

Теоретическое обоснование дебита метана из угольного пласта после гидроразрыва

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-5-72-75>

УШАКОВ С.Ю.

Канд. техн. наук,
технический директор филиала
ООО УК «ПМХ» – «ПМХ – Уголь»,
650021, г. Кемерово, Россия

ЛЕКОНЦЕВ Ю.М.

Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
ИГД СО РАН им Н.А. Чинакала,
630091, г. Новосибирск, Россия

САЖИН П.В.

Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
ИГД СО РАН им Н.А. Чинакала,
630091, г. Новосибирск, Россия
e-mail: pavel301080@mail.ru

МЕЗЕНЦЕВ Ю.Б.

Начальник
производственно-технического
управления филиала
ООО УК «ПМХ» – «ПМХ – Уголь»
650021, г. Кемерово, Россия

Приведены теоретически обоснованные и экспериментально проверенные расчеты по изменению дебита метана из дегазационных скважин на примере применительно к условиям шахты им. С.Д. Тихова при осуществлении серии поинтервальных гидроразрывов. Определены параметры сетки заложения этих скважин и область распространения плоскости гидроразрыва.

Ключевые слова: дегазация, поинтервальный гидроразрыв, скважина, дебит метана.

Для цитирования: Теоретическое обоснование дебита метана из угольного пласта после гидроразрыва / С.Ю. Ушаков, Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин и др. // Уголь. 2022. № 5. С. 72-75. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-5-72-75.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее существенных факторов, сдерживающих потенциальные возможности современных высокопроизводительных механизированных комплексов и специализированных горных машин, применяемых на угольных шахтах, является метанонасыщенность пластов. Практические и научно-исследовательские работы показывают, что с ростом нагрузок на очистной забой значительно увеличивается метановыделение из разрушаемого рабочими органами машин угля [1, 2]. Это нередко приводит к необходимости снижения темпов работы горных машин или к полной их остановке для снижения концентрации метана до допустимого уровня.

Ремиссия газосодержания угольных пластов и вмещающих пород достигается применением различных способов дегазации и каптажа [3, 4]. Весьма разнообразные горно-геологические условия залегания угольных пластов, а также отличия их физико-механических свойств определяют необходимость поисковых научно-практических и теоретических исследований для избирательного выбора технологий дегазации с учетом особенностей угольного месторождения. Такой подход будет отвечать максимальному извлечению метана, низкий остаточный уровень которого позволит повысить эффективность работы горных машин и безопасность работ в целом независимо от категории шахты по газу.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА

В мировой практике наиболее широкое и эффективное применение получили технологии дегазации с различными

вариантами гидровоздействия на угольный пласт через скважины, пробуренные с поверхности или из горных выработок.

В Кузнецком угольном бассейне, на шахтах с высоким содержанием метана, применяются технологии с гидровоздействием на пласты [5, 6]. В основном эти технологии включают: бурение скважин (заблаговременное или текущее); герметизацию их устья; нагнетание воды в темпе гидронасыщения или гидрорасчленения; откачку воды; каптирование метана. Применяемые технологии недостаточно эффективны, так как нет равномерного гидровоздействия по всей длине скважины – вода промывает «русло» в наиболее слабом ее участке, резко снижая предполагаемый результат дегазации.

На шахте им. С.Д. Тихова впервые применена технология поинтервального гидроразрыва угольного пласта через необсаженные скважины, пробуренные из горной выработки. Схема расположения скважин поинтервального гидроразрыва представлена на рис. 1.

Интервал гидроразрывов по длине скважины устанавливался из физико-механических свойств угольного массива и составлял 25-30 м. Гидроразрывы осуществлялись не имеющим аналогов уравновешенным пакерным устройством из скважин диаметром 76 мм и глубиной 180-200 м.

Для дегазационных скважин, в которых не производились гидроразрывы при проведении шахтных экспериментальных работ, расчет удельного метановыделения рассчитывался в соответствии с Инструкцией [7]:

$$q_0 = X\beta, \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}, \quad (1)$$

где $\beta = 1/(16+12m)$, X – природная газоносность пласта ($\text{м}^3/\text{т}$), m – мощность угольного пласта, м. В условиях конкретного угольного пласта, обрабатываемого на шахте им. С.Д. Тихова, $X = 18-20 \text{ м}^3/\text{т}$, $m = 1,2$ м. Таким образом, в соответствии с формулой (1) расчетное удельное метановыделение газа $q_0 = 0,7 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}$.

Однако в ходе проведения экспериментальных работ было зафиксировано фактическое среднесуточное метановыделение газа из стандартных дегазационных скважин на уровне $q_0^\Phi = 0,1 - 0,18 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}$. Из экспериментальной скважины, где было выполнено три гидроразрыва, метановыделение достигало уровня в $q_0^\Phi = 0,38 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}$ в первые 10 сут. с постепенным понижением до уровня $q_0^\Phi = 0,17 - 0,2 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{сут}$ в течение 30 сут. Таким образом, фактическое метановыделение из стандартных скважин было примерно в три раза меньше, чем из скважины, в которой выполнены три поинтервальных гидроразрыва.

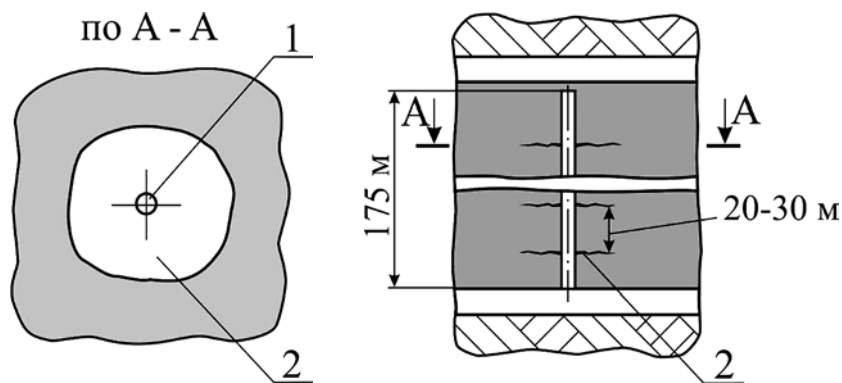


Рис. 1. Схема проведения поинтервальных гидроразрывов в угольном пласте: 1 – дегазационная скважина; 2 – плоскость гидроразрыва

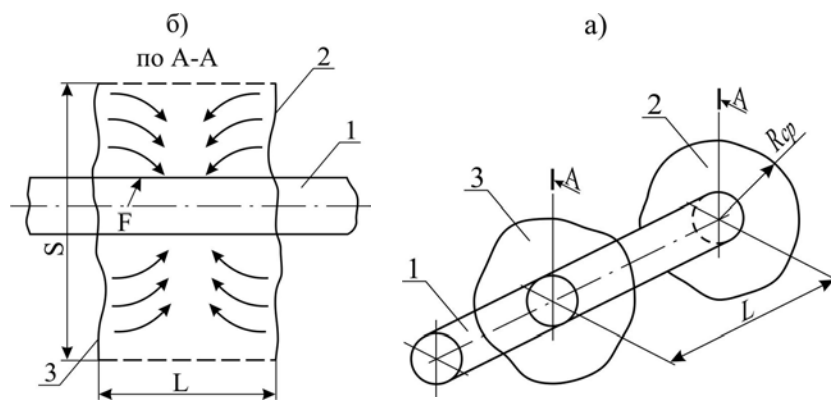


Рис. 2. Модель дегазации угольного пласта методом поинтервального гидроразрыва: 1 – дегазационная скважина; 2, 3 – плоскости трещин гидроразрыва; S – площадь плоскости гидроразрыва; R_{cp} – средний радиус плоскостей гидроразрыва; F – площадь боковой поверхности скважины длиной L

Основываясь на полученных экспериментальных данных, уточним расчет удельного метановыделения в скважину с учетом фильтрации газа из созданной гидроразрывом трещины, а также с учетом того, что суммарное выделение метана из дегазационной скважины зависит от степени перекрытия сечения скважины продуктами бурения, выраженной коэффициентом c .

$$q'_0 = \left(\frac{q_0}{3} + q''_0 \right) \cdot c, \quad (2)$$

где $c = \left(1 - \frac{V_{III}}{V_{СК}} \right)$ – коэффициент снижения метановыделения из-за перекрытия сечения скважины, который определяется экспериментально; где V_{III} – объем штока в скважине, остающийся после бурения; $V_{СК}$ – объем пробуренной скважины; q''_0 – метановыделение в дегазационную скважину из созданной искусственной трещины гидроразрыва.

Для теоретического обоснования выхода метана из экспериментальной скважины рассмотрим модель участка одного интервала гидроразрыва (рис. 2).

На рис. 2 а изображена схема участка дегазационной скважины между двумя соседними плоскостями гидро разрыва в аксонометрии, а на рис. 2 б – в разрезе по А-А. Стрелками указаны направления миграции метана из массива в скважину из созданных гидроразрывом плоскостей.

Для рассматриваемого участка теоретическое удельное выделение метана на выделенном участке с учетом пористости угля γ находим:

$$q_{от}'' = \frac{\omega \cdot \gamma}{F}, \quad (3)$$

где ω – объемный расход газа определяем по формуле Дарси:

$$\omega = \frac{K \cdot \Delta P \cdot S}{\mu \cdot L} \quad (4)$$

где K – коэффициент пропорциональности, m^2 ; ΔP – перепад давления между скважинным и атмосферным, Па; S – площадь плоскости гидроразрыва, m^2 ; μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с; L – длина участка скважины, м; S – площадь боковой поверхности участка скважины, m^2 .

Подставив (4) в (3) получим:

$$q_{от}'' = \frac{K \cdot \Delta P \cdot \gamma \cdot S}{\mu \cdot L \cdot F}, \quad (M^3/M^2) \cdot \text{сут.} \quad (5)$$

Исходя из допущения, что метановыделение q_o'' равно теоретическому значению $q_{от}''$, и с учетом количества поинтервальных гидроразрывов «П» в одной скважине получим:

$$q_o'' = q_{от}'' \cdot n.$$

Тогда прогнозное теоретическое значение дебита метана [7] после завершения буровых работ на участке выемочного столба, с применением поинтервальных гидроразрывов может определено по скорректированной формуле:

$$G'_6 = \frac{l'_c \cdot m \cdot N'}{1440 \cdot t'_6} \cdot \frac{q'_0}{a} \cdot \ln(\alpha \cdot t'_6 + 1), \quad m^3/\text{мин},$$

где N' – число пробуренных скважин; t'_6 – время дегазации, отсчитываемое с начала бурения скважин на дегазуемом участке разрабатываемого пласта, сут.; τ' – продолжительность дегазации, отсчитываемая с момента окончания буровых работ на дегазуемом участке разрабатываемого пласта, сут.; l'_c – полезная длина скважины, м; m – мощность угольного пласта; α – эмпирический коэффициент, сут⁻¹.

Расход метановоздушной смеси (МВС), извлекаемой при предварительной дегазации разрабатываемого пласта, определяется по формуле [7]:

$$Q_{см.р.п} = G_d + n_c \cdot \Pi_{уд} \cdot \sqrt{B_y},$$

где $G_d = G'_6$ – дебит метана из скважин (метанодобываемость), $m^3/\text{мин}$; $n_c = N'$ – число одновременно работающих скважин; $\Pi_{уд}$ – допустимые удельные подсосы воздуха в дегазационные скважины, МПа; B_y – разряжение на устье скважины, МПа.

В настоящее время ведутся экспериментальные работы по внедрению технологии поинтервального гидроразрыва (ПГР) с целью дегазации угольного пласта 23 на шахте им. С.Д. Тихова. На рис. 3 представлен один из графиков изменения дебита метана из скважины, в которой произведены гидроразрывы на трех уровнях.

Опыт ведения дегазационных работ на данной шахте показывает, что уровень дебита газа из них не превышает 0,1 $m^3/\text{мин}$. Таким образом, реализация технологии поинтервального гидроразрыва при дегазации угольного пласта позволяет увеличить дебит метана в 8-10 раз при осуществлении гидроразрывов не менее, чем на трех уровнях. Вероятно, извлечение газа из дегазационных скважин можно еще больше увеличить при проведении большего числа гидроразрывов.

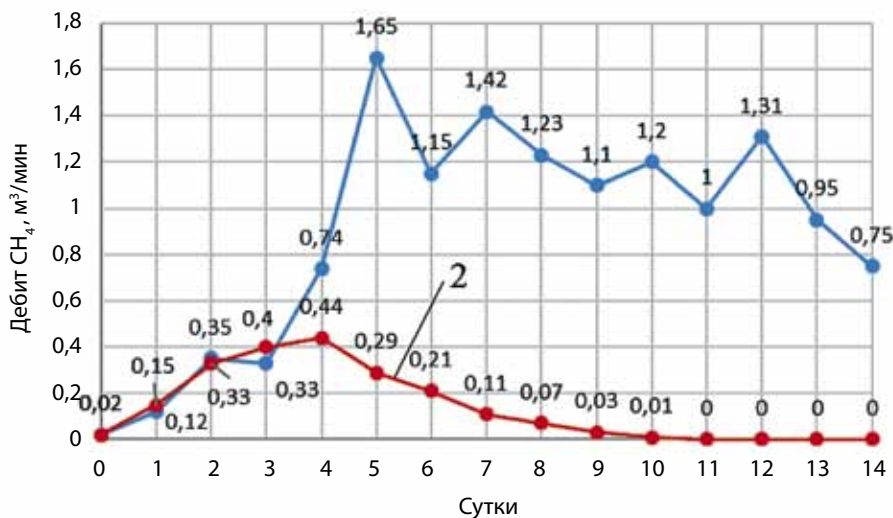


Рис. 3. График изменения дебита метана из экспериментальной скважины после гидроразрыва: 1 – изменение дебита метана из скважин с гидроразрывом; 2 – изменение дебита метана из скважин без гидроразрывов

ВЫВОДЫ

Таким образом, на экспериментальном участке установлен радиус гидроразрыва, который находится в интервале от 16 до 24 м. Создание дополнительной искусственной трещиноватости позволяет значительно увеличить как расход МВС, так и дебит метана из дегазационных скважин, а следовательно, производить более полную дегазацию угольного пласта и повысить безопасность его отработки.

Проведенные исследования показали перспективность применения технологии поинтервального гидроразрыва и оборудования его реализации с целью дегазации угольного пласта.

В перспективе развития технологии НГР необходимо продолжить шахтные исследования на других угольных пластах Кузбасса для наработки базы данных, повышающих достоверность теоретических расчетов.

Список литературы

1. Ермаков А.Ю., Качурин Н.М. Метановыделение при выемке мощных пологих угольных пластов // Горный информационно-

аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 6. С. 193-206.

2. Газовыделение при механодеструкции угля / В.В. Дырдин, Т.Л. Ким, А.А. Фофанов и др. // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 5. С. 44-53.
3. Клишин В.И. Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения. Новосибирск: Наука. 2002. 199 с.
4. Метан в шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев, Г.С. Забурдяев и др. М.: ИПКОН РАН, 2006. 312 с.
5. Леконцев Ю.М., Сажин П.В., Новик А.В. Повышение эффективности дебита метана из дегазационных скважин / В сборнике: Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. 2020. С. 476-478.
6. Патент РФ № 2756594. Способ дегазации угольного пласта / Леконцев Ю.М., Сажин П.В., Новик А.В. Опубл. 01.10.2021. Бюл. № 28.
7. Разрушение горных пород. СПб.: ЛГИ им. Г.В. Плеханова, 1991. 92 с.

Original Paper

UDC 622.35 © S.Yu. Ushakov, Yu.M. Lekontsev, P.V. Sazhin, Yu.B. Mezentsev, 2022
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 5, pp. 72-75
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-5-72-75>

Title

THEORETICAL JUSTIFICATION OF METHANE YIELD FROM A COAL SEAM UPON HYDRAULIC FRACTURING

Authors

Ushakov S.Yu.¹, Lekontsev Yu.M.², Sazhin P.V.², Mezentsev Yu.B.¹

¹IMH-Ugol, a branch of Industrial Metallurgical Holding Group, Kemerovo, 650021, Russian Federation

²Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Authors Information

Ushakov S.Yu., PhD (Engineering), Technical Director

Lekontsev Yu.M., PhD (Engineering), Senior Researcher Associate

Sazhin P.V., PhD (Engineering), Senior Researcher Associate,

e-mail: pavel301080@mail.ru

Mezentsev Yu.B. Head of Production and Technical Department

Abstract

A theoretically substantiated and experimentally verified calculation of changes in the methane yield from degassing boreholes upon a series of interval hydrofracking is given, exemplified for the conditions of S. D. Tikhov mine. Parameters of the borehole pattern and the area of hydrofracking distribution were defined.

Keywords

Degassing, Interval hydrofracking, Borehole, Methane yield.

References

1. Yermakov A.Yu. & Kachurin N.M. Methane release in mining of thick flat coal seams. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2018, (6), pp. 193-206. (In Russ.).
2. Dyrdin V.V., Kim T.L., Fofanov A.A., Plotnikov E.A. & Voronkina N.M. Gas release in mechanical coal destruction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Gornyj zhurnal*, 2019, (5), pp. 44-53. (In Russ.).

3. Klislin V.I. Adaptation of powered support to dynamic stress conditions. Novosibirsk: Nauka Publ., 2002, 199 p. (In Russ.).

4. Ruban A.D., Zaburdyayev V.S., Zaburdyayev G.S. et al. Methane in collieries and ore mines in Russia: prediction, extraction and use. Moscow, IPKON RAS Publ., 2006, 312 p. (In Russ.).

5. Lekontsev Yu.M., Sazhin P.V. & Novik A.V. Enhancement of methane yield from degassing boreholes. In collected works: Problems of geology and subsoil development: Proceedings of XXIV International Symposium named after Academician M.A. Usov for students and young scientists dedicated to the 75th Anniversary of Victory in the Great Patriotic War. 2020, pp. 476-478. (In Russ.).

6. Lekontsev Yu.M., Sazhin P.V. & Novik A.V. A method of coal bed degassing. RF Pat. No. 2756594, publ. 01.10.2021, Bulletin 28.

7. Rock disintegration. St. Petersburg, Leningrad Mining Institute named after G.V. Plekhanov, 1991, 92 p. (In Russ.).

For citation

Ushakov S.Yu., Lekontsev Yu.M., Sazhin P.V. & Mezentsev Yu.B. Theoretical justification of methane yield from a coal seam upon hydraulic fracturing. *Ugol'*, 2022, (5), pp. 72-75. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-5-72-75](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-5-72-75).

Paper info

Received, March 4, 2022

Reviewed March 28, 2022

Accepted April 21, 2022

DEGASSING