

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕРАЗГРУЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ ИЗ НИХ МЕТАНА

В.А. Бобин, зав. отд. Института проблем комплексного освоения недр РАН, д-р техн. наук, bobin_va@mail.ru

Перспективные для промышленной добычи метана метаноугольные месторождения представляют собой мощные углеводородоносные толщи с большим количеством высокогазоносных угольных пластов и пропластков.

Заблаговременное извлечение метана из неразгруженных угольных пластов возможно при изменении их физико-механических, термодинамических и фильтрационных свойств. Для их реализации используются природоподобные и техногенные технологии, основная задача которых состоит в значительном увеличении природной проницаемости неразгруженных угольных пластов.

Показано, что природоподобные способы увеличения проницаемости неразгруженных угольных пластов для добычи из них метана позволят с помощью систем как коллинеарных, так и компланарных горизонтальных скважин не только увеличить проницаемость этих угольных пластов в сотни раз по сравнению с природной, но и обеспечить промышленный дебит метана на уровне $5 \text{ м}^3/\text{с}$.

В свою очередь, предлагаемые техногенные способы увеличения проницаемости угольного пласта, а именно: технология вибровоздействия с частотой 10–100 Гц на добычную зону газонасыщенного угольного пласта пульсирующим гидродинамическим воздействием через искусственно созданные трещины гидроразрыва, а также технология формирования зоны перетока между частями пласта для повышения гидродинамической связи между горизонтальными скважинами, пробуренными по пласту, увеличивают проницаемость пласта в 3–10 раз.

Ключевые слова: природоподобные и техногенные способы, фильтрация, проницаемость, неразгруженные угольные пласты, добыча угольного метана.

NATURAL-LIKE AND TECHNOLOGICAL WAYS TO IMPROVE THE PERMEABILITY OF UNLOADED COAL SEAMS FOR THE PRODUCTION OF METHANE FROM THEM

V.A. Bobin, Head of Department, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Ph. D., bobin_va@mail.ru

Promising for commercial coal mining of methane coal deposits constitute a powerful coal-containing strata with lots of high gas bearing formations of coal seams and interlayers.

Preliminary extraction of methane from unloaded coal seams is possible by changing their physico-mechanical, thermodynamic and filtration properties. For their realization, nature-like and technogenic technologies are used, the main task of which is to significantly increase the natural permeability of unloaded coal seams.

It is shown that natural-like ways increase the permeability of the coal seams stressed for the extraction of methane from them will make it possible, using both systems collinear and coplanar horizontal wells not only to increase the permeability of these coal seams hundreds of times in comparison with the natural, but also to provide industrial methane 5 level flow m^3/s .

In turn, the proposed technogenic methods of increasing the permeability of the coal seam, namely: the technology of vibration with a frequency of 10–100 Hz on the mining zone of a gas-saturated coal seam with a pulsating hydrodynamic effect through artificially created fracturing fractures, and the technology of forming a flow zone between the parts of the reservoir to enhance the hydrodynamic connection between horizontal wells drilled through the reservoir, the permeability of the reservoir increases by 3–10 times.

Keywords: prirodopodobnye and man-made ways, filtering, permeability, nerazgruzhennye coal seams, coal bed methane extraction.

Введение

Перспективные для промысловой добычи метана метаноугольные месторождения представляют собой мощные углевлещающие толщи с большим количеством высокогазоносных угольных пластов и пропластков.

Заблаговременное извлечение метана из неразгруженных угольных пластов возможно при изменении их физико-механических, термодинамических и фильтрационных свойств. Для их реализации используются природоподобные и техногенные способы, основная цель создания которых состоит в значительном увеличении природной проницаемости неразгруженных угольных пластов.

Основные положения концепции промышленного извлечения метана из угольных пластов сформулированы в трудах К.Н. Трубецкого, В.В. Гурьянова, Л.А. Пучкова и других исследователей [1, с. 13; 2, с. 78; 3, с. 267].

Основная часть

В ИПКОН РАН разработаны природоподобные способы повышения проницаемости угольного пласта для заблаговременного извлечения метана из неразгруженных угольных пластов. Наиболее перспективным из них является способ, использующий горизонтальные скважины (ГС), пробуренные по пласту [4–6].

Идея этого направления исследований заимствована в природе, где фильтрация метана из угольных пластов происходит вдоль трещин различного размера и направлений, которые образуются в пластах в результате сдвижения горного массива, приводящего к нарушению сплошности пластов и образованию тектонических нарушений различной интенсивности.

В этом смысле ГС являются магистральными трещинами, вокруг которых под действием природных сил формируются разветвленные ветви трещин меньшего размера, что резко увеличивает проницаемость пласта, и в этом смысле технологии их формирования можно назвать природоподобными. Компланарная система ГС формируется в угольном пласте с помощью технологии бурения по радиусам [4].

Механизм дегазирующего влияния горизонтальных скважин связан с образованием зоны неупругих деформаций (пластическая зона), где пористость угля увеличивается по отношению к природной, возрастает газопроницаемость пласта, что повышает скорость десорбции метана из этой зоны. За ней в глубь массива идет зона упругих деформаций, в которой перемещение метана происходит по макропорам и макротрещинам, и их наличие способствует движению газа в опережающую скважину в течение длительного периода времени.

Общим свойством для этих зон является то, что в них нарушена целостность угольного пласта под действием энергии межмолекулярного отталкивания молекул метана, которая выражается сначала в разрыве связей между структурными элементами угольного вещества на микроуровне, а затем и в нарушении макроструктуры угля [7, с. 54; 8, с. 12]. Для оценки проницаемости используется метод замера скорости газовой выделенности в скважину [9, с. 67; 10, с. 111; 11, с. 96].

Характер изменения проницаемости угольного пласта с углублением в него от поверхности скважины описывается кубической параболой, параметры которой определяются при-

родной проницаемостью пласта ($5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-5}$ мД), газопроницаемостью пласта на поверхности обнажения в выработке (λ_0), текущим значением радиуса от поверхности цилиндрической скважины в глубь угольного пласта. Расчеты дают значения для $\lambda_0 = 6,3$ мД, $R_{эфф} = 5$ м [10, с. 89]. При этом начальное значение дебита метана из объема угля в скважину около $1 \text{ м}^3/\text{с}$. Поэтому для обеспечения дебита метана, имеющего промышленное значение и составляющего $5 \text{ м}^3/\text{с}$, необходимо задействовать разветвленную систему горизонтальных коллинеарных скважин.

Согласно проведенной оценке величины газопроницаемости, можно ожидать, что увеличение ее для неразгруженных угольных пластов при коллинеарном расположении горизонтальных скважин составит почти три порядка величины. т.е. увеличится в достаточно протяженной зоне вокруг горизонтальной скважины, составляющей в диаметре 8 метров, почти в тысячу раз с 5×10^{-3} мД до 6,3 мД.

В свою очередь, природоподобный способ повышения проницаемости угольного пласта для добычи угольного метана из неразгруженных пластов, использующая систему компланарных ГС (рис. 1), рационально использовать в таких случаях, когда неизвестна ориентация трещин кливажа в угольном пласте [5].

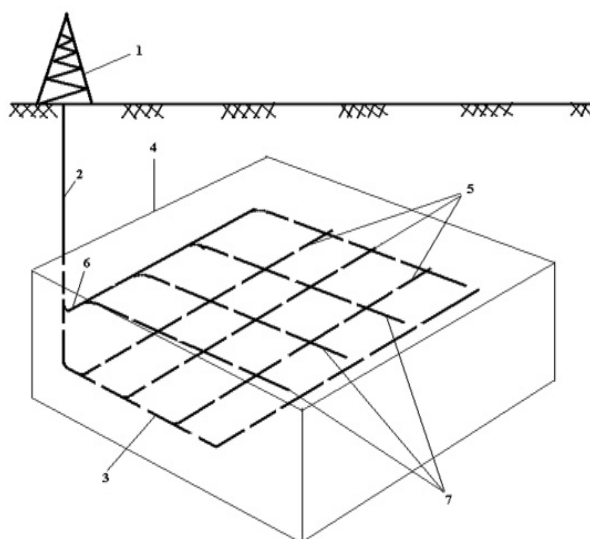


Рис. 1. Схема природоподобного способа повышения проницаемости угольного пласта

Для реализации природоподобного способа повышения проницаемости угольного пласта для добычи метана из неразгруженного угольного пласта с использованием компланарных ГС с помощью буровой вышки (1) проходят вертикально-восходящий ствол (2), затем создают первый горизонтальный ствол (3) в угольном пласте (4), и далее сеть компланарных горизонтальных скважин (5) и (7), причем для создания сети скважин (7) используют предварительно пробуренный второй горизонтальный ствол (6).

Система компланарных скважин разбивает продуктивную в отношении метана область угольного пласта на два равновеликих объема. В каждом из них создана система параллельных горизонтальных скважин, являющихся для каждого отдельного объема угольного пласта системой коллинеарных скважин. При этом для каждого равновеликого объема угольного пласта значение коэффициента газопроницаемости определяется по выше приведен-

ной методике, а коэффициент газопроницаемости всего угольного пласта — как среднее арифметического значение полученных коэффициентов газопроницаемости для каждого отдельного объема.

Таким образом, природоподобные способы увеличения проницаемости неразгруженных угольных пластов для добычи из них метана позволят с помощью систем как коллинеарных, так и компланарных ГС не только увеличить проницаемость этих угольных пластов в сотни раз по сравнению с природной, но и обеспечить промышленный дебит метана на уровне $5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Заблаговременное извлечение метана из неразгруженных угольных пластов возможно при изменении их физико-механических, термодинамических и фильтрационных свойств [12, с. 256; 13, с. 97]. Для их реализации используются техногенные воздействия с использованием гидродинамических систем разной технической сложности, что отличает их от природоподобных способов.

В ИПКОН РАН разработаны два таких способа и дано научное обоснование эффективности их применения в условиях Кузбасса [4–6].

Например, на рис. 2 представлена схема систем вибровоздействия (9, 10) с частотой 10–100 Гц на добычную зону газонасыщенного угольного пласта (12) пульсирующим гидродинамическим воздействием через искусственно созданные трещины гидроразрыва (7, 8) [5].

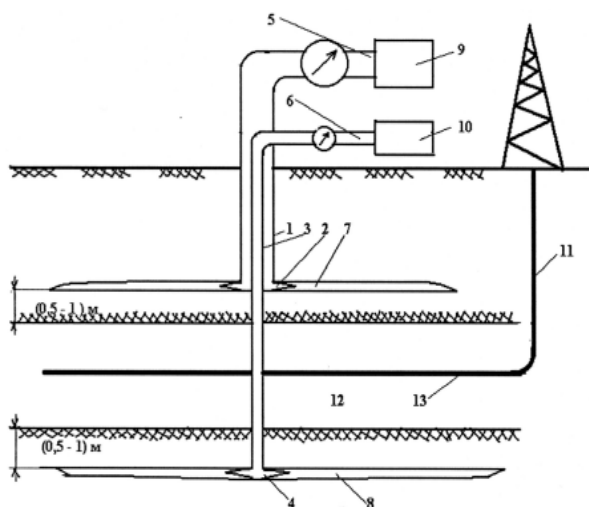


Рис. 2. Схема систем вибровоздействия на добычную зону газонасыщенного угольного пласта

Такую схему вскрытия угольного месторождения и добычи метана можно эффективно использовать, например, при добыче метана из угленосных отложений Ускатского района Кузбасса.

Прорастание макропор-трещин происходит за счет десорбции метана в них из так называемого «жизненного пространства», которое окружает каждую макропору, в тот момент, когда давление в ней в результате циклов разгрузки и нагрузки при гидродинамическом воздействии не превышает значения, определяемого теорией трещин Гриффитса [14, с. 81].

Результаты расчетов показали, что объем «жизненного пространства» для макропор радиусом 10^{-4} м и толщиной $1,5 \times 10^{-6}$ м оценивается величиной $V_{\text{жпр}} = 0,146 \times 10^{-12} \text{ м}^3$, а макропор — радиусом 10^{-3} м толщиной $1,5 \times 10^{-6}$ м — $V_{\text{жпр}} = 14,6 \times 10^{-12} \text{ м}^3$, что на два порядка величины

больше, чем объем «жизненного пространства» вокруг мелких макропор. Количество метана, находящегося в соответствующем «жизненном пространстве», а также его масса (m) равны соответственно $5,84 \times 10^{-12} \text{ м}^3$, $4,2 \times 10^{-12} \text{ кг}$ и $5,84 \times 10^{-10} \text{ м}^3$, $4,2 \times 10^{-10} \text{ кг}$.

Расчеты, проведенные в соответствии с теорией Гриффитса, дают для прочных газонасыщенных углей с $E = 10 \times 10^3 \text{ МПа}$ значение $\sigma_{\text{разр}} = 57,8 \text{ МПа}$. В свою очередь, для малопрочных газонасыщенных углей с $E = 10^3 \text{ МПа}$ получим значения $\sigma_{\text{разр}} = 5,8 \text{ МПа}$.

Сравнение этих величин с величиной давления метана в макропоре, полученном по истечении 80 циклов разгрузки-сжатия угольного пласта и равном $P = 4,48 \text{ МПа} = 44,8 \text{ атм}$, показывает, что при выбранных технических параметрах вибровоздействия интенсивное развитие макропор-трещин вполне вероятно для малопрочных газонасыщенных угольных пластов, имеющих модуль $E = 10^3 \text{ МПа}$ и коэффициент поверхностного натяжения $\gamma = 2,4 \text{ Н/м}$.

В свою очередь, для эффективного использования гидровоздействия на прочные угольные пласты необходимо, во-первых, увеличить длительность цикла разгрузки сжатия, что позволит, во-вторых, интенсифицировать процесс закачивания метана в макропору, и таким образом, в-третьих, увеличить давление в ней за каждый цикл, что позволит значительно сократить число этих циклов, чтобы достигнуть достаточных расчетных величин давления, составляющих порядка 200 атм.

В результате гидровоздействия, когда в процессе цикла «разгрузка-сжатие» будет достигнуто давление метана в макропоре, превышающее $\sigma_{\text{разр}}$, тогда произойдет скачкообразный двукратный рост длины трещины. Это приведет к значительному росту и трещинной проницаемости, которая составит $K_T = 0,29-0,46 \text{ мД}$, т.е. в результате гидровоздействия трещинная проницаемость угольных пластов независимо от их прочностных свойств может быть увеличена в 3–10 раз, что, естественно, приведет к интенсификации метановыделения в добычные скважины.

Примером следующего техногенного способа увеличения проницаемости неразгруженных угольных пластов является способ, в котором реализуется идея формирования зоны перетока между частями пласта для повышения гидродинамической связи между горизонтальными скважинами, пробуренными по пласту [15]. Эта зона создается с помощью устойчивой системы сквозных вертикальных трещин, которые вместе с трещинами гидроразрыва в породах почвы и кровли пласта формируют обширное газопроницаемое пространство.

Иницирующие полости на рис. 3 создают (2, 3), а трещины гидроразрыва (6, 7) одновременно формируют, соответственно, в породах почвы и кровли угольного пласта на расстоянии, равном $0,1 \text{ м}$, где m -мощность пласта. Вторичные иницирующие полости (8, 9) образуются через трещины гидроразрыва и ориентируются в вертикальной плоскости сечения пласта. С их помощью в единую гидродинамическую систему соединяют между собой трещины гидроразрыва, сформированные в породах почвы и кровли, и горизонтальные скважины, пробуренные по пласту.

Таким образом, в результате создания трещин гидроразрыва в породах почвы и кровли угольного пласта в пространстве будет сформирован объем, который если смотреть на него сверху, похож на цилиндр с неправильной боковой поверхностью, пронизанный вертикальными трещинами.

Дальнейшее циклическое гидровоздействие повышает проницаемость угольных пластов в плоскости их поперечного сечения независимо от их прочностных свойств в 3–10 раз, а формирование системы сквозных вертикальных трещин в угольном пласте приводит к существенному увеличению (на порядок величины и более) проницаемости и коэффициента фильтрации угольного пласта в вертикальной плоскости, что интенсифицирует газодинамическую связь между его частями, расположенными в кровле и почве, и позволяет характеризовать угольный пласт в вертикальной плоскости как развитую фильтрационную систему.

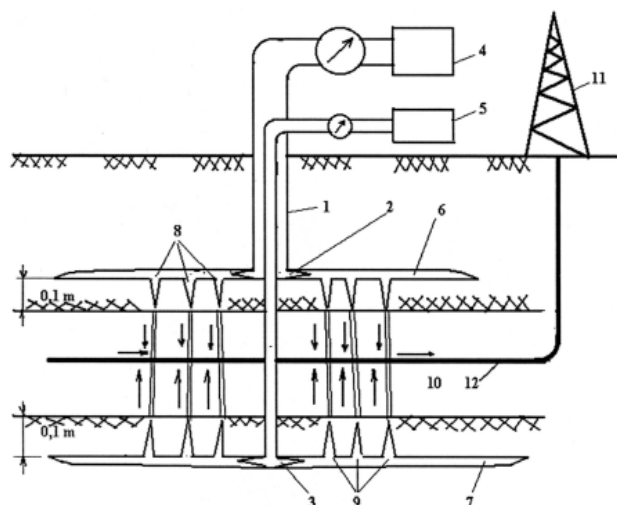


Рис. 3. Гидродинамическая система угольного пласта

Выводы

1. Природоподобные способы увеличения проницаемости неразгруженных угольных пластов для добычи из них метана позволяют с помощью систем как коллинеарных, так и компланарных горизонтальных скважин не только увеличить проницаемость этих угольных пластов в сотни раз по сравнению с природной, но и обеспечить промышленный дебита метана на уровне $5 \text{ м}^3/\text{с}$.

2. Предложенные техногенные способы увеличения проницаемости угольного пласта, а именно: технология вибровоздействия с частотой 10–100 Гц на добычную зону газонасыщенного угольного пласта пульсирующим гидродинамическим воздействием через искусственно созданные трещины гидроразрыва, а также технология формирования зоны перетока между частями пласта для повышения гидродинамической связи между горизонтальными скважинами, пробуренными по пласту, увеличивают проницаемость пласта в 3–10 раз, что обеспечивает высокий коэффициент дегазации угольного пласта.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н. и др. О развитии исследований и разработок по вопросам добычи метана угольных пластов, ГИАБ бюллетень, 1996, вып. 4, с. 13–18.
2. Гурьянов В.В. и др. Использование скважин с горизонтальным окончанием ствола – перспективное направление промысловой добычи газа из неразгруженных угольных пластов ГИАБ № 5. 2001, с. 77–80.
3. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Коликов К.С. Извлечение метана из угольных пластов. М., Изд-во МГГУ, 2002, 383 с.
4. Патент РФ № 2211308 «Способ вскрытия угольного пласта для добычи метана». Трубецкой К.Н. и др. Бюл. № 24, 2003.
5. Патент РФ № 2211322 «Способ вскрытия углеводородсодержащих пластов». Трубецкой К.Н. Гурьянов В.В. и др. Бюл. № 24, 2003.
6. Патент РФ № 2211323 «Способ добычи угольного метана из неразгруженных пластов». Бобин В.А., Бобин А.В. Бюл. № 24, 2003.
7. Зимаков Б.М., Одинцев В.Н. и др. Оценка энергии межмолекулярного отталкивания молекул сорбата в микропорах угля. ФТПРПИ, № 5, 1989, с. 52–59.
8. Зимаков Б.М., Одинцев В.Н., Эттингер И.Л. и др. Модель опережающего разрушения угольного массива при выбросах угля и газа. Тезисы докладов. Симферополь, 1987, с. 12.

9. Кузнецов С.В., Кригман Р.Н. Природная проницаемость угольных пластов. М., Наука, 1978, 122 с.
10. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. М., Наука, 1986, 300 с.
11. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура. ИПКОН АН СССР, 1987, 135 с.
12. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. М., Недра, 1979, 346 с.
13. Васючков Ю.Ф. Физико-химические способы дегазации угольных пластов. М., Недра, с. 986, 255 с.
14. Бобин В.А. Оценка параметров волнового воздействия на микро- и макроструктурные образования в газонасыщенном угольном веществе с целью интенсификации добычи угольного метана. В сб. трудов Международной научно-практич. конф. «Метан угольных пластов Украины». Днепропетровск, 1999, с. 79–84.
15. Патент РФ №1627673, кл. E 21 B 43/00. Бюл. № 6, 1991.

References

1. Trubetskoy K.N. et al. (1960) *O razvitiy issledovaniy i razrabotok po voprosam dobychi metana ugol'nykh plastov* [On the Development of Research and Development on the Production of Coal Methane] *GIAB byulleten'* [GIAB Bulletin]. No. 4. Pp. 13–18.
2. Guryanov V.V. et al. (2001) *Ispol'zovanie skvazhin s gorizontalmym okonchaniem stvola – perspektivnoe napravlenie promyslovoy dobychi gaza iz nerazgruzhennykh ugol'nykh plastov* [The use of wells with a horizontal end of the barrel is a promising direction of commercial gas production from unloaded coal beds] *GIAB* [GIAB]. No. 5. Pp. 77–80.
3. Puchkov L.A., Slastunov S.V., Kolikov K.S. (2002) *Izvlечение метана из угольных пластов* [Extraction of methane from coal seams] *Izd-vo MGGU* [Publishing House of MGGU]. Moscow. 383 p.
4. *Patent RF No. 2211308 «Sposob vskrytiya ugol'nogo plasta dlya dobychi metana»*. Trubetskoy K.N. i dr. *Byul.* [RF patent No. 2211308 Method of opening the coal seam for the extraction of methane. Trubetskoy K.N. et al. Bull.]. No. 24, 2003.
5. *Patent RF № 2211322 «Sposob vskrytiya uglevodorodsoderzhashchikh plastov»*. Trubetskoy K.N., Gur'yanov V.V. i dr. *Byul.* [RF patent No. 2211322 Method of opening hydrocarbon containing formations. Trubetskoy K.N., Guryanov V.V. et al. Bull.]. No. 24. 2003.
6. *Patent RF № 2211323 «Sposob dobychi ugol'nogo metana iz nerazgruzhennykh plastov»*. Bobin V.A., Bobin A.V. *Byul.* [RF patent No. 2211323 Method for the extraction of coal methane from unloaded seams. Bobin V.A., Bobin A.V. Bull.]. No. 24, 2003.
7. Zimakov B.M., Odintsev V.N. et al. (1989) *Otsenka energii mezhmolekulyarnogo ottalkivaniya molekul sorbata v mikroporakh uglya* [Evaluation of the intermolecular repulsion energy of sorbate molecules in the micropores of coal] *FTPPI* [FTPPI]. No. 5. Pp. 52–59.
8. Zimakov B.M., Odintsev V.N., Ettinger I.L. et al. (1987) *Model' operezhayushchego razrusheniya ugol'nogo massiva pri vybrosakh uglya i gaza* [Model of advanced destruction of a coal massif at emissions of coal and gas] *Tezisy dokladov* [Theses of reports]. Simferopol. P. 12.
9. Kuznetsov S.V., Krigman R.N. (1978) *Prirodnaya pronitsaemost' ugol'nykh plastov* [Natural permeability of coal seams] *Nauka* [Science]. Moscow. 122 p.
10. Ayruni A.T. (1986) *Prognozirovanie i predotvrashchenie gazodinamicheskikh yavleniy v ugol'nykh shakhtakh* [Prediction and prevention of gas-dynamic phenomena in coal mines] *Nauka* [Science]. Moscow. 300 p.
11. Bobin V.A. (1987) *Sorbtsionnyye protsessy v prirodnom угле i ego struktura* [Sorptions processes in natural coal and its structure] *IPKON AN SSSR* [IPKON Academy of Sciences of the USSR]. 135 p.
12. Nozhkin N.V. (1979) *Zablagovremennaya degazatsiya ugol'nykh mestorozhdeniy* [Advance degassing of coal deposits] *Nedra* [Nedra]. Moscow. 346 p.
13. Vasyuchkov Yu.F. *Fiziko-khimicheskie sposoby degazatsii ugol'nykh plastov* [Physico-chemical methods of coal seam degassing] *Nedra* [Nedra]. Moscow. C. 986. 255 p.

14. Bobin V.A. (1999) *Otsenka parametrov volnovogo vozdeystviya na mikro- i makrostrukturnye obrazovaniya v gazonasyshchenom ugol'nom veshchestve s tsel'yu intensivifikatsii dobychi ugol'nogo metana* [Estimation of parameters of wave action on micro- and macrostructural formations in a gas-saturated coal substance in order to intensify the extraction of coal methane] *V sb. trudov Mezhdunarodnoy nauchno-praktich. konf. «Metan ugol'nykh plastov Ukrainy»* [On Sat Proceedings of the International Scientific and Practical. Conf. «Methane coal seams of Ukraine»]. Dnepropetrovsk. Pp. 79–84.

15. *Patent RF №1627673, kl. E 21 V 43/00. Byul.* [Patent of the Russian Federation No. 1627673, cl. E 21 B 43/00. Bull]. No. 6. 1991.