УДК 622.279:622.33

О.В. Абакумова, наук. співр.,
В.П. Денисенко, канд. техн. наук,
(ДонДТУ)

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУ ОБСЯГІВ ВИЛУЧЕННЯ МЕТАНУ НА ВИЇМКОВІЙ ДІЛЬНИЦІ З УРАХУВАННЯМ НЕОДНОРІДНОСТІ МАСИВУ

Приведена методика расчета объемов извлечения угольного метана из основных источников метановыделения на выемочном участке угольной шахты с учетом неоднородности массива пород.

METHOD OF PROGNOSIS OF VOLUMES METHANE WICH WITHDRAW ON MINE TAKING INTO ACCOUNT HETEROGENEITY OF ARRAY

The method of calculation of volumes of withdrawal of coal methane is resulted from the basic sources of methane on an area coulisse of coal mine taking into account heterogeneity of array of breeds.

Досвід роботи метанових вугільних шахт, які застосовують свердловинну дегазацію, та результати досліджень по проблемі вилучення метану для використання його у промисловості показують, що дебіт та вміст метану у метаноповітряних сумішах характеризуються значними коливаннями (коефіцієнт варіації змінюється від 0,25 до 0,4) [1, 2]. Коливання закономірно пов’язані зі зміною основних природних та технологічних факторів розробки та напружено-деформованого стану газонасиченого масиву.

У роботі [3] запропонована методика розрахунку запасів, що вилучаються із підробленого та надробленого вуглепородного масиву, яка дозволяє оцінювати тільки середні обсяги видобувних запасів у межах шахтного поля поверхневими дегазаційними свердловинами у залежності від ефективності цього способу та ефективності розвантаження масивів.

Вилучення метану засобами вентиляції та дегазації у реальних умовах відробки є вираженим динамічним процесом через нерівномірність зміни фізичних і технологічних чинників та неоднорідність газонасиченого масиву. Як показують розрахунки з використанням фактичних даних густота ресурсів, обсяги вилучення метану та коефіцієнт його вилучення із газонасичених масивів змінюються у межах окремих виїмкових полів.

Для проектування заходів по підготовці метаноповітряних сумішей щодо управління їх стабільністю та подальшого використання, необхідно прогнозувати обсяги вилучення метану у конкретних умовах розробки. Запропонована методика прогнозу дозволяє оцінювати зміну обсягів метану, що вилучається шахтними системами дегазації з основних джерел метановиділення під впливом основних гірничо-геологічних та технологічних факторів розробки у процесі відробки виїмкового поля.

Прогноз обсягів видобутку метану виконується на період відробки виїмкового поля конкретної лави, на виїмковій дільниці якої планується застосування штучної дегазації основних джерел метановиділення. На плані гірничих виро-

бок робочого пласту визначається довжина ($L_п$, м) виїмкового поля, де здійснюється прогнозування.

Встановлюється швидкість переміщення лінії очисного вибою ($v_{оч.}$, м/доб.), виходячи з проектних параметрів лави: навантаження на лаву ($A_{доб.}$, т/доб.) та довжини лави ($l_{оч.}$, м).

З використанням даних прогнозних геологічних паспортів лав та геолого-стратіграфічних розрізів упродовж виїмкового поля виконується оцінка густоти потенційно-видобувних ресурсів метану окремо для кожного джерела метановиділення ($P_{п.в}^{i}$, м^3/м^2).

Встановлюються параметри прийнятих до застосування схем дегазації, приймається проектний або досягнутий в даних умовах коефіцієнт ефективності дегазації джерела ($k_{еф.дег.}$). При застосуванні поверхневих вертикальних свердловин для дегазації масиву покрівлі, у доповнення до підземних, встановлюється відстань між ними по простяганню виїмкового поля.

Розраховуються середні обсяги метану, що вилучаються засобами дегазації на видобувній дільниці у період стабільної роботи лави для кожного джерела вилучення метану ($Q^{i}_{дег. ст.}$, м^3/доб.) та встановлюється тривалість стабільного періоду роботи лави (від моменту первинного осідання масиву покрівлі до зупинки лави на демонтаж).

За даними прогнозного геологічного паспорту лави виділяються і встановлюються межі ділянок виїмкового поля упродовж переміщення очисного вибою, де спостерігається зміна гірничо-геологічних та технологічних умов відробки пласту, які суттєво впливають на обсяги вилучення метану засобами дегазації. До гірничо-геологічних факторів відносять:

- тектонічні порушення масиву та їх тип;
- характер зміни літологічного складу порідних масивів;
- підвищену водонасиченість та приплив води;
- зміну природної метаноносності вугільних пластів та шарів порід.

До технологічних факторів відносять зміну:

- довжини лави;
- швидкості переміщення очисного вибою лави, включаючи довгострокові зупинки лави з аварійних причин;
- виймальної потужності пласту, що відпрацьовується;
- застосування поверхневої дегазації.

Для кожної окремої ділянки виїмкового стовпу розраховуються числові значення параметрів зміни середніх обсягів вилучення метану з урахуванням впливу гірничо-геологічних та технологічних факторів розробки і встановлюється тривалість відпрацювання ділянок очисним вибоєм. Будується динамічний ряд зміни обсягів видобутку метану з урахуванням календарного графіку відробки пласту лавою.

На метанових шахтах, де навантаження на очисний вибій обмежено метановим фактором, дегазацію спрямовують, як правило, на вилучення метану з того джерела, яке має найбільшу питому вагу у газовому балансі виробок видобувної дільниці, а ефективність дегазації даного джерела метановиділення достат-

ня для досягнення проектної потужності лави і забезпечення газобезпечних умов праці. При досить високому рівні метановості виробок видобувної дільниці, а також для підвищення повноти вилучення метану з вугленосної товщі застосовують комплексну дегазацію, яка включає в себе типові схеми дегазації: підробленого масиву покрівлі; надробленого масиву підошви пласту і розробляємого вугільного пласту.

У загальному вигляді при застосуванні комплексної дегазації густота потенційно-видобувних ресурсів метану складається:

$$P_{заг.п.в.} = P_{п.в.}^{під.} + P_{п.в.}^{над.} + P_{п.в.}^{пл.}, \text{ м}^3/\text{м}^2$$

де $P_{п.в.}^{під.}$ – густота потенційно-видобувних ресурсів метану у товщі, що підробляється; м^3/м^2; $P_{п.в.}^{над.}$ – густота потенційно-видобувних ресурсів метану у товщі, що надробляється; м^3/м^2; $P_{п.в.}^{пл.}$ – густота потенційно-видобувних ресурсів метану у робочому вугільному пласту; м^3/м^2.

На інтервалі зони інтенсивної підробки ($M_p^{під.}$, м) визначається кількість метаноносних вугільних пластів та прошарків потужністю більше ніж 0,2 м. Визначається їх потужність ($m_{в\,i}$, м), зольність (A^{daf}, %), вологість (W, %), показник пластової густини вугілля (γ, т/м^3), ступінь метаморфізму (V^{daf}, %), природна метаноносність ($x_{вi}$, м^3/т), глибина залягання від поверхні землі або температура порід на даній глибині (t_n, ^{0}C) та відстань по нормалі до напластування від покрівлі робочого пласту до даного пласту-супутнику ($M_{вi}$, м). Також визначають кількість шарів пісковиків, потужністю більше ніж 5 м, які залягають у стратиграфічному інтервалі (або меншої потужності, якщо за ними зафіксовані газопрояви у гірничі виробки чи свердловини). Для кожного шару пісковику визначається його потужність (m_{nj}, м), глибина залягання, природна пористість та метанонасиченість ($x_{п.з,}$м^3/м^3) [4]. Якщо відсутні дані про метанонасиченість пісковиків, вона визначається для кожного пісковику окремо відповідно до [3] за формулою:

$$x_{nj} = k_{e.n} \cdot \frac{0{,}0085 \cdot \gamma_в \cdot H_i}{P_0}, \text{ м}^3/\text{м}^3$$

де $k_{e.n}$ – коефіцієнт ефективної пористості пісковику, частка одиниці; $\gamma_в$ – густина води, $\gamma_в$ = 1,0 т/м^3; H_i – глибина залягання пісковику, м; P_0 = 0,1 МПа – нормальний тиск атмосферного повітря.

Якщо відсутні дані про метаноносність зближених пластів-супутників , то вона розраховується за емпіричною формулою [5]:

$$x_{iв} = A - \frac{B}{H_i + C}, \text{ м}^3/\text{т}$$

де A, B, C – константи рівняння гіперболи.

Згідно графіку наростання метаноносності вугільних пластів з глибиною у зоні метанових газів константи розраховуються по трьом глибинам залягання.

Константа А приймається рівною максимальній метаноносності на великій глибині у даному стратиграфічному розрізі або рівною метаноємкості вугілля по результатам лабораторних досліджень при тиску та температурі на вказаній глибині.

H_i – глибина залягання пласту-супутнику від верхньої границі метанової зони, м,

$$H_i = H \pm h_{iв} \cos \alpha \text{, м}$$

де H – глибина залягання робочого пласту від верхньої границі метанової зони, м; $H = H_n - H_0$; $h_{iв}$ – відстань по нормалі від робочого пласту до підробляємого або надробляємого пласту-супутнику, м(у випадку підробки зближеного пласту береться знак «–», а у випадку надробки – береться знак «+»); H_0 – потужність зони газового вивітрювання, м; H_n – глибина залягання робочого пласту від поверхні землі, м.

Оцінка густоти ресурсів метану для товщі порід та вугільних пластів, що підробляються, на інтервалі зони газового дренажу проводиться за формулою:

$$P_{nв}^{niд} = \sum (q_{вi} \cdot m_{вi}) + \sum (q_{nj} \cdot m_{nj}) \text{, м}^3/\text{м}^2$$

де $q_{вi}$ – питоме вилучення метану із i-го вугільного пласту-супутнику, що потрапляє у результаті підробки у зону газового дренажу потужністю M_p, м^3/м^3 вугілля; $m_{вi}$ – потужність пласта-супутника, м; $q_{вj}$ – питоме вилучення метану з j-го шару метанонасиченої породи (пісковика) у зоні газового дренажу, м^3/м^3 породи; $m_{вj}$ – потужність метанонасиченої породи, м.

Питоме очікуване вилучення метану із окремого i-го пласту або прошарка-супутника визначається за формулою:

$$q_{вi} = (x_{вi} - x_{зi}) \cdot \gamma_{вi} (1 - \frac{M_{вi}}{M_p^{niд}}), \text{ м}^3/\text{м}^3$$

де $x_{вi}$, $x_{зi}$ – пластова природна та залишкова метаноносність пласта-супутни-ка, м^3/т (показники $x_{вi}$ та $x_{зi}$ визначаються через коефіцієнт перерахунку метаноносності за даними зольності та вологості вугілля); $\gamma_в$ – пластова густина вугілля пласта-супутника, т/м^3; $M_{вi}$ – відстань по нормалі від покрівлі робочого пласту до пласту-супутнику, м; $M_p^{niд}$ – відстань ефективної підробки (потужність зони газового дренажу) – гранична відстань по нормалі від покрівлі робочого пласту до пласту-супутнику, що підробляється, при якій газовиділення із останнього дорівнює нулю, м.

$$M_p^{niд.} = k_{у.п.} \, k_{л.} \, m_{в.п.} (1{,}2 + \cos \alpha), \text{ м}$$

де $k_{у.п.}$ – коефіцієнт, що враховує спосіб управління покрівлею у лаві ($k_{у.п.}$ = 60 при повному обваленні покрівлі, $k_{у.п.}$ = 45 при плавному опущенні та утри-

манні покрівлі на кострах, $k_{у.п.}$ = 25 при повному закладанні виробленого простору); $k_{л.}$ – коефіцієнт, що враховує вплив літологічного складу масиву покрівлі на розміри зони газового дренажу ($k_{л.}$=0,8, якщо масив покрівлі на інтервалі зони ефективної підробки вміщує шари пісковиків та вапняків потужністю до 5-7 м кожний з коефіцієнтом міцності f =7-8 і більше, а сумарна потужність їх у розрізі складає 40%).

При наявності шару пісковику або піскового алевроліту потужністю більше 9-10 м проводиться оцінка вказаних шарів на їх газоекрануючі властивості.

У підробленому масиві газоекрануючим на інтервалі газового дренажу є шар породи для якого виконується умова:

$$\varepsilon_{пі} \angle \varepsilon_{кр}$$

$$\varepsilon_{п} = \varepsilon_0 e^{-\frac{C_1 M_1 + C_{2п} m_{пе}}{\ell_{оч}}}$$

де ε_o – деформації породи на рівні покрівлі робочого пласту; C_1, $C_{2п}$ – коефіцієнти, що залежать від літотипу порід покрівлі; змінюються у залежності від міцності порід $2 \div 6$; M_1 – відстань по нормалі від покрівлі робочого пласту до підошви шару породи, що оцінюється, м; $m_{пе}$ – потужність шару породи-екрану, м; l – довжина лави, м.

$$\varepsilon_o = 2{,}05 + \frac{0{,}583 \cdot \ell_{оч}}{M_1}$$

Оцінка ресурсів метану у пласту-супутнику у випадку, коли у масиві покрівлі залягає шар породи, що є газовим екраном, проводиться, якщо виконується умова:

$$M_{ві} \le M_{п.м}$$

де $M_{п.м}$ – відстань по нормалі від покрівлі робочого пласту до підошви шару породи-екрану.

Питоме очікуване виділення метану із окремого пісковика визначається за формулою:

$$q_{пj} = x_{пj} \cdot \frac{M_{пj}}{M_p^{під.}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$$

де $x_{пj}$ – природна (ефективна) метанонасиченість пісковику, $м^3/м^3$.

Оцінка густоти ресурсів метану для товщі порід та вугільних пластів, що надробляються на інтервалі ефективної надробки (газового дренажу) визначається за формулою:

$$P_{nв}^{над} = \sum(q_{вi} \cdot m_{вi}) + \sum(q_{nj} \cdot m_{nj}),\ м^3/м^3$$

де $q_{вi}$ – питоме вилучення метану із *i*-го надробленого вугільного пласту-супутнику, $м^3/м^3$; $m_{вi}$ – потужність надробленого вугільного пласта-супутника, м; q_{nj} – питоме вилучення метану із надробленого *j*-го шару пісковику, $м^3/м^3$ породи; m_{nj} – потужність метанонасиченого шару пісковику, м.

Питоме очікуване вилучення метану із окремого *i*-го вугільного пласта-супутника визначається за формулою:

$$q_{вi} = (x_{вi} - x_{зi}) \cdot \gamma_{вi}(1 - \frac{M_{вi}}{M_p^{над}}),\ м^3/м^3$$

де $M_p^{над.}$ – відстань у підошву пласту, ефективна надробка (потужність зони газового дренажу), м; $M_p^{над} = 60\ k_л$ відповідно до [6]. $k_{л.}$=0,7, якщо масив покрівлі на інтервалі зони ефективної підробки вміщує шари пісковиків та вапняків потужністю до 5-7 м кожний з коефіцієнтом міцності *f* =7-8 і більше, а сумарна потужність їх у розрізі складає 40%.

При наявності шару пісковику або піскового алевроліту потужністю більше 9-10 м проводиться оцінка вказаних шарів на їх газоекрануючі властивості.

Газоекрануючою породою, через яку у процесі надробки не проникає метан з надроблених пластів, є потужний шар дрібнозернистого пісковику або піскового алевроліту з коефіцієнтом міцності по шкалі проф. М.М. Протод'яконова f ≥ 7-8 та потужністю по нормалі більше 9-10 м [7].

Питоме вилучення метану із окремого шару пісковику, що надробляється, визначається за формулою:

$$q_{вj} = x_{nj} \cdot (1 - \frac{M_{nj}}{M_p^{над.}}),\ м^3/м^3$$

Оцінка потенційно-видобувних ресурсів метану у вугільних пластах і породах у випадку, коли у масиві, що надробляється, на інтервалі зони газового дренажу розташовані шари породи з газоекрануючими властивостями, проводиться при умові

$$M_{ni} \le M_{е.м}$$

де $M_{е.м}$ – відстань по нормалі від підошви робочого пласту до покрівлі шару породи-екрану, м.

Густота потенційно-видобувних ресурсів метану у вугільному пласту, який розробляється розраховується за формулою:

$$P_{nв}^{р.п} = (x_в - x_з) \cdot \gamma_в \cdot m_в,\ м^3/м^2$$

де $x_в$, $x_з$ – природна та залишкова метаноносність вугілля робочого пласту, м^3/т; $\gamma_в$ – густина вугілля робочого пласту, т/м^3; $m_{вi}$ – корисна потужність пласту, м.

Залишкова метаноносність вугілля, виданого за межі видобувної дільниці, у залежності від ступеню метаморфізму та температури порід на глибині розробки визначається по таблиці 1.

Таблиця 1 – Залишкова метаноносність кам'яного вугілля [5]

Глибина розробки, Н, м	Температура масиву, Т, ° С	Залишкова метаноносність вугілля при виході летючих речовин											
		8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52
100	11	7,4	5,9	5,0	4,5	4,1	3,7	3,4	3,2	3,0	2,6	2,6	2,5
200	15	6,9	5,5	4,7	4,2	3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3
300	18	6,6	5,2	4,4	3,9	3,5	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1
400	21	6,3	5,0	4,2	3,7	3,3	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,9
500	25	5,9	4,7	3,9	3,4	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,9	1,8	1,7
600	28	5,6	4,4	3,7	3,2	3,9	2,5	2,4	2,2	2,1	1,8	1,7	1,6
700	31	5,4	4,1	3,5	3,0	2,7	2,3	2,2	2,1	2,0	1,7	1,6	1,5
800	35	5,1	3,9	3,3	2,8	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4
900	38	4,9	3,7	3,1	2,6	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
1000	41	4,7	3,5	2,9	2,5	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
1200	44	4,6	3,4	2,7	2,4	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

Для нових горизонтів і блоків, що проектуються для відробки, а також пластів, які раніше не відроблялись, середньодобовий рівень обсягів вилучення метану за час повної відробки виїмкового поля визначаються з урахуванням густоти потенційно-видобувних ресурсів метану ($P^i_{п.в.}$) у масиві, котрий підлягає дегазації, ефективності дегазації в даних умовах і проектної швидкості посування лінії очисного вибою за формулою:

$$Q^i_{дег.с.р.} = k^i_{в.дег.} \cdot P^i_{п.в.} \cdot \nu^{-a}_{оч.} \cdot S \text{ , м}^3\text{/доб.}$$

де $k^i_{в.дег.}$ – коефіцієнт вилучення метану дегазацією, частка одиниці; $k^i_{в.дег.}$ = 1,2 $k^{\ i}_{еф.дег.}$; $k^i_{еф.дег.}$ – коефіцієнт ефективності дегазації даного джерела метановиділення: підроблений масив покрівлі i=1; надроблений масив підошви пласту i=2; вугільний масив робочого пласту i=3, частки одиниці. Приймається і обґрунтовується згідно [8] або приймається з досвіду відробки вугільних пластів; $\nu_{оч.}$ – проектна швидкість посування лінії очисного вибою, м/доб.; a – емпіричний коефіцієнт, що враховує газовіддачу у свердловини у конкретних умовах розробки пласту, числові значення коефіцієнту наведені у таблиці 2; S – площа вугільного пласту, яка відробляється лавою за добу, м^2/доб.; $P^i_{в.}$ – густота потенційно-видобувних ресурсів метану, що вилучаються засобами дегазації та вентиляції при $\nu_{оч.}$ = 1,0 м/доб., м^3/м^2.

Таблиця 2 – Значення емпіричного коефіцієнту *а* у залежності від структури масиву порід

Масив, що дегазується	Характеристика масиву порід, як джерела виділення метану	Значення коефіцієнту, *а*
Масив вугілля	метаноносне вугілля	0,48-0,5
Масив порід покрівлі	метаноносні вугільні пласти-супутники + породи	1,1-1,35
	метанонасичені породи + вугільні пласти-супутники	0,7-0,8
Масив порід підошви	метаноносні вугільні пласти-супутники + породи	0,6-0,7
	метанонасичені породи + вугільні пласти-супутники	0,45-0,5

У разі роботи лави у зоні тектонічних порушень видобувні ресурси метану встановлюються з урахуванням впливу тектонічних порушень на обсяги вилучення метану

$$k^{i}_{в.дег.п.} = k^{i}_{в.дег.} \cdot k_{п.}^{1i}$$

де $k_{п.}^{1i}$ – емпіричний коефіцієнт, що враховує підвищення повноти вилучення метану у зонах тектонічних порушень порівняно з непорушеними масивами, частка одиниці.

Числові значення коефіцієнту встановлюються експериментально для даних умов розробки пласту з урахуванням типу та параметрів порушення, що перетинаються очисним вибоєм. При відсутності таких даних значення коефіцієнту приймається по таблиці 3.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнту підвищення повноти вилучення метану у зонах тектонічних порушень

Характеристика порушення	Коефіцієнт підвищення повноти вилучення метану ($k_{п.}^{1i}$)
Позитивні складки або флексури з підвищеною тріщинуватістю	2,0-2,15
Діагональні мікронасуви або скиди з амплітудою 0,25-0,75 м	1,45-1,5
Серія мікророзривів та тріщин з амплітудою 0,1-0,25 м	1,3-1,49

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абакумова О.В. Оцінка якості шахтного метану при вилученні підземною дегазаційною системою вугільної шахти / О.В. Абакумова, І.М. Єгоров // Сборник научных трудов ИГТМ НАНУ – Днепропетровск, 2009. – вып. 81.– С. 3-10.

2. Булат А.Ф. Научно-технические основы создания шахтных когенерационных энергетических комплексов/ А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис. – К.: Наукова думка, 2006. – 175 с.

3. Лукинов В.В. Методика расчета извлекаемых запасов метана из под- и надработанного углепородного массива / В.В. Лукинов // Сборник научных трудов ИГТМ НАНУ – Днепропетровск, 2002. – вып. 37.– С. 62 – 69.

4. Методика определения газоносности вмещающих пород угольных месторождений при геологоразведочных работах. – М.: Недра, 1988. – 110 с.

5. Лидин Г.Д. Газообильность каменноугольных шахт Северо-Западной части Донецкого бассейна / Г.Д. Лидин, В.П. Денисенко – М.: Наука, 1989. – Т. 6 – 224с.

6. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – С. 3 - 53.

7. Денисенко В.П. Установление границ зоны газового дренирования в надрабатываемом массиве с учетом литологического состава пород / В.П. Денисенко // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, ДонГТУ, 2008. – № 27 . – С. 25-37

8. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. СОУ 10.1.00174088.001-2004. – Киев, Минтопэнерго, 2004. – С.22 – 30.