

УДК [622.411.332:533.11]:551.243

А. Ф. Булат, доктор техн. наук, академік НАН України (ІГТМ ім. М. С. Полякова НАН України)
В. В. Лукінов, доктор геол.-мін. наук (ІГТМ ім. М. С. Полякова НАН України)
К. А. Безручко, доктор геол. наук (ІГТМ ім. М. С. Полякова НАН України)
Л. І. Пимоненко, доктор геол. наук (ІГТМ ім. М. С. Полякова НАН України)
М. М. Матрофайло, канд. геол.-мін. наук (ІГГК НАН України)
Л. Д. Кузнецова, голов. технолог (ІГТМ ім. М. С. Полякова НАН України)

Геологічні особливості формування метановості гірничих виробок шахти «Степова» ДП «Львіввугілля»

Розглянуто особливості формування метановості гірничих виробок шахти «Степова» ДП «Львіввугілля». Встановлено, що головними джерелами надходження метану в очисні виробки шахти є підроблена товща гірських порід з покрівлі, зокрема пласти-супутники n_7 , n_8^b й тріщинуваті породи в зоні малоамплітудної порушеності та локальної складчастості в смугі між Жужелянським насувом і Скидом № 3. Стабільна робота шахти та запобігання аварійним ситуаціям потребують розроблення окремих проектів дегазації для кожної лави з урахуванням геологічного прогнозу джерел і обсягів надходження метану.

Ключові слова: Львівсько-Волинський вугільний басейн, шахта «Степова», гірничі виробки, газоносність, метановість, аварії.

Контактна інформація: gvrvg@meta.ua

Постановка проблеми. Майже в усіх вугле-видобувних регіонах світу, й зокрема у Львівсько-Волинському вугільному басейні, є проблема метану, яка поєднує три аспекти і полягає у його вилученні з надр для створення безпечних умов видобутку вугілля, зменшення обсягів шкідливих викидів парникових газів в атмосферу та подальшої утилізації метану як енергетичної або хімічної сировини.

Найнебезпечніша щодо газового чинника у Львівсько-Волинському вугільному басейні шахта «Степова» ДП «Львіввугілля», на якій останнім часом сталися три великі аварії. Перша аварія трапилася 2 квітня 2008 р. На момент її початку в шахті перебувало 92 особи. Обійшлося без людських жертв, але пожежа тривала понад 7 діб. Як встановила експертна комісія, основними порушеннями було перевищення допустимої концентрації метану, невідповідність паспорту кріплення та вибухонебезпека обладнання. Концентрація метану становила 5 %. З 9 червня 2008 р. було введено особливий локальний режим державного нагляду, а у червні 2009 р. Кабінет Міністрів України виділив на реконструкцію шахти 18,1 млрд грн. Пізніше на шахті під час ве-

дення гірничих робіт сталися ще дві аварії. Це пожежа у конвеєрному штреку № 120 лави № 119, яка трапилася 30 березня 2012 р., та вибух метаноповітряної суміші у конвеєрному штреку № 119 лави № 133, що стався 2 березня 2017 р. та призвів до загибелі восьми шахтарів – це одна з найбільших аварій останнього часу у Львівсько-Волинському басейні*.

З огляду на це, визначення і дослідження потенційних джерел метановиділення та гірничо-геологічних умов, що сприяли накопиченню метану в значних обсягах і спричинили виникнення аварій, є актуальним завданням на шляху гарантування безаварійної роботи шахти у подальшому.

Мета – дослідження геологічних особливостей та умов формування газоносності вугільних пластів та вміщувальних порід, а також джерел метановиділення й чинників підвищеної метановості гірничих виробок на шахті «Степова» ДП «Львіввугілля».

Розв'язання проблеми. Шахта «Степова» ДП «Львіввугілля» розташована у Червоноградському вуглепромисловому районі, тобто у Центральній частині Львівсько-Волинського

* Подобиці про аварію читайте у статті на с. 48.

басейну, і займає площу Межирічанського та Забузького вугільних родовищ. Особливістю геологічної будови Червоноградського вуглепромислового району є наявність мезозойських відкладів потужністю 450 м, які перекривають кам'яновугільні відклади палеозою. Цей чинник важливий у процесі формування закономірностей розподілу газу у вуглевміщувальній товщі, оскільки відклади мезозою слугують своєрідним регіональним флюїдоупором (покришкою).

Кам'яновугільні відклади на площі шахтного поля «Степова» дуже поширені й залягають безпосередньо під товщею крейдяних, іноді юрських відкладів. Вони представлені візейським і серпуховським ярусами нижнього відділу та башкирським середнього відділу карбону. Падіння – пологіе, становить $1-2^\circ$ і лише в крайній західній частині кути падіння збільшуються до $3-6^\circ$. Спостерігається дрібна складчастість, виражена локальними куполоподібними підняттями. Характерними є також прояви диз'юнктивної тектоніки. Більшість крупних розломів (Забузький, Павловський, Цебрівський скиди, Дібровський та Жужелянський насуви) мають загальне простягання з північного сходу на південний захід. Основні промислові пласти району $n_7^H, n_7, n_7^B, n_8^B, n_9$. Пласти n_7, n_8, n_{11} мають робочу потужність на окремих невеликих площах. На полі шахти «Степова» економічно доцільна відробка лише пластів n_7^H та n_8^B , які розробляють, починаючи з її введення в експлуатацію у 1978 р.

На полі шахти «Степова» метан у вугільних пластах розподіляється нерівномірно [1]. Спостерігається закономірне його збільшення вниз за стратиграфічним розрізом. За даними проведеного дослідження метаносність оцінюваних пластів змінюється в досить широких межах. Найнасиченіші метаном пласти – в північній і південній частинах шахтного поля, адже максимальна метаносність становить $9-12 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$ У східній частині вона коливається у межах $5-10 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$, на заході району збільшується до $10-12 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$, поступово зменшуючись у північно-західному напрямку до $3-5 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$ [1]. У газах вугільних пластів шахти виявлено етан і пропан. Кількість етану коливається від 0,2 до 0,9 %, пропану – від 0,15 до 0,3 %. Максимальний об'єм

двооксиду вуглецю має вугільний пласт n_{11} ($0,24 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$). Для решти пластів його вміст становить від 0,05 до $0,12 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$ [1].

Основними чинниками, які впливають на газосність вугілля та закономірності розподілу газу у вугленосній товщі, є ступінь метаморфізму вугілля, глибина залягання, тектонічна порушеність шахтного поля та флюїдопроникність порід (покришки), які перекривають газовміщувальні пласти. Так, безпосередньо під мезозоєм газосність вугілля досягає $5-6 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$ (пласт b_1), а газосність вугільного пласта n_8^B , який міститься майже на 110 м нижче, вже становить понад $10 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$, що підтверджується відносною метановістю гірничих виробок.

Ураховуючи міру катагенезу товщі й марочний склад вугілля (марка Г), закономірно близька газосність вугільних пластів, що дорівнює $10 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$, збільшується з глибиною й стратиграфічним положенням до $15 \text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$ Велике значення у газонасиченні вугленосних відкладів мають тектонічні порушення, які слугують шляхами міграції вуглеводневих газів з глибин – відносна метановість гірничих виробок біля тектонічних порушень збільшується до $25-29 \text{ м}^3/\text{т добового видобутку вугілля}$ ($\text{м}^3/\text{т д. в. в.}$), іноді до $50 \text{ м}^3/\text{т д. в. в.}$ (категорійні виміри). Але в цілому вплив тектонічних порушень на газосність вугільних пластів неоднаковий, що можуть збільшувати її, а іноді зменшувати. Це залежить від характеристики розломів (глибини закладання, амплітуди, екранувальних властивостей) і потребує окремого детального дослідження.

Усі вугільні пласти містяться у зоні метанових газів, яка проходить безпосередньо під відкладами мезозою. Зіставлення газового режиму шахт і даних, одержаних за геологорозвідувальними роботами, свідчить про недостовірність останніх, що призвело до значного заниження прогнозованої газосності вугільних пластів відносно фактичної метановості гірничих виробок. Це змусило провести детальнішу перевірку достовірності проб, відібраних газокернабірниками (ГКН). Аналіз показав систематичне порушення умов відбору проб ГКН – вільний газ майже в усіх відборах проб було втрачено.

Найхарактернішим для газів вугільних пластів шахти «Степова» є наявність 1–4 % водню (H_2), інколи більше, що свідчить про текто-

нічні порушення та підняття по них вуглеводнів із глибини. Визначення гелію й аргону в складі газів могло б це з'ясувати, але дослідження не проводилися.

Установлено, що під час проведення гірничих робіт треба спостерігати за складом газу – наявність водню та важких вуглеводнів може знизити температуру їх спалаху.

Газоносність вугільного пласта n_8^B , який розробляється з 1978 р., вивчали за пробами, відібраними ГКН. Розглядалися також дані сорбційної метаноємності та вимірів відносної метановості гірничих виробок. За умовно якісними пробами (газ вилучали термовакуумним дегазуванням, його вміст становив 78–83 %) на глибині 500 м метаноносність метану становить 10–11 м³/т с. б. м., на глибині 550 м – 11,2 м³/т с. б. м., на глибині 569 м – 11,7 м³/т с. б. м. За даними лабораторних досліджень (тиск 5 МПа) визначена сорбційна метаноємність пласта у межах 14,1–15,9 м³/т с. б. м. Відносна метановість гірничих виробок також коливається у широких межах, але переважають значення 10–16 м³/т д. в. в.

Отже, прогнозна газоносність вугільного пласта на шахтному полі буде від 10 м³/т с. б. м. (на глибині близько 470 м) до 15 м³/т с. б. м. (на глибині 540–550 м). Але, враховуючи неоднозначність отриманих даних, при підрахунку прогнозних запасів метану беруть середнє значення газоносності, тобто 12,5 м³/т с. б. м. (середньоарифметичний показник).

Газоносність вугільного пласта n_8 , який не розробляється, вивчали за показниками проб, відібраних ГКН. З 52 проб 21 проба умовно якісна, 31 – неякісна. На глибинах 495 і 499 м газоносність пласта становила 9,1 м³/т с. б. м., на глибинах 525 і 540 м – 9,6 м³/т с. б. м. і 9,9 м³/т с. б. м. – відповідно. На глибині 579 м зафіксована газоносність 11,8 м³/т с. б. м. (обсяг метану під час термовакуумного дегазування становить 65,3 %). Якщо перерахувати без повітря, то газоносність буде 15,3 м³/т с. б. м. Сорбційна метаноємність пласта n_8 при тиску 5 МПа – 15 м³/т с. б. м. (шахта «Червоноградська», глибина 490 м). Отже, прогнозна газоносність пласта n_8 на полі шахти «Степова» становить 10 м³/т с. б. м. на глибині близько 470 м і 15 м³/т с. б. м. на глибині 540–550 м. Оскільки якісні проби для визначення газоносності

по цьому пласту відсутні, то для підрахунку прогнозних запасів метану приймається середнє значення газоносності 12,5 м³/т с. б. м. (середньоарифметичний показник).

Газоносність пласта n_7^B вивчали шляхом відбору 57 проб ГКН, з яких до умовно якісних належать 22 проби. На глибині 492 м і в інтервалі 512–530 м (5 проб) газоносність вугілля становить 10–10,6 м³/т с. б. м. (газ, одержаний під час термовакуумного дегазування), а на глибині 560 м – 11,5 м³/т с. б. м.

Прогнозна газоносність цього пласта, як і у пласта n_8 , що залягає на 15 м вище, становитиме 10 м³/т с. б. м. (на глибині близько 470 м) і 15 м³/т с. б. м. (на глибині 540–550 м). Щоб підрахувати прогнозні запаси метану по пласту n_7^B беруть середнє значення газоносності 12,5 м³/т с. б. м.

Газоносність вугільного пласта n_8^B вивчали шляхом відбору 29 проб ГКН, з яких до умовно якісних належить 20 проб. На глибині 517 м його газоносність становить 11,1 м³/т с. б. м., на 527 м – 10,9 м³/т с. б. м., на 542,45 м – 10 м³/т с. б. м., на глибині 548 м – 12,8 м³/т с. б. м. Усі визначення газоносності вугілля одержано під час термовакуумного дегазування, вільний газ не зберігся. За аналогією зі зближеними пластами n_7^B та n_7^H , що розташовані на відстані 10 і 5 м відповідно, прогнозна газоносність цього пласта на полі шахти «Степова» становитиме 10–15 м³/т с. б. м. Для підрахунку запасів метану приймається середньоарифметичне значення 12,5 м³/т с. б. м.

Газоносність пласта n_7^H (відроблюється з 1978 р.) вивчали шляхом відбору 50 проб ГКН, з яких до умовно якісних належить 21 проба, 1 проба якісна. Сорбційну метаноємність пласта вивчали по 5 пробах, відібраних у гірничих виробках на глибинах 544–548 м. Проаналізовано також газовий режим виробок, які відроблюють цей пласт. Газоносність вугільного пласта n_7^H в інтервалі глибин 523–529,5 м, за даними ГКН, становить 9,8–11 м³/т с. б. м. (5 проб), на глибині 549,3 м – 13,4 м³/т с. б. м. (газ із газозбірника і вилучений під час термовакуумного дегазування; вільний газ не зберігся). За лабораторними даними, сорбційна метаноємність при тиску 5 МПа становить 12,5–17,2 м³/т с. б. м. (у середньому 15,1 м³/т с. б. м.). Відносна метановість гірничих виробок, які відроблюють цей пласт, коливається залежно

від багатьох чинників. Характерні показники 10–16 м³/т д. в. Варто зазначити, що другу частину газу із віддробленого простору забирає дегазаційна труба (методом газовідсмоктування). У результаті аналізу всіх отриманих даних прогнозна газонасиченість вугільного пласта становитиме 10 м³/т с. б. м. на глибині 470 м, збільшуючись до 15 м³/т с. б. м. на глибині 540 м.

На півдні та південному сході до шахти приймають гірничі виробки шахт «Лісова» та «Відродження».

Відносна метановість гірничих виробок, що проводять по пласту n_8^B шахти «Степова», коливається в межах 5–22 м³/т д. в. в., переважно 10–15 м³/т д. в. в. Але здійснюється дегазація відробленого простору, ефективність якої дуже висока – від 20 до 66 % на початку робіт (до 1982 р.). Отже, надходження емісійного метану в гірничі виробки значне.

Відносна метановість гірничих виробок по пласту n_7^H шахти «Степова» коливається в межах 5–28 м³/т д. в. в., переважно 11–16 м³/т д. в. в. Характерно, що найнижча відносна метановість у виробках, де добовий видобуток сягає близько 1 тис. т і більше, а при зменшенні видобутку – майже до 150 т, відносна метановість перевищує 25 м³/т д. в. в. Ефективність дегазації на початку робіт також дуже висока – від 20 до 79 %.

Нерівномірність розподілу відносної метановості гірничих виробок шахти «Степова» значною мірою зумовлюється наявністю великої кількості малоамплітудних тектонічних порушень (сингенетична планетарна тріщинуватість), розкриття яких супроводжується збільшенням надходжень метану та, відповідно, підвищенням відносної метановості. Насуви також можуть супроводжуватися підвищеними газовиділеннями, що підтверджує газонасиченість вугленосної товщі та можливість наявності на більших глибинах покладів вуглеводнів.

Розглядаючи генезис метану Львівсько-Волинського вугільного басейну і палеозойських утворень Львівського палеозойського прогину, зазначають [2], що основна газонасиченість пов'язана з карбонівими відкладами Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Детально у цьому напрямі досліджували промислові вугільні пласти серпуховського ярусу

південно-західної частини басейну – Межирічанське, Тяглівське, Любельське родовища. У цілому на згаданій площі широко розвинені розривні дислокації. На заході – це Рава-Руський розлом, Нестерівська, Бутин-Хлівчанська, Белз-Милятинська зони насувів та інші розривні тектонічні порушення. По вертикалі вони поєднують девонські відклади з карбонівими, у тому числі Великомоствівське газове родовище з вугільним Межирічанським [3].

На Великомоствівському родовищі з глибин 2359–2404 м спостерігалися промислові підтоки метанового газу з вільним дебітом 65,4–100 тис. м³ за добу [4]. Зіставлення компонентного складу вугільного газу Межирічанського вугільного і Великомоствівського газового родовищ свідчить про можливість міграції газів з газонасичених порід девону в кам'яновугільні відклади [2]. Подібний висновок міститься у праці [5], автори якої, відзначаючи високі показники газонасиченості, отримані на площі, приуроченій до зони розломів (Белз-Милятинська зона, Цебрівський скид, Жужелянський насув), пов'язують це з підтоком вуглеводнів з девонського Великомоствівського газового родовища.

Результати дослідження ізотопного складу вуглецю метанових газів Межирічанського родовища доводять, що в цілому газу характеризуються невисокою концентрацією ізотопу ¹³C. Співвідношення ¹²C/¹³C варіює в межах 94,5–97,16. Але відмічено ділянки, де згадане співвідношення ¹²C/¹³C набагато нижче. Спостерігалось також зростання сталого ізотопу ¹³C з північного сходу на південний захід у напрямку до Великомоствівського газового родовища. Певною мірою така закономірність стосується і Тяглівського вугільного родовища, де на окремих ділянках, наближених до розломів, у газовій суміші зростає вміст метану, з'являються пропан і бутан – компоненти газу глибинного походження [2].

Керногазонабірниками на полі шахти «Степова» відбирали проби з усіх літологічних різновидів – аргілітів, алевролітів покрівлі та підшви пластів n_8 і n_7 (інтервал глибин 475–576 м). Згідно з отриманими даними, найвищу газонасиченість мають алевроліти, відібрані на 500 м у підшві пласта n_8 – 2,3 м³/т породи. У аргілітах газонасиченість коливається в межах 0,2–1,4 м³/т породи.

Автори праці [6] для Червоноградського геолого-промислового району також зазначають максимальну метаноносність вуглистих аргілітів, яка коливається у межах $0,9\text{--}2,9 \text{ м}^3/\text{м}^3$ і становить у середньому $1,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Метаноносність аргілітів та пісковиків з алевролітами відповідно $0,1\text{--}1,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$ і $0,03\text{--}1 \text{ м}^3/\text{м}^3$, за середнім показником для цих порід $0,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$. У роботі [6] також наведено дані щодо підрахунку запасів метану на шахті «Степова» всього комплексу вуглевмісних порід (пісковиків, алевролітів і аргілітів) для товщі, що охоплює інтервал, обмежений знизу подошвою вугільного пласта і зверху – покрівлею пласта n_8^B . Сумарні запаси метану вугільних пластів і вмісних порід оцінюються приблизно у $1,661$ млрд м^3 . Варто зауважити, що бралися породи тільки з одного стратиграфічного інтервалу між вугільними пластами n_7^H та n_8^B . Отже, реальні ресурси мають бути вищими.

Під час ведення геологорозвідувальних робіт у свердловинах було помічено неодноразові газопрояви, які свідчили про газонасиченість порід і можливу наявність мікропокладів газу, особливо в зонах тектонічних порушень. У літологічному плані найхарактерніші газопрояви з витриманих пісковиків у покрівлі пласта n_9 (пісковики n_9Sn_{11}) та «сріблястих» пісковиків у подошві пласта n_7^H (пісковики $n_6Sn_7^H$), які витримані на всій площі району і належать до маркувальних.

Газопрояви виявляли себе по-різному – від спокійного у вигляді бульбашок під час самовиливу води (свердловини № 2265, 2286) до фонтанування води з газом (свердловина № 2201). Газ під час підпалювання горів (висота полум'я сягала $60\text{--}80$ м). Тривалість газопровів від декількох годин до $3\text{--}4$ тижнів. Окрім метану кількістю $93,76\%$, газова суміш містила важкі вуглеводні – етан і пропан від $0,17$ та $0,16\%$ відповідно. Результати газового каротажу підтвердили газонасиченість пісковиків в кількості $1,2\text{--}2 \text{ м}^3/\text{т}$ та алевролітів – $0,5\text{--}0,7 \text{ м}^3/\text{т}$.

Підтвердженням газонасиченості товщі є суфляри, які супроводжують провадження гірничих робіт у шахтах. За даними праці [7], для шахт Червоноградського вуглепромислового району характерні прояви суфлярних виділень газу. Це скупчення газів у порожнистих замкнених просторах. Прояв газу з таких скупчень має

специфічний характер – значний тиск у момент розкриття під час подальшого витікання газу. Кількість й інтенсивність суфлярів на полях шахт району збільшується в західному напрямі. Найбільша їх кількість приурочена до зон тектонічних порушень, у тому числі малоамплітудних, і характерна для нижнього вугільного пласта n_7^H , а для верхнього робочого пласта вони поодинокі або взагалі відсутні. Спостерігається збільшення кількості суфлярів з глибиною занурення вугільних пластів і від верхніх стратиграфічних горизонтів до нижніх [7].

За складом суфлярні гази Червоноградського вуглепромислового району переважно метанові, вміст метану яких варіює від $59,5$ до $98,2\%$. Усі суфлярні гази залежно від характеру інтенсивності й терміну їх дії поділяються на три групи [8]. *Перша група* – суфляри з дебітом до $1 \text{ м}^3/\text{хв}$ і терміном дії $1\text{--}2$ міс пов'язані з дрібними пластовими складками, флексурами й розривами. Основна маса таких суфлярів спостерігається у виробках східного крила Межирічанської синкліналі. Для *другої групи* характерні суфляри з дебітом $1\text{--}3 \text{ м}^3/\text{хв}$ і терміном дії до одного року. Найчастіше вони трапляються на шахтних полях центральної частини синкліналі та приурочені до тектонічних тріщин на перетинах крил структур третього порядку, зон розмивів пласта і розривів, які перетинають декілька вугільних пластів. До *третьої групи* належать суфляри з дебітом $3\text{--}6 \text{ м}^3/\text{хв}$ і строком дії $1\text{--}3$ роки. Вони тісно пов'язані з тектонічними порушеннями, які торкаються газонасичених «сріблястих» пісковиків.

Суфлярні виділення другої й третьої груп помітно впливають на газовий режим гірничих виробок вугільних шахт і є основною причиною тимчасової зупинки робіт за газовим чинником. Ведення гірничих робіт на шахті «Степова» також супроводжувалося численними суфлярними метановиділеннями у гірничі виробки.

Шахта «Степова» належить до надкатегорійних. За загальними даними відносна газовість гірничих виробок по пласту n_8^B коливається в межах $5\text{--}22 \text{ м}^3/\text{т}$ добового видобутку (переважно $10\text{--}15 \text{ м}^3/\text{т}$ д. в. в.), по пласту n_7^H – в межах $5\text{--}28 \text{ м}^3/\text{т}$ д. в. в. (переважно $11\text{--}16 \text{ м}^3/\text{т}$ д. в. в.). За іншими даними (наприклад, [7]), метано-

вість пласта n_8^B може сягати $88,2 \text{ м}^3/\text{т д. в. в.}$, а пласта n_7^H – $54,5 \text{ м}^3/\text{т д. в. в.}$, тобто надходження емісійного метану у гірничі виробки значні. Максимальна відносна метановість очисних гірничих виробок за останні роки сягала $34,5\text{--}34,9 \text{ м}^3/\text{т}$ добового видобутку (лави № 118, 119 у 2011 р.), $38,3 \text{ м}^3/\text{т}$ (лава № 119 у 2012 р.). На підставі поданих матеріалів з перевірки газовості у 2017 р. передбачено середню абсолютну газовість з урахуванням каптованого метану в межах $21,57 \text{ м}^3/\text{хв}$ і відносну газовість – $34 \text{ м}^3/\text{т д. в. в.}$

Неоднакова метановість лав одного й того самого вугільного пласта в межах одного шахтного поля здебільшого зумовлена розривними малоамплітудними порушеннями. Вплив розривних порушень на розподіл газів у вугільних пластах та вуглевмісних породах неоднаковий і залежить від типу й морфології порушення; провідна роль належить більш стародавнім диз'юнктивам, які, з одного боку, є джерелом дегазації, з другого – камерою для захоронення і концентрації газів [7].

Нерівномірність розподілу відносної газовості гірничих виробок шахти «Степова» значною мірою зумовлюється наявністю великої кількості малоамплітудних тектонічних порушень, розкриття яких супроводжується підвищенням надходжень метану та метановості. Великі тектонічні порушення також супроводжуються підвищеними газовиділеннями, що підтверджує газонасиченість вугленосної товщі та можливість наявності на глибині покладів вуглеводнів.

Характеристика аварійних ділянок. Лавою № 119 (аварія–пожежа 30 березня 2012 р. у конвеєрному штреку № 120) відробляли пласт n_7^H Сокальський потужністю $0,9 \text{ м}$. Покрівля пласта представлена аргілітом, підшва – пісковиком. Вибій лави № 119 працював у небезпечній зоні підвищеної тріщинуватості порід від тектонічного порушення типу скид, розкритого під час підготовчих робіт на ПК 35+5 по конвеєрному штреку № 119 та на ПК 17+8 по конвеєрному штреку № 120 з амплітудою зміщення, що дорівнювала $2,4$ і $1,5 \text{ м}$ відповідно, а також у зоні потенційного джерела метановиділення, що становить 110 м по обидва боки зміщувача. На момент аварії в лаві № 119 прогнозоване тектонічне пору-

шення зафіксоване в районі секцій № 116 і 117 з амплітудою зміщення $1,5$ і $1,6 \text{ м}$.

Пласт n_7^H Сокальський однопачкової будови з середньою геологічною потужністю $0,9 \text{ м}$. Безпосередня покрівля пласта n_7^H – аргіліт, розбитий субвертикальними тріщинами частотою $8\text{--}12$ тріщин на 1 м . Основа покрівлі складена глинистим і піщаним сланцями. Субвертикальні та похилі тріщини – з частотою $6\text{--}10$ тріщин на 1 м .

Підшва пласта завтовшки $3,5\text{--}4 \text{ м}$ представлена пісковиком, темно-сірого, сірого кольору з прошарками та лінзочками алевроліту. Розвинені тріщини різного генезису з частотою до 10 тріщин на 1 м . У основній підшві залягає піщаний сланець сірого кольору потужністю до $8\text{--}9 \text{ м}$. Зольність вугільного пласта коливається в межах $7,2\text{--}25,9 \%$, середня – $13,5 \%$, марка вугілля Г.

Лави № 133 (аварія–вибух повітрянометанової суміші 2 березня 2017 р.) відробляє вугільний пласт n_7^H Сокальський. Пласт переважно простої однопачкової будови, геологічної потужністю $0,90\text{--}1,50 \text{ м}$.

Несправжня покрівля вугільного пласта n_7^H представлена алевролітом (аргілітом) темно-сірого кольору та потужністю $0,15\text{--}0,25 \text{ м}$, безпосередня – аргілітом та алевролітом. Аргіліт темно-сірого кольору, горизонтально шаруватий, розбитий субвертикальними і похилими тріщинами з частотою $6\text{--}12$ тріщин на 1 м і алевролітом вузлуватої текстури типу «кучерявчик», завтовшки до $0,80 \text{ м}$. Зчеплення між шарами слабе, зростає з віддаленням від пласта, завтовшки від 1 до $5,5\text{--}6 \text{ м}$. Алевроліт сірого кольору, тріщинуватий, вузлуватої текстури типу «кучерявчик», з частими різноорієнтованими дзеркалами ковзання паралельними і субпаралельними нашаруванню, з прожилками вугілля та вмістом вуглистої матеріалу й відбитками органічних рештків. Породи покрівлі схильні до раптових й непередбачуваних вивалів на висоту до 1 м і більше, які можуть спричинити завали вибою породними блоками, а також у місцях зміни літологічного різновиду порід безпосередньої покрівлі.

Потужність *основної покрівлі* $2,5\text{--}6,5 \text{ м}$, залягають аргіліти та алевроліти. Характерні субвертикальні та похилі тріщини частотою $6\text{--}10$ тріщин на 1 м .

Підошва пласта (безпосередня) представлена алевролітом темно-сірого, сірого кольору, з прошарками й лінзами пісковика. Породи на контакті з вугільним пластом вузлуватої текстури. Розвинуті тріщини різного генезису з частотою тріщин до 10 тріщин на 1 м. Товщина безпосередньої підошви 2,5–4 м. В основній підошві залягає алевроліт сірого кольору, її геологічна потужність 8–9 м.

З огляду на тектоніку район робіт лави № 133 відносно простої будови. Вугільний пласт має моноклінальне залягання з падінням на північний схід під кутом 1–3°. Під час ведення очисних робіт трапляються непрогнозовані тектонічні порушення типу скид. Таке порушення було розкрито під час проведення магістрального західного конвеєрного штреку на ПК 205+1,8–205+4,2, але не розкрито підготовчими виробками лави № 133. Бокові породи в районі непрогнозованих тектонічних порушень сильнотріщинуваті, нестійкі та схильні до раптових вивалів.

Вугільний пласт надкатегорійний по метану, відносна метановість за 2016 р. становила 19,65 м³/т д. в. в. Під час проведення підготовчих виробок спостерігалось виділення газу, що свідчить про наявність відкритих газопровідних колекторів і значну ізоляцію вугільного пласта товщею аргілітів. Потенційними джерелами метановиділення під час відроблення лави є також зони тріщинуватих порід покрівлі й підошви біля непрогнозованих тектонічних порушень і поблизу них, а також можливе скупчення газу в тупиковій частині лави.

Виходячи з того, що відстань між пластами n_7^H Сокальський, n_7 Супутник (потужність 0,2–0,4 м) та Західнобузький (завтовшки 0,6–0,7 м) коливається від 2 до 10–12 м, після посадки основної покрівлі в лаві № 133 можливе збільшене виділення газу.

Усі аварійні лави розташовані в смузі завширшки від 500 м в межах лав № 115 і 116 і до 1200 м – в районі лави № 133 між великими диз'юнктивними порушеннями – Жужелянським насупом на заході та великим Скидом № 3 на сході, де пласт n_7^H , як свідчить план гірничих виробок, інтенсивно дислокований в локальні малоамплітудні складки.

На заході від лави № 133 (840–850 м від місця аварії, що сталася 2 березня ц. р.) розташо-

вано Жужелянський насуп, який є найкрупнішим тектонічним порушенням, зафіксованим у західній частині шахтного поля, і простягається на схід, на поле шахти «Лісова».

Вперше Жужелянський насуп був підсічений під час детальної розвідки. Свердловиною № 2137 в інтервалі глибин 478,2–488 м була перетнута порушена зона порід, представлена дуже перем'ятим піщаним сланцем та брекчіями тертя з дзеркалами ковзання. Кут падіння порід за керном дорівнює 50–70°. Вугільний пласт n_8^B цієї свердловиною підсічено двічі, амплітуда розриву в ній дорівнює 20–46 м.

Варто зазначити, що свердловиною № 1134, пробуреною під час детальної розвідки Межиричанського родовища, також перетнуто Жужелянський насуп, на що свого часу не звернули уваги. По цій свердловині в інтервалі глибин 525,7–528,7 м – пісковик і сланець піщано-глинистий з численними дзеркалами ковзання. Вугільний пласт n_7^H Сокальський перетнуто цією свердловиною двічі. Амплітуда зміщення у свердловині № 1134 становить 26–57 м.

Пізніше, у процесі дорозвідки шахтного поля, Жужелянський насуп було перетнуто свердловинами № 4113, 4114, 4117, 4122 і 3717. Свердловиною № 4113 на глибинах 471,05 м і 501,30 м двічі підсічено пласт n_8 , свердловиною № 4114, яка розташована на відстані 40 м на схід від попередньої, двічі перетнуто пласт n_8^B на глибинах 456,35 і 489,75 м. Амплітуда розриву в районі цих свердловин дорівнює 30–34 м. Кут падіння площини зміщувача становить 22°. Площина зміщувача падає на південний захід.

Свердловиною № 4122 на глибинах 453,05 і 474,60 м двічі перетнуто пласт n_8^B , свердловиною № 4117, яка міститься на 55 м на схід від попередньої, стратиграфічно вище в інтервалі глибин 420,75–421,80 м, – порушену зону з брекчіями тертя і дзеркалами ковзання. Вугільний пласт n_9 у цій свердловині двічі перетнуто на глибинах 410 і 439,9 м. Амплітуда розриву в районі цих свердловин трохи зменшується і становить 22–30 м.

Свердловиною № 3717, пробуреною на відстані 1,8 км на північний захід від свердловин № 4113 і 4114, в інтервалі глибин 466,3–466,8 м простежується перем'ятий піщаний сланець з дзеркалами ковзання, а в інтервалі 477,55–

480,67 м перетнуто сильнотріщинувату зону представлену піщано-глинистим сланцем із дзеркалами ковзання. Тут спостерігається збільшення потужності кам'яновугільних відкладів, а саме приблизно на 15–17 м в інтервалі між вугільними пластами n_7^B і n_8 .

Жужелянський насув простягається на південний схід на поле шахти «Лісова» і безпосередньо перетинається свердловинами № 3432 і 3985. Свердловина № 3432 розташована на відстані 1,6 км на південний схід від свердловин № 4117 і 4122. Вона двічі перетинає пласт n_8^B , амплітуда зміщення становить 23 м.

Свердловина № 3985, яка розташована на відстані 380 м на південний схід від попередньої, двічі перебурила пласт n_7^H Сокальський з амплітудою зміщення 17 м.

Під час проходження конвеєрного штреку № 116 пласта n_7^H Сокальський на ПК 80+2,5 розкрито два тектонічні порушення типу скид з амплітудами зміщення 1 і 2,5 м, азимут простягання 285° , кут падіння 80° , які становлять структуру, подібну на горст, і є апофізами відгалуження Жужелянського насуву. У результаті проведення підземних геологорозвідувальних робіт на конвеєрному штреку № 116 було встановлено амплітуду, що становила 31 м і азимут простягання Жужелянського насуву.

За даними геологорозвідувальних робіт, Жужелянський насув не порушує верхньокрейдові відклади, які залягають вище порід карбону за геологічним розрізом. Це дає підстави вважати його екраном, що може запобігати дегазації порід вгору за піднесенням та сприяти накопиченню вільного метану нижче за падінням порід на схід від насуву. Про можливу потенційну екранувальну здатність Жужелянського насуву згадується у праці [9], присвяченій особливостям газоносності вугільного пласта v_6 у Львівсько-Волинському басейні. Автори зазначають, що геологорозвідувальними роботами на Межирічанському родовищі встановлено, що з наближенням до зон розривних тектонічних порушень, які є західною межею ділянки з Червоноградською групою діючих шахт, газоносність вугільного пласта v_6 зростає, що, вірогідно, пов'язано з газопроникністю Жужелянського регіонального насуву, який перешкоджає проникненню метану з лежачого крила у висяче.

Водночас зазначається [9], що регіональні тектонічні порушення мають змінну проникність щодо простягання, а їхній вплив на газоносність вугільного пласта у вугленосній товщі неоднаковий і, мабуть, залежить від типу й морфології порушення, а також від елементів залягання порід. Зокрема, у зонах впливу Жужелянського й Ваневського насувів у північно-західній частині шахтного поля газоносність пласта знижується до $10,5\text{--}14\text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$, тоді як на південному заході шахтного поля в зоні впливу цього насуву на менших глибинах газоносність зростає до $22,3\text{--}25,1\text{ м}^3/\text{т с. б. м.}$

На північний схід від Жужелянського насуву (375 м від місця аварії, що сталася 2 березня 2017 р.) проходить тектонічне порушення Скид № 3. Безпосередньо під час буріння свердловин воно не було підсичене, по деяких свердловинах відмічалися перем'яті породи, підвищена тріщинуватість площини ковзання. Це тектонічне порушення виявлено за допомогою графічних побудов, за невідповідністю абсолютних позначок однойменного стратиграфічного горизонту між свердловинами № 2119 і 3716, 3520 і 2273, 3510 і 4107. За наявних даних кут нахилу площини зміщувача встановити неможливо, тому при графічних побудовах його було прийнято таким, що орієнтовно дорівнює 70° .

Амплітуда тектонічного порушення (Скид № 3) непостійна і в районі свердловини № 2270 сягає 30 м. У південно-східному напрямку амплітуда зменшується до 12–14 м, а на північному заході, в районі свердловини № 2123, порушення поступово затухає. Воно простягається з південного сходу на північний захід на відстань 5 км, південно-західне крило трохи підняте, а північно-східне – опущене. Падіння площини зміщувача – північний схід.

Це тектонічне порушення було перетнуто підземними гірничими виробками, а саме головним західним відкотним та головним західним конвеєрним штреками в районі ПК 12 – ПК 13. Під час розкриття площини зміщувача, зазначеними гірничими виробками, а саме порід підшви вугільного пласта n_7^H Сокальський, спостерігалися сильно перем'яті мілонітизовані породи, представлені піщаним сланцем. Амплітуда зміщення Скиду № 3 в районі розкриття гірничими виробками становить 21–22 м.

Під час проведення підготовчих виробок по пласту n_7^H Сокальський, на ближньому заскіді, а саме по бортовому штреку № 117, конвеєрних № 118, 119, 120, 115 та по оконтурюючому № 115 штреках розкрито тектонічні порушення типу скид з амплітудами зміщення від 0,3 м до 1,5–3 м, які мають північно-східне та північне простягання і відгалужуються від Скиду № 3 та Жужелянського насуву. У зонах цих порушень породи покрівлі дуже тріщинуваті, мілонітизовані, схильні до вивалів, які спостерігалися під час проведення підготовчих та очисних гірничих робіт.

Малоамплітудна порушеність переважно орієнтована перпендикулярно до великих диз'юнктивів (Жужелянського насуву і Скиду № 3). Гірничо-геологічні умови відроблення аварійних лав, окрім малоамплітудної порушеності, також значною мірою ускладнює інтенсивна локальна складчастість, яка разом з розривною тектонікою сприяла деформаціям розтягування порід та розвитку тріщинуватості. Аналіз інтенсивності локальної складчастості досліджуваних ділянок заслуговує на окрему увагу. Відомо, що геологічні суфляри пов'язані з плікативними структурами, наявні тільки за певною мірою вигину складок, яка сприяє розвитку тріщинуватості та зумовлює міру її розвитку – розкриття і щільність тріщин. Мінімальний вигин плікативних порушень (співвідношення амплітуди складки до її розмірів у плані), за яким відбуваються суфляри, згідно з працею [10] становить $1/50$ для антиклінальних складок та $1/35$ – для синклінальних, що відповідає коефіцієнтам вигину структур, відповідно 0,020 і 0,029. Зі збільшенням міри вигину ділянка наявності вторинної тріщинуватості поширюється зі склепінної частини складки до її периферії.

У межах розташування лав № 118 і 119 простежуються щонайменше чотири локальні замкнені синклінальні структури, ускладнені малоамплітудною порушеністю. Найбільша – синклінальна складка, донна частина якої пролягає по трасі конвеєрного штреку № 119. Ця структура має розміри в плані 175 на 110 м і амплітуду 2,6 м у межах ізогіпси –340 м, ширину 275 м та амплітуду 5,6 м у межах ізогіпси –337 м. Отже, коефіцієнт її вигину становить до 0,015 завдовжки та 0,024 завширшки. Відпо-

відно до розрахунків, наведених у праці [11], такі значення вигину достатні для порушення суцільності порід при крихких деформаціях розриву та утворення тріщинуватих зон у вуглепородному масиві. Відносні лінійні деформації розтягування для такої міри вигину структури за розрахунком згідно з відповідними методиками [11] для пласта порід завтовшки 10 м можуть становити від 1,007 до 1,019. Тоді як критичними лінійними деформаціями для розтягування пісковиків є 1,003–1,004, алевролітів – до 1,004–1,006, тобто деформації розтягування гірського масиву лише за рахунок локальної складчастості достатні для порушення суцільності піщано-алевритової товщі, що є вагомим чинником розвитку інтенсивної тріщинуватості порід цієї ділянки та їх значної газопроникності.

Висновки. Головними джерелами надходження метану у гірничі виробки шахти «Степова» є відроблена товща гірських порід з покрівлі лав, зокрема пласти-супутники n_7 , n_7^B (розташовані над пластом n_7^H на відстані, що не перевищує 10–12 м) й тріщинуваті породи в зоні малоамплітудної порушеності та інтенсивної локальної складчастості у смугі між Жужелянським насувом та Скидом № 3.

Велике значення у газонасиченні вугленосних відкладів можуть мати тектонічні порушення, які є шляхами міграції вуглеводневих газів з глибин – відносна метановість гірничих виробок біля тектонічних порушень збільшується до 25–29 м³/т д. в. в., деколи – до близько 50 м³/т д. в. в.

Чинниками формування скупчень вільного метану та накопичення підвищених концентрацій метану в зоні працюючих гірничих виробок у межах шахтного поля є верхньокрейдові відклади, що залягають вище, та розривні тектонічні порушення, а саме Скид № 3, локальна складчастість, малоамплітудна порушеність та інтенсивна тріщинуватість, генетично пов'язана з ними.

Верхньокрейдові непроникні відклади слугують покришкою, що перешкоджає дегазації вгору за стратиграфічним розрізом, а Жужелянський насув у цьому разі є екраном, який унеможливорює природну дегазацію вгору за піднесенням порід. Разом вони є чинниками, які спричиняють високу газоносність порід та

сприяють утворенню підвищених концентрацій метану в гірничих виробках за умовою їх недостатнього провітрювання.

Сумарні запаси метану вугільних пластів і порід, що вміщують вугілля на шахті «Степова» лише з одного стратиграфічного інтервалу між вугільними пластами n_7^H та n_8^B оцінюються приблизно в 1,661 млрд м³. Отже, реальні ресурси вільного метану з урахуванням надходження газів із товщі порід, що залягають нижче пласта n_7^H , прогнозуються значно більшими. Їх уточнення потребує додаткової геологічної оцінки.

Дані шахтної дегазації також свідчать, що у вугільних пластах та вуглевмісних породах концентруються значні обсяги метану, які у процесі експлуатації через системи дегазації викидаються в атмосферу, внаслідок чого втрачається потенційне джерело енергії та посилюється парниковий ефект. Ця обставина вказує на доцільність підвищення ефективності дегазації та утилізації метану.

Стабільна робота шахти й запобігання аварійним ситуаціям у подальшому потребують розроблення окремих проектів дегазації для кожної лави з урахуванням конкретних гірничо-геологічних умов та прогнозу надходження метану. У зв'язку з цим у процесі проектування й експлуатації необхідно забезпечити виконання проектних розробок і технічних заходів щодо впровадження сучасних схем і способів дегазації для вилучення та утилізації всього метану. Реалізація такої програми дасть змогу гарантувати безпечне проведення підземних гірничих робіт, значно зменшити кількість аварій і нещасних випадків під час видобутку кам'яного вугілля, знизити обсяг парникового газу, який буде викидатися в атмосферу й створювати додаткове джерело палива для задоволення потреб шахти та місцевого регіону в енергоносіях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бик С. І. Метаноносність поля шахти «Степова» Львівсько-Волинського басейну / С. І. Бик, І. В. Бучинська, П. М. Явний, І. Б. Книш // Геолог України. – 2009. – № 3. – С. 23–26.
2. Бартошинська Є. Метан у відкладах Львівського палеозойського прогину / Є. Бартошинська, М. Матрофайло, С. Бик // Геолог України. – 2011. – № 2. – С. 20–23.
3. Кушнирук В. А. Газоносность угленосной толщи Межреченского каменноугольного месторождения / В. А. Кушнирук, А. К. Иванов, В. П. Небольсин // Геология и геохимия углей Львовско-Волынского угольного бассейна. – К.: Наук. думка, 1967. – С. 5–14.
4. Петриковская М. Е. Исследование изотопного состава газов Межреченского месторождения / М. Е. Петриковская, А. К. Иванов, В. А. Кушнирук, И. В. Гринберг // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1969. – Вып. 18. – С. 38–45.
5. Бучинська І. Газоносність вугільного пласта n_7^B Львівсько-Волинського басейну / І. Бучинська, П. Явний, О. Шевчук // Геолог України. – № 2 (34). – 2011. – С. 24–28.
6. Явний П. Оцінка метаноносності вугленосної товщі Львівсько-Волинського басейну / П. Явний, І. Бучинська // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2012. – № 3–4 (160–161). – С. 17–28.
7. Сокоренко С. Закономірності зміни метанонадмірності діючих шахт промислової частини Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну / С. Сокоренко, І. Костик // Геолог України. – 2011. – № 2. – С. 76–80.
8. Львовско-Волынский каменноугольный бассейн. Геолого-промышленный очерк / М. И. Струев, В. И. Исаков, В. Б. Шпакова [и др.]. – К.: Наук. думка, 1984. – С. 15–23, 236–247.
9. Сокоренко С. Особливості газоносності вугільного пласта v_6 Львівсько-Волинського басейну і перспективи використання метану / С. Сокоренко, І. Костик, В. Узюк // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2009. – № 2 (147). – С. 19–30.
10. Фролов М. А. Суфлярные выделения метана в угольных шахтах / М. А. Фролов, А. И. Бобров. – М., 1971. – 160 с.
11. Безручко К. А. Умови формування і збереження скупчень метану в низькопористих вугленосних відкладах / К. А. Безручко // Наук. праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. / УкрНДМІ. – Донецьк, 2011. – Вип. 9. – Т. 2. – С. 18–28.