**СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ЩОДО ВИНИКНЕННЯ ГАЗОВИХ ПОКЛАДІВ
У ПІДРОБЛЕНИХ ВУГЛЕПОРОДНИХ МАСИВАХ**

Мета. Метою роботи є аналіз кількості газу при дегазації вугільних пластів. Результати спостережень за роботою дегазаційних свердловин, пробурених з поверхні діючих вугільних шахт, свідчать про те, що до підходу очисних робіт газовиділення в свердловині практично не спостерігається і тільки в окремих випадках в усті свердловин відзначені сліди метану з концентрацією 5-10%. Як в першому, так і в другому випадках швидкості дренажування метану в свердловині різко зростають, коли газоприймаюча частина цієї свердловини потрапляє в зону впливу гірничих робіт, межі якої визначаються поточним станом максимуму опорного тиску в просторі вміщувального гірського масиву.

Методи. Використовувався метод аналізу та узагальнення інформації щодо сучасного стану вугільної промисловості України при розгляді родовища, як газовугільного. В даний час в Україні щорічні викиди метану в атмосферу становлять близько 20-50 млн.м³ на кожен 1 млн.тонн видобутого вугілля. Якщо додатково врахувати неконтрольовану емісію метану на поверхню в межах гірничих відводів закритих шахт, а також при розгазуванні шахт після раптових викидів, то ця цифра буде значно більшою. Усі ці явища і призводять до необхідності корисного використання шахтного метану.

Наукова новизна. Висока температура згоряння метану, постійна потреба країни в цьому газі і його ціна на світових ринках вказують на доцільність використання шахтного метану як енергоносія. На прикладі досвіду закордонних та українських шахт розглянуто способи видобутку та використання шахтного метану.

Практична значимість дослідження, що планується виконати, дозволить узагальнити інформацію щодо пошуку зон активного скупчення метану, задля подальшого використання.

Результати. Сформульовані основні задачі дослідження технологій управління процесами видобування метану задля промислового використання та збільшення безпеки видобування вугілля.

Ключові слова: вугільна промисловість, метан, колектори, газове родовище, дегазація, гірський тиск.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-3-9

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Сучасні вугільні шахти спочатку проектувалися як монопідприємства, орієнтовані на виробництво одного виду продукції - кам'яного вугілля. Різного роду зміни в вуглепородних масивах, які проявляються при веденні гірських робіт, в тому числі у вигляді різних за інтенсивністю метановиділень в гірничі виробки, завжди розглядалися в зв'язку з цим виключно як негативні, що перешкоджають ефективному протіканню основного технологічного процесу. З поглибленням гірничих робіт ступінь впливу цих факторів зростає, а витрати на виконання заходів, спрямованих на зниження цього впливу, стають порівнянними з рівнем прибутковості вугільної шахти, що, в кінцевому підсумку, призводить до необхідності її закриття.

Найбільш вагомою складовою в сукупності негативних чинників є дренажування в гірничі виробки з вміщуючих масивів шахтного метану. У вугільних шахтах виділення метану зареєстровані після поглиблення гірських робіт із зони вивітрювання в зону газів неповітряного походження. Потужність зони вивітрювання в різних гірничо-геологічних умовах коливається в межах 100-300м, але в породах, які характеризуються підвищеною тріщинуватістю і проникністю, зменшується [1].

Існування на межі зони вивітрювання скупчень метану свідчить про наявність природного бар'єру, що перешкоджає перетокам метану в вищерозміщені шари гірських порід і далі в атмосферу. У дослідженнях, які присвячено різним аспектам боротьби, видобутку, і навіть зберігання метану, такий бар'єр має подібні назви: екран, газопупор, покривка, оболонка, бар'єр ущільнення [2-4 та ін.] та є найважливішою характеристикою газового родовища, що визначає його запаси. У роботах [2, 5] доведено можливість створення у вміщувальному вуглепородному масиві таких бар'єрів шляхом техногенного втручання. Отже, у вугільних шахтах при аналізі параметрів газоприотоків необхідно враховувати наявність у вміщувальному масиві різного роду бар'єрів - непроникних для метану зон - як штучного, так і природного походження.

Аналіз досліджень і публікацій. Для зниження негативних проявів метановиділення у вугільних шахтах виконують комплекс заходів, що спрямовані на вирівнювання коливань цього

виділення на різних етапах виробничого циклу, переміщення метану з призабійного простору в вироблене, зменшення абсолютної кількості газу, що надходить в робочі ділянки шляхом попередньої дегазації ціликів вугілля і цілих шахтних полів. При дегазації незадіяних гірничими роботами газонасичених пластів позитивні результати досягаються у випадках їх високої природної проникності (від 5 мД і вище) і в поєднанні зі способами по інтенсифікації припливу газу до дегазаційних свердловин: гідророзрив, гідророзчленування, вібраційний вплив і інші [6, 7]. В іншому випадку дегазація не дає бажаного ефекту.

Вуглепородний масив в зоні впливу гірничих робіт набуває нових властивостей. Результати, отримані шляхом порівняння фізичних властивостей порід, відібраних з керна геологорозвідувальних свердловин і безпосередньо в гірничих виробках, свідчать про те, що об'ємна щільність і коефіцієнт відкритої пористості в зоні впливу гірничих робіт істотно відрізняються від відповідних показників в неторкнутому масиві [8]. Всі без винятку результати спостережень за притоками метану в гірничі виробки або дегазаційні свердловини свідчать про те, що інтенсивність виділення метану з будь-якої ділянки газонасиченого масиву різко зростає, якщо породи цієї ділянки деформуються з розривами суцільності. Мережою тріщин, які виникли в результаті деформування, метан мігрує в вироблений простір. Утворення тріщин у вуглепородному масиві порушує в ньому сорбційну рівновагу, при цьому утворюється простір міграції вільного метану, який інтенсивно поповнюється десорбованим газом. Таким чином, визначальним у вирішенні питань газової динаміки вуглепородних масивів є урахування наслідків деформування цих масивів через техногенне втручання.

У вугільних шахтах метан, який виділився в гірничі виробки, виноситься в атмосферу заходами вентиляції. Будучи викинутим в атмосферу, метан разом з іншими шкідливими викидами сприяє посиленню "парникового ефекту", його агресивність в порівнянні з вуглекислим газом оцінена в пропорції 21:1.

До основних газомістувальних порід Донбасу відносяться вугілля і пісковики, а також в меншій мірі аргіліти, алевроліти, сланці і вапняки. За різними даними запаси метану в межах Донецького кам'яновугільного басейну оцінюються величиною порядку 20-25 трлн.м³, що дає підстави для порівняння цього басейну з провідними газовими родовищами [9, 10 і ін.]. Одним з основних показників, що визначають доцільність освоєння вугільного родовища як газового, є щільність ресурсів, а рентабельність процесу газовидобутку забезпечується в тому випадку, якщо на 1 гектар площі експлуатації доводиться не менше 0,1 млн.м³ метану. Для прикладу, щільність запасів метану в породах надвугільної товщі пласта м3, що розробляється на шахті ім. К.Ф.Засядько, коливається в межах 113-350 м³/м² [9, 11]. Однак, особливістю вугленосної товщі порід Донбасу на відміну від типових пластових газових колекторів, полягає в тому, що метан знаходиться в ній в розсіяному стані, деяка його частина адсорбована гірською породою. Якщо в пісковиках кількість вільного метану не менше 90%, то у викопному вугіллі не перевищує 10% [11, 12].

Основною причиною, яка стримує видобуток шахтного метану в Донбасі, є низька проникність газомістувальних порід - показник, що інтегрально характеризує фільтраційні властивості порід газових колекторів, з яких цей газ передбачається витягувати.

Проникність вугілля Донецького вугільного басейну коливається в межах 10⁻² - 10⁻⁴ мД, пісковиків - 10⁻⁴ - 10⁻⁶ мД [12, 13]. В цілому, вуглепородний масив Донбасу в його природному стані у розрізі уявлень, прийнятих на підприємствах нафто-і газодобувної галузі, як об'єкт газовидобутку інтересу не представляє. Практика ведення гірських робіт на вугільних пластах свідчить про те, що техногенне втручання може супроводжуватися проявами газового фактора з різними швидкостями протікання і практично непроникні масиви при певних умовах здатні віддавати значні кількості метану. Навіть при нормальному перебізі технологічного процесу деформовані навколо очисної виробки породи можуть виділяти метан в обсягах, достатніх для промислового видобутку. Доказом цього є позитивний досвід видобутку шахтного метану поверхневими свердловинами, наприклад, на шахтах ім. О.Ф.Засядька, ш/у «Покровське», ДП «Вугільна компанія «Краснолиманська» та інших [9, 14].

Постановка задачі. До теперішнього часу, незважаючи на окремі успішні проекти, технології видобутку і використання шахтного метану широкого поширення не отримали. Найбільш доступним і ефективним способом боротьби з шахтним метаном на території країн СНД залишається його факельне спалювання. Технології, як правило, включають різні комбінації похило-спрямованого буріння і багаторазового гідророзриву вугільного пласта. Обґрунтування па-

раметрів цих технологій здійснюється з просторовою прив'язкою вугільного пласта, що дегазується, але без урахування зміни геомеханічного стану вміщуючих порід, що зумовлено гідророзривом або іншим техногенним впливом на нього.

Викладення матеріалу та результати. В Україні безумовним лідером в плані видобутку і ефективної переробки шахтного метану є АП "Шахта ім. А.Ф. Засядька", де шахтний метан видобувається через дегазаційні свердловини, пробурені з поверхні. Істотна відмінність технології, застосовуваної на шахті ім. О.Ф.Засядька, полягає в тому, що об'єктом дегазації є вуглепородний масив, який розташований над вугільним пластом, що відпрацьовується. Технологія базується на результатах досліджень зі встановлення зон впливу захисних пластів [15, 16] і закономірностей виділення метану до виробок виїмкових дільниць [12, 13, 17].

У найбільш простому випадку область дегазації представляють у вигляді трьох областей (рис. 1): безладного обвалення, прогину з розривом і без розриву суцільності, причому остання розглядається в якості оболонки штучного газового покладу [18]. Область підробленого масиву, породи якої деформуються з розривом суцільності і розташовуються між оболонкою і заваленими породами, є об'єктом дегазації. Дегазаційні свердловини бурять з поверхні на ділянці шахтного поля, що готується до розробки, таким чином, щоб газоприймальні частини цих свердловин розташувати в цій області масиву, а забої цих свердловин - на відстані не більше $8 m_{пл}$ від підшови, де $m_{пл}$ - потужність пласта, який відпрацьовується.

Рис. 1. Схема перерозподілу гірського тиску навколо очисної виробки за даними: 1 - зона впливу виробки; 2 - зона опорного тиску; 3 - межа зони розвантаження; 4 - межа захищеної зони; 5 - межа зони повних зрушень; 6 - зона зрушення порід і земної поверхні [17]

При приближенні гірничих робіт газовиділення в свердловини стрибкоподібно зростає (до $5-20 \text{ м}^3/\text{хв}$ 100% метану [19]) і нерідко супроводжується викидами на поверхню шахтної води («фонтанування свердловин»). Тут слід зазначити, що стрибкоподібне зростання газовиділення може бути обумовлене тільки відповідною зміною газопроникності, що свідчить про пряму залежність цього параметра від втрати суцільності і знеміцнення масиву. З відходом лави інтенсивність дренажу газу в свердловини знижується практично на порядок (до $1-2,0 \text{ м}^3/\text{хв}$), після чого вони включаються в роботу по відкачці метану. При оцінці проникності масиву, що вміщує свердловини, встановлені значення інтегрального коефіцієнта

проникності (не за окремим шаром породи, а за масивом в цілому) в межах $1,5 - 4,3 \text{ мД}$ [19]. За даними [8] непроникні породні масиви під час потрапляння в зону впливу гірничих робіт, набувають характеристики газових колекторів 3-го класу. За даними [20] газопроникність суміжних вугільних пластів залежить від їх природного метанонасності, потужності пласта, фізико-механічних властивостей порід міжпласта і в зонах підроблення збільшується на 5-6 порядків.

У роботах [9, 12] пропонується область, яка підлягає дегазації, розглядати у вигляді двох зон умовно позначених зонами «швидкого» і «повільного» газу, і тільки зону повільного газу розглядати як об'єкт дегазації. До зони швидкого газу відноситься та частина вміщуючого масиву, метан з якої дренажує в виробці виїмкової дільниці в період виконання там гірських робіт. Швидкість дренажу повільного газу значно менше, цей газ надходить у виробки через вироблений простір і може розглядатися як об'єкт видобутку. З урахуванням цього в роботі [9, 14]

запропонована деталізована схема підробленого масиву, яка враховує залежність швидкості надходження газу в дегазаційну свердловину від відстані до відпрацьованого пласта.

Висота зони швидкого газу області дегазації межує з заваленими породами, її висота оцінюється величиною близько 7-8 $m_{пл}$. Вважається, що породи в цій зоні осідають великими блоками та порушені пересічними системами тріщинами. Кордон зони порід повільного газу віддалений від відпрацьованого пласта на відстань близько 30 $m_{пл}$, ці породи порушені системою великих тріщин, які орієнтовані паралельно поверхні області обвалення, а далі, аж до оболонки - дрібними, що виникають внаслідок плавного прогинання цих порід. Деталізована схема пов'язує ефективність дегазації не з напружено-деформованим станом підробленого масиву, а з наслідками зміни цього стану в результаті підробки - утворенням тріщин. Слід враховувати, що зазначені розміри областей відображають особливості підробки масиву пластом m_3 на шахті ім. А.Ф. Засядька, і не можуть бути перенесені без відповідних уточнень на вуглепородний масив з іншими механічними властивостями і гірничо-геологічними умовами залягання гірських порід. Так, в інтервалі глибин 100-600 м висота зони відкритої тріщинуватості в покрівлі очисних виробок (в першому наближенні - зона швидкого газу) становить для шахт Красноармійського та Донецько-Макіївського регіонів 20 м, Чистяково-Сніжнянського – 35 м. Наведені дані встановлені шляхом спостережень за поглинанням промивальної рідини і за результатами кавернометрії розвідувальних свердловин [21]. За даними [20] розміри зони безладного обвалення при потужностях пологих пластів до 2 м знаходяться в межах 10-12 потужностей, що виймаються, а зона інтенсивного розвитку газопровідної експлуатаційної тріщинуватості поширюється на 25-10 потужностей, що виймаються.

У роботах [22, 23] запропоновано алгоритм оцінки щільності ресурсів метану, зосереджених в покрівлі вугільного пласта, з урахуванням втрат, що виникають внаслідок перетікання метану в дільничні виробки. В основу алгоритму покладено методику визначення зон впливу захисних пластів через інтервали розвантаження гірських порід в підроблених областях [16]. Застосування алгоритму дозволяє додатково приймати до розрахунку обсяги метану, сорбованих розсіяним в масиві органічною речовиною, з урахуванням властивостей екранування верхніх порід. Зокрема, встановлено, що в якості порід-газоупорів, які перешкоджають перетокам метану від джерел його виділення до діючих лав або дегазаційних свердловин, можуть виступати газonosні гірські породи з високими значеннями граничних деформацій розтягування або, навпаки, ущільнені в результаті підробки [2]. Встановлено також, що після підробки оболонка техногенного газового родовища може пролягати в межах одного газonosного шару гірської породи. Частина цього шару, де деформації розтягування перевищують граничні, є об'єктом дегазації, інша частина - газоупором.

Крім втрат швидкого газу при видобутку поверхневими свердловинами також не передбачено витягування метану із газonosних порід підосви. Якщо в діючих шахтах породи підосви можна дегазувати свердловинами, пробурених з гірських виробок, то в закритих шахтах така можливість відсутня. Запаси метану в породах підосви можна порівняти з запасами в надвугільній товщі, однак думки щодо розмірів області дегазації в породах підосви суперечливі. Так, при дослідженні підроблених масивів рекомендується враховувати зміну геомеханічних і фільтраційних властивостей порід підосви на відстані не далі 50 $m_{пл}$ від розроблювального пласта [24]. З цим узгоджуються результати натурних спостережень на шахті ім. К.І. Поченкова, де збільшення на три порядки швидкості газовиділення з викиднебезпечного пісковика m_2Sm_3 , що підроблюється, зареєстровано на видаленні близько 40 $m_{пл}$ [12]. Однак, при виконанні натурних спостережень в шахті «Краснолиманська» встановлено вплив на газовий баланс очисних ділянок надпрацьованого пласта, який віддалений на відстань понад 70 $m_{пл}$. При цьому зазначено, що свердловини, пробурені з гірських виробок до цього пласту, функціонували в режимі метановидобувних, а не дегазаційних [25]. Результати чисельних досліджень напружено-деформованого стану навколо протяжних гірничих виробок свідчать про те, що в умовах здимання підосви розміри області деформування з втратою суцільності під виробкою, може в кілька разів перевищувати аналогічні розміри в надвугільній товщі порід [26, 27].

Області скупчень вільного метану в підробленому вуглепородному масиві просторово прив'язані до зон повного обвалення. На думку [28] оцінка геометричних параметрів простору, який утворюється за очисним забоєм та виділяє газ, необхідна не тільки для визначення щільності ресурсів метану, а й для планування місць закладення дегазаційних свердловин. Викорис-

тання в цих цілях числових методів дає можливість враховувати сукупний вплив наступних факторів: довжина очисного забою, глибина гірничих робіт і міцність порід.

Застосування чисельних методів дає можливість встановити розташування екрануючих порід в просторі області, що дегазується, а також місця можливих витоків газу через ці породи. До найбільшого руйнування схильні породи надвугільної товщі, які розташовані на відстані до 75 м від розроблюваного пласта. У цьому діапазоні області дегазації за геометричними характеристиками збігаються за винятком того, що втрати суцільності шарів менш міцних порід поширюються за межі, що встановлюються кутами розвантаження, і, навпаки, руйнування в породах високої міцності не досягають цих меж. Розрахункові дані [22, 23] вказують також на те, що область руйнувань в верхніх породах в межах висот 75-225 м збігається з областю повних зрушень. Це свідчить про необхідність внесення відповідних уточнень до існуючих методик оцінки ресурсів метану і при плануванні закладення дегазаційних свердловин.

За даними Українського державного науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки та маркшейдерської справи (УкрНДМІ) проникність області завалених порід вище проникності вміщуючого масиву та визначається не стільки проникністю порід, які заповнюють масив, скільки їх кусковатістю.

Переміщення газоповітряної суміші в цій області забезпечується різницею тисків на рівні дільничної депресії, але в перспективі, після загасання гірських робіт область завалених порід може розглядатися як акумулятор рухомого метану. Після припинення провітрювання метан накопичується в замковій частині склепіння обвалення, з плином часу наповнює весь обсяг виробленого простору аж до верхнього горизонту, після чого може входити на поверхню [12]. Способи видобутку метану із закритих шахт [14], які засновані на подібних уявленнях, передбачають буріння дегазаційних свердловин в вироблений простір або непогашені гірничі виробки.

В окремих випадках ефективність видобутку метану з надр закритих шахт як в Україні, так і за кордоном досить висока [6]. На думку [9, 14], буріння свердловин, сполучених з виробленими просторами закритих шахт, є ефективним заходом запобігання неконтрольованого виходу метану на земну поверхню, але для видобутку шахтного метану не є раціональним через невисокий дебіт і низьку якість газу, що виходить цими свердловинами. Ці причини обумовлені застосовуваними в Україні технологіями вуглевидобутку (довгими вибоями), а також великим інтервалом часу між припиненням гірничих робіт і засипанням шахтних стволів, під час якого шахтний метан неконтрольовано виділяється в атмосферу.

При віддаленні гірських робіт підроблений масив прагне до нового рівноважного стану, а напрути в ньому, разом з областю безладного обвалення, відновлюються до гравітаційного рівня. Зниження інтенсивності припливів метану до виробленого простору в цей період часу може бути обумовлене ущільненням завалених порід в областях безладного обвалення і зв'язаного опускання за фронтом очисних робіт. Процес деформування завалених порід включає два послідовних етапи: консолідації і ущільнення, протягом кожного з яких зменшуються в об'ємі канали фільтрації. На етапі консолідації цей обсяг зменшується за рахунок взаємного переміщення і перепакування породних шматків на більш компактне, а на етапі ущільнення - за рахунок збільшення контактів між цими шматками. Таким чином, поряд з газовим виснаженням порід в підроблених областях за фронтом гірничих робіт, недостатньо високі дебіти газу до свердловин із закритих шахт пов'язані з особливостями деформаційних процесів в цих областях на етапі переходу до нового стану рівноваги. Результати досліджень в області захисних пластів також свідчить про те, що по закінченню певного проміжку часу ефект, обумовлений відпрацюванням захисного шару, не спостерігається незалежно від ступеня дегазації пласта, що розроблюється під захистом [15].

Висновки та напрямки подальших досліджень. В цілому виїмка вугілля є найбільш потужним в порівнянні з іншими відомими способами інтенсифікації виділення метану з газонасичених вуглепорідних масивів. Вплив, що виявляється у вигляді деформацій з розривом суцільності, поширюється в прикордонні породи основної покрівлі від місця техногенного впливу на відстань близько 150 м_{пл.} На земній поверхні вплив такого способу інтенсифікації проявляється в її плавному опусканні, що, на відміну, наприклад, від технологій видобутку сланцевого газу, коли наслідки чергового гідророзриву порівнянні з наслідками невеликого землетрусу, свідчить про широкі можливості цього способу в умовах густонаселених територій Донбасу. При виїмці вугілля в надрах створюється техногенна порожнина, заповнена по-

вністю заваленими породами, які втратили зв'язність, та навколо якої складаються сприятливі умови для скупчень вільного метану. Наявність екрануючої поверхні (газоупора), що перешкоджає неконтрольованим витокам метану з області його скупчення в підробленому масиві, можна розглядати як достатню умову виникнення техногенного газового родовища або схо-вища.

Список літератури

1. **Скочинский А.А., Комаров В.Б.** Рудничная вентиляция. М., Углетехиздат, 1959. – 632с.
2. **Лукинов В.В.** Формирование проницаемости горных пород под воздействием техногенного фактора / В.В. Лукинов, К.А. Безручко // Уголь Украины. – 2010. – № 6. – С. 39-42.
3. **Посудневский А.Б.** О прогнозировании скоплений свободного метана в угленосных отложениях Донбасса. Уголь Украины. – 2014 – №2. – С. 42-44.
4. **Пивняк Г.Г.** Подземные газохранилища в отработанных угольных шахтах: Монография / Пивняк Г.Г., Дудля М.А., Семеев Я. и др. – Д.: НацГУ, 2008. – 240 с.
5. **Скочинский А.А.** Метан в угольных пластах/ Скочинский А.А., Ходот В.В., Гмошинский В.Г. и др.-М.: Углетехиздат, 1958. – 256 с.
6. **Кауфман Л.Л., Кудыркаев Н.И., Лысков Б.А.** Добыча горючих газов угольных месторождений. Донецк: «Вебер», 2007. – 232 с.
7. **Софийский К.К.** Комплексное освоение газозольного месторождения с применением метода гидродинамического воздействия / К.К. Софийский, Д.П. Силин, Р.А. Агаев и др. // Уголь Украины. – 2013 – №2. – С. 48-51.
8. **Лукинов В.В.** Влияние техногенного фактора на физические свойства песчанников / В.В. Лукинов, Л.Л. Шкуро, К.А. Безручко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №5. – С. 12-15.
9. **Булат А.Ф.** Углепородный массив Донбасса как гетерогенная среда / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, В.В. Лукинов и др. // К.: «Наукова думка», 2008. – 411 с.
10. **Булат А.Ф.** Создание индустрии шахтного метана в в топливно-энергетическом комплексе Украины. Геотехническая механика. – 1998. – Вып.10. – С. 3-8.
11. **Шевелев Г.А.** Динамика выбросов угля, породы и газа. – К.: «Наукова думка», 1989. –160 с.
12. **Шевелев Г.А., Перепелица В.Г.** Фильтрация газа в шахтах. – К.: Наукова думка, 2010. – 295 с.
13. **Абрамов Ф.А., Шевелев Г.А.** Свойства выбросоопасных песчанников как породы-коллектора. – Киев: Наук.думка, 1972. – 98 с.
14. **Звягильский Е.Л., Бокий В.В., Касимов О.И.** Добыча метана из угольных месторождений Донбасса (обзор) / Донецк: «Ноулидж», 2011. – 150 с.
15. **Петухов И.М.** Защитные пласты / И.М. Петухов, А.М. Линьков, И.А. Фельдман и др. // Л.: Недра, 1972. – 424 с.
16. **Иофис М.А.** Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелев // М.:Недра, 1985. – 248 с.
17. **Абрамов Ф.А.** Аэродинамика выемочного участка / Ф.А. Абрамов, Б.Е. Грецингер, В.В. Соболевский и др. // К.: Наукова думка, 1973. – 236 с.
18. **Волошин А.И.** О механизме формирования полостей расслоений, содержащих метан / А.И. Волошин, О.В. Рябцев, А.И. Коваль // Уголь Украины. – 2011 – № 1. – С. 46-50.
19. **Гуля Д.П.** Показатели фильтрации метана в подработанном углепородном массиве на шахте им. А.Ф.Засядько. – Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2008. – Вып.76. – С. 143-147.
20. **Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т.** Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 519 с.
21. **Субботин В.П.** Распространение искусственной трещиноватости в почве и кровле очистных выработок. Уголь Украины. – 1984 – № 8. – С. 41.
22. **Лукинов В.В.** Прогноз метановыделения из подработанных пород в выработки выемочного участка / В.В. Лукинов, А.П. Клец, Б.В. Бокий и др. // Уголь Украины. – 2011 – № 1. – С. 50-53.
23. **Клец А.П.** Прогноз газовыделения из подработанных пород в выработки выемочного участка / А.П. Клец, Б.В. Бокий, П.Е. Филимонов // Уголь Украины. – 2013. – № 8. – С. 47-50.
24. **Звягильский Л.Е., Бокий Б.В., Назимко В.В.** Исследование процесса перераспределения метана вокруг движущегося очистного забоя. – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 195 с.
25. **Антощенко Н.И.** Формирование динамики газовыделения из подрабатываемого массива при отработке газоносных угольных пластов: Монография / Н.И. Антощенко, В.Н. Окалелов, В.И. Павлов и др. // – Алчевск: ДонГТУ, 2013. – 221 с.
26. **Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н.** Деформируемость и прочность горных пород. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.
27. **Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В.** Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт. – Днепропетровск: ТОВ «ЛизуновПресс», 2012. – 384 с.
28. **Имгруд Т.** Бурение разгрузочных и дегазационных скважин для высокопроизводительных очистных забоев в угольных пластах с низкой проницаемостью / Т. Имгруд, Ф. Бауэр // Уголь. – 2013. – №8. – С. 71-78.

Рукопис подано до редакції 21.10.2019