Технічні умови були наступні: глибина залягання газоносного викидонебезпечного вугільного пласта  $H = 611$  м; марка вугілля – Ж; газоносність  $G = 59 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; питома вага вугілля  $\gamma = 2500$  кг/м<sup>3</sup>; коефіцієнт міцності вугілля по М.М. Протод'яконову  $f = 3$ ; потужність пласта  $H = 1,7$  м; площа поверхні вибою  $S = 16$  м<sup>2</sup>; діаметр дегазаційних 11 шпурів  $D_{deg} = 0,045$  м; діаметр розвантажувальних 12 шпурів  $D_{rel} = 0,05$  м; діаметр нагнітального 13 шпура  $D = 0,042$  м; кількість розвантажувальних 12 шпурів  $n_{rel} = 10$  шт.; кількість дегазаційних 11 шпурів  $n_{deg} = 10$  шт.; параметри нагнітання: продуктивність високонапірної насосної установки 5 УН-35 Q =  $0,58 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с; пристрій гідроімпульсної дії 4 на вугільний пласт – ПГД-0,1 конструкції Інституту геотехнічної механіки НАН України (далі ІГТМ НАНУ) з кавітаційним генератором гідроімпульсного тиску рідини, яку нагнітають у вугільний пласт; тиск нагнітання рідини у вугільний пласт  $P = 25$  МПа. Один розвантажувальний центральний шпур 12 був обладнаний деформометром шпура 18 конструкції ІГТМ НАНУ, відрегульований на 20 % деформацію стінок шпура, а у вибої виробки була розміщена апаратура автоматичного контролю метану АКМ 17, яка відрегульована на видачу видимого і звукового сигналу при перевищенні 1 % вмісту газу в атмосфері привибійної частини виробки. Дистанційний індикатор 19 АКМ 17 був розміщений біля високонапірної установки 5.

Крім цього, у вибої виробки знаходився прохідницький комбайн КСП – 32М. Виробка була оснащена прогнозною апаратурою АК – 1, яка розміщувалась на поверхні шахти в приміщенні служби прогнозу викидонебезпечності і підключена до лінії зв'язку з підземним блоком звукоуловлюючої апаратури ЗУА, що закріплювався на боці 16 виробки на відстані 2.0 м від вибою.

До проведення горно-експериментальних робіт прохідницьким комбайном 1 було пройдено 1.0 м виробки механічним способом без використання заходів проти ГДЯ. Прогнозний безрозмірний показник викидонебезпечності  $K_v$  дорівнював 3,2. При  $K_v \geq 3$  вугільний пласт є викидонебезпечний [10].

Після закінчення нагнітання води у вугільний пласт прохідницький комбайн 1 КСП–32М був переміщений у вибій виробки для подальшого механічного руйнування гірських порід на вибої (проведення виробки). В самому початку руйнування був здійснений прогноз викидонебезпечності вугільного пласта по амплітудно-частотним характеристикам акустичного сигналу звукоуловлюючої апаратури ЗУА. Прогнозний безрозмірний показник викидонебезпечності  $K_v$  дорівнював 0,8. Це підтверджує те, що вугільний пласт став викидобезпечним.

Результати досліджень: дистанційний індикатор 19 АКМ 17 показав, що початковий вміст газу в атмосфері привибійної частині виробки складав 0,05 %, після 1800 с нагнітання рідини у нагнітальні шпури 13 вміст газу складав 8,5 %, а після 3600 с – 1 %, а індикатор 20 деформометра 18 показав 20 % деформацію стінок розвантажувального шпура 12 від його початкового діаметру.

Підставив технічні і фізичні показники, які були отримані під час цих шахтних досліджень, в формули 3 і 4, було визначено коефіцієнти пропорційності  $k_{deg} = 3604$  кг·с/м, а  $k_{rel} = 917 \cdot 10^6$  кг·с/м.

На думку авторів ці коефіцієнти являються універсальними і можуть бути використаними для визначення кількості дегазаційних і розвантажувальних шпурів і в інших гірничотехнічних умовах.

В теперішній час підготовчі виробки в газоносному викидонебезпечному вугільному пласту прохідницьким комбайном проводяться виключно струсним способом. Цей спосіб здійснюють наступним чином: електричним ручним станком СЕР–19М бурять вибухові шпури по поверхні вибою виробки, заряджають їх зарядами вибухових речовин, виводять робітників на безпечну відстань від вибою виробки і здійснюють вибух у вугільному пласту.

Глибина буріння вибухових шпурів – 3,0 м. Після вибуху провітрюють виробку, подають прохідницький комбайн у вибій і тільки тоді здійснюють подальше проведення виробки комбайном. Всі ці процеси займають не менше 20 годин. З урахуванням часу на ремонт комбайна та кріплення виробки максимальне добове проведення виробки складає 3,0 м.

Впровадження способу [9] забезпечить збільшення добового проведення підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту прохідницьким комбайном до 6,0–7,0м.

Для здійснення розробленого способу можна використовувати механізоване буріння комплекту шпурів по [3], яке може здійснити буріння шпурів на глибину до 15,0 м, а для дегазації привибійної частини виробки і зменшення її напруженого стану шляхом гідророзпушування – високонапірну гідроустановку і пристрій управління гідроімпульсною дією на вугільний пласт [11].

### **3.4 Розробка способу механізованого буріння шпурів для анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки**

В основу розробки способу поставлена задача удосконалення пристрою механізованого буріння шпурів для анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки.

Недоліком існуючого способу комбайнового проведення підготовчої виробки у гірських породах, схильних до ГДЯ з анкерним кріпленням покрівлі проведеної виробки [12] є те, що буріння шпурів під монтаж анкерів здійснюють вручну.

Відомий спосіб комбайнового проведення підготовчої виробки у гірських породах схильних до ГДЯ з пристроєм для механізованого буріння шпурів або свердловин на вибої виробки[9]. Але недоліком цього способу є те, що він не може здійснювати механізоване буріння шпурів для анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки тому, що пристрій для механізованого буріння комплекту розвантажувальних, дегазаційних та нагнітальних шпурів не може зайняти положення, яке було б перпендикулярне осі телескопної стріли прохідницького комбайна через значні розміри хвостової частини бурового пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для механізованого буріння шпурів для анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки використовують виключно без хвостової частини. Розміщують його на ТС РО ПК в тому самому місці, де був розміщений пристрій для механізованого буріння комплекту розвантажувальних, дегазаційних та нагнітальних шпурів.

Після закінчення буріння комплекту шпурів і проведення заходів для запобігання ГДЯ знімають пристрій для механізованого буріння комплекту шпурів і здійснюють проведення виробки шляхом механічного руйнування вибою виробки робочим органом на телескопній стрілі комбайна.

Після закінчення циклу проведення підготовчої виробки шляхом механічного руйнування її вибою, як показано на Рис. 4, на вилках 24 кронштейна 25 закріплюють стакан 26 з пристроєм 27 для буріння шпурів (28) під анкерне кріплення покрівлі (15) виробки, наприклад, бурові коронки “НА 16/500 фірми SCHMIDT, KRANZ & Co GMBH” [1, стор. 161], як показано на Рис. 5 (а).

Шпури (28) під анкерне кріплення покрівлі (15) виробки, бурять у площині, яка перпендикулярна осі проведеної виробки і поверхні її покрівлі (15), як показано на Рис. 5 (б).

Технічний результат – значне підвищення рівня надійності і безпеки функціонування підготовчої гірничої виробки з механізованим анкерним кріпленням її покрівлі за весь період її експлуатації.

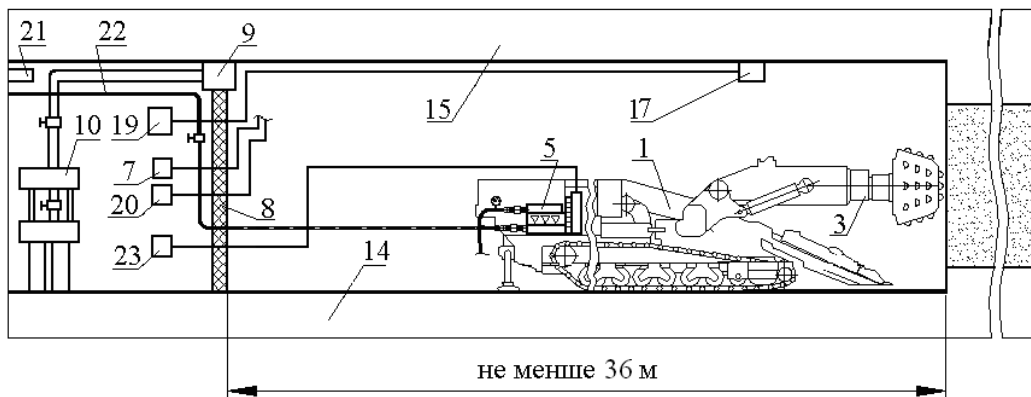


Рис. 4. Схема розміщення прохідницького комбайна в підготовчій виробці після закінчення циклу механічного руйнування її вибою

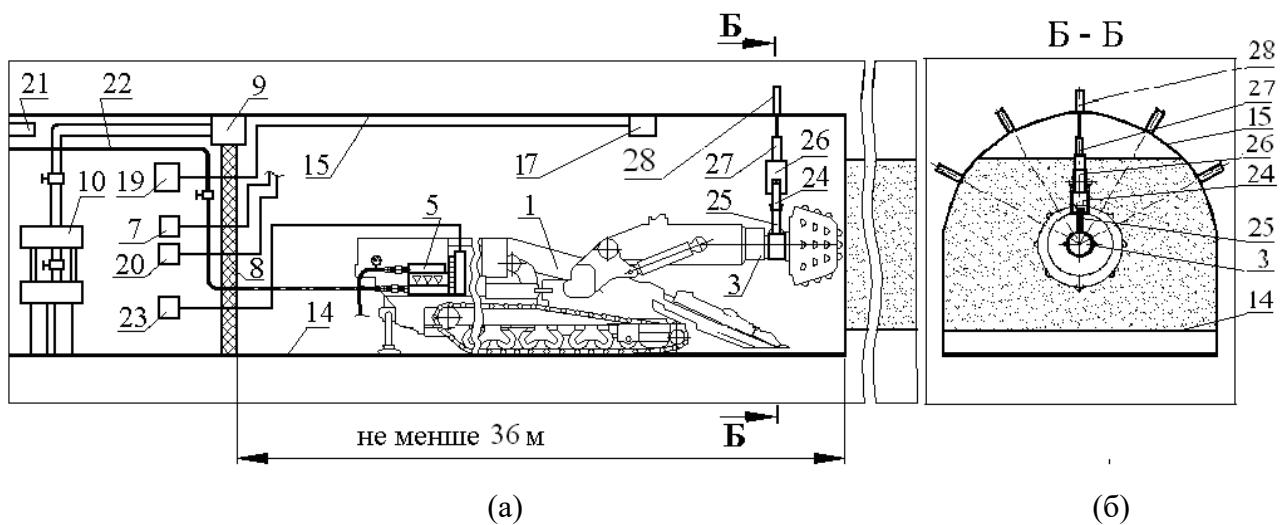


Рис. 5. Схема розміщення обладнання для здійснення способу механізованого буріння шпурів під анкерне кріплення покрівлі проведеної виробки: а – в площині підготовчої виробки; б – розріз Б-Б (в площині, яка перпендикулярна осі проведеної виробки і поверхні її покрівлі)

#### 4. Висновки

Розроблено агрегатний прохідницький комплекс, спосіб механізованого буріння шпурів для анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки і технологію для комбайнового проведення підземних підготовчих виробок у гірських породах, схильних до газодинамічних явищ. Прохідницький комплекс складається із прохідницького комбайна П – 110 конструкції ВАТ “Краматорський машзавод” і пристрою, який розроблено ІГТМ НАНУ на базі бурового станка ЕБГП–1М конструкції Конотопського машзавода, для механізованого буріння шпурів або свердловин у викидонебезпечному вугільному пласті при проведенні в ньому підготовчих пластових виробок. На комбайні розміщена високонапірна насосна установка УН-35 конструкції Теплогірського заводу гідрообладнання з пристроєм гідроімпульсного нагнітання води у газонасичений вугільний пласт конструкції ІГТМ НАНУ для його гідророзпушування. Для здійснення обертально-вібронавантажного буріння шпурів пристрій оснащений породоруйнівним інструментом (коронкою) конструкції ІГТМ НАНУ. Також розроблено технологію проведення підземних підготовчих виробок по газоносним викидонебезпечним вугільним пластиам і породам, яка включає попереднє буріння дегазаційних, розвантажувальних та нагнітальних шпурів в площині вибою виробки, нагнітання рідини у нагнітальні шпури і наступне проведення виробки шляхом механічного

руйнування гірських порід на вибої комбайном. Дегазаційні і розвантажувальні шпури бурять в кількості, яку визначають за формулами (3 і 4, наданих у розділі 3.3). Дегазаційні шпури бурять по контуру вибою, розвантажувальні – горизонтально внизу поверхні вибою, нагнітальні – в центрі. Тривалість нагнітання рідини у нагнітальні шпури визначають часом досягнення безпечних стабільних і одночасних показників залишку вмісту газу у вибої не більш ніж 1% і величини деформації розвантажувальних шпурів, яка дорівнює не менше ніж 20% від їх початкового діаметру.

Висновок – розроблені агрегатний прохідницький комплекс, технологія для комбайнового проведення підземних підготовчих виробок і спосіб механізованого буріння шпурів для анкерного кріплення покрівлі проведеної виробки можуть бути рекомендовані для впровадження у гірничу вуглевидобувну галузь для проведення підземних підготовчих виробок по викидонебезпечним вугільним пластам і породам.

### Список літератури

1. Минеев, С.П., Рубинский, А.А. (2007). Проведение выработок проходческими комбайнами по выбросоопасным угольным пластам и породам. Днепропетровск: Дніпро
2. Минеев, С.П. (2018). Опыт вскрытия выбросоопасного угольного пласта проходческим комбайном на шахте “Краснолиманская”. *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць*, 140, 106 – 117
3. Ангеловський, О.А., Чугунков, І. Ф., Антончик, В.Є. та ін. (2013). Пристрій для механізованого буріння шпурів і свердловин у викидонебезпечному вугільному пласті при проведенні в ньому підготовчих пластових виробок прохідницьким комбайном з робочим органом на телескопній стрілі. Патент No 104681, Україна
4. Антончик, В.Є., Уколова, Т.М., Васильєв, Л.М. та ін. (2013). Спосіб і пристрій обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних порід. Патент No 121338, Україна
5. Сологуб, С.Я. (1975). Исследование процессов, совершенствование и разработка новых технических средств разрушения горных пород средней крепости и крепких при вращательном бурении: автореферат д-ра техн. наук, Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины, Днепропетровск, Украина
6. Лаухін, О.І., Держинський, В.О., Титаренко, О.І. та ін. (2019). Гірничопрохідницький комбайн. Патент No 133304, Україна
7. Волошин, О.І., Лаухін, О.І., Держинський, В.О. та ін. (2020). Прохідницький комбайн. Патент No 140864, Україна
8. Николин, В.И., Васильчук, М.П. (1997). Прогнозирование и устранение выбросоопасности при разработке угольных месторождений. Липецк: Липецкое издательство Роскомпечати
9. Трохимець, М.Я., Мальцева, В.Є., Вялушкін, Є.О. та ін. (2018). Спосіб проведення підготовчої виробки по газоносному викидонебезпечному вугільному пласту прохідницьким комбайном. Патент 122179, Україна
10. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. СОУ 10.100174088.011(2005). Київ: Мінвуглепром України
11. Васильєв, Л.М., Усов, О.О., Потапенко, О.О. та ін. (2012). Пристрій управління гідроімпульсною дією на вугільний пласт. Патент 68355, Україна
12. Булат, А.Ф., Виноградов, В.В. (2002). Опорно-анкерне кріплення. Дніпропетровськ: «Вільпо»

### References

1. Minieiev, S.P., Rubynscy, A.A. (2007). *Provedenie vyrabotok prokhodcheskimi kombainami po vybrosopasnym ugolnym plastam*. Dnepropetrovsk:Dnipro
2. Minieiev, S.P. (2018). The experience of opening of the prone-to-outburst coal bed in the “Krasnolimanskaya” mine by the tunneling machine. *Geo-Technical Mechanics*, 140, 106-117.

3. Potapenko, O., Anhelovskiy, O., Vasylev, D., Trokhymets, M., Nykyforov, O., Chuhunkov, I., Antonchuk, V., Vasylev, L., Vialushkin, Ye. (2006). *Prystryi dlia mekhanizovanoho burinnya shpuriv i sverdlovin u vykydonebezpechnomu vuhilnomu plasti pry provedenni v nomu pidhotovchyykh plastovyykh vyrobok prokhidnytskym kombaynom z robochym orhanom na teleskopniy strili*. Patent № 104681, Ukraine
4. Antonchuk, V.Ye., Ukolova, T.M., Vasyliiev, L.M. and other (2013). *Sposib i prystryi obertalno-vibronavantazhnogo burinnia shpuriv abo sverdlovin u hirskykh porodakh serednoi mstsnosti ta mitsnykh porid*. Patent № 121338, Ukraine
5. Sologub, S.Ya.(1975) *Issledovanie protsessov, sovershenstvovanie i razrobotka novykh tekhnicheskikh sredstv razrusheniya gornyykh porod srednei kreposti i krepkiykh pri vrashchatelnom burenii*. Abstrac of PhD in Technical Sciences thesis, Institute of Geotekhnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Sciences of Ukraine
6. Laukhin, V.I., Dzerzhynskiy, V.O., Tytarenko, O.I. and other (2019). *Hirnichoprokhidnytskyy kombain*. Patent № 133304, Ukraine
7. Voloshyn, O.I., Laukhin, O.I., Dzerzhynskiy, V.O. and other (2020). *Prokhidnytskyy kombain*. Patent № 140864, Ukraine
8. Nykolyn, V.I., Vasylchuk, M.P. (1997). *Prognozirovanie i ustranenie vybrosoopasnosti pri razrobotke ugolnykh mestorozhdeniy*. Lipetsk: Lipetskoe izdatelstvo Roskompechati
9. Trokhimets, M.Ya., Maltseva, V.Ye., Vialushkin, O.Ye. and other (2018). *Sposib provedenia pidhotovchoi vyrobki pogazonosnomu vykidonebezpechnomu vugilnomu plastu prokhidnytskym kombainom*. Patent № 122179, Ukraine
10. SOU 10.100174088.011 (2005). *Pravila vedennia hirnichikh robit na plastakh skhlynykh do gazodinamicheskikh yavlyshch*. Kyiv:Minvuhleprom Ukrainy
11. Vasilev, L.M., Usov, O.O., Potapenko, A.A. (2011). *Prystryi upravlinnya gidroimpulsnoyu diyeyu na vugilniy plast*. Patent No 68355, Ukraine
12. Bulat, A.F., Vinogradov, V.V. (2002). *Oporno-ankerne kriplennya*. Dnipropetrovsk: “Vilpo”