УДК 622.324.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКРЕПЛЯЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ТРЕЩИН ГИДРОРАЗРЫВА ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

RESEARCH IN THE PROPPING AGENT FOR THE HYDRAULIC FRACTURING CRACKS FOR THE METHANE EXTRACTION FROM THE MASSIVE COAL SEAMS

Баёв Михаил Алексеевич[1]
доктор техн. наук, профессор, e-mail: bma.gdk@gmail.com
Baev Mikhail A., Dr. Sc., Professor
Хямяляйнен Вениамин Анатольевич[1],
доктор техн. наук, профессор, e-mail: vah@mail.kuzstu.ru
Khyamyalyaynen Veniamin A., Dr. Sc., Professor

[1] Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.
[1]T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University Kemerovo, Russian Federation

Аннотация. *Успех промысловой добычи метана из угольных пластов в значительной степени определяется эффективностью использования специальных методов интенсификации газоотдачи. Необходимость применения таких методов обусловлена особенностями нахождения и перемещения метана в веществе угля. Дано описание процесса гидравлического разрыва пласта, как наиболее часто используемого метода стимуляции производительности скважин при промысловой добыче метана из угольных пластов. Обосновано использование кварцевого песка в качестве закрепляющего материала трещин гидроразрыва при извлечении метана из угольных пластов. Приводится информация о компаниях, реализующих в России кварцевый песок для гидроразрыва пласта. Отмечен минерально-сырьевой потенциал Кемеровской области в сфере добычи песка. Приведены результаты выполненных исследований песков месторождений Кемеровской области как закрепляющих материалов трещин гидроразрыва. Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой перспективности использования местных песков при добыче метана из угольных пластов в Кузбассе.*

Abstract. *The success of coalbed methane field development is in large part determined by the effectiveness of using of special gas production stimulation methods. The need of implementing of such methods is driven by features of location and movement of methane in the coal body. The process of hydraulic fracturing as the most frequently used method for the stimulation of well production capacity at commercial production of methane from the coal seams is described. The use of quartz sand as a propping agent for the hydraulic fracturing cracks when extracting the methane from coal seams is proved. The information about the companies using quartz sand for hydraulic fracturing in Russia is provided. The mineral resource potential of the Kemerovo region in sand mining is marked. The results of the researches in sand from the deposits of the Kemerovo region as the proppants for the hydraulic fracturing cracks are shown. The received results allow to draw a conclusion on high prospects of use of local sands at extraction of coal bed methane in Kuzbass.*

Ключевые слова: *Метан угольных пластов, гидравлический разрыв пласта, пропант, песок, проницаемость*

Keywords *— coalbed methane; hydraulic fracturing; proppant; sand; permeability.*

В настоящее время в Кемеровской области реализуется уникальный для России совместный проект ПАО «Газпром» и Администрации Кемеровской области по добыче метана из нетронутых угольных пластов. В рамках данного проекта еще с 2009 г. ООО «Газпром добыча Кузнецк» ведет разработку Талдинской площади, а с 2010 г. – Нарыкско-Осташкинской. Основная проблема добычи метана из угольных пластов, в отличие от добычи природного газа, заключается в особенностях залегания метана в угольном пласте. Метан находится в связанном состоянии и дебит скважин в значительной степени определяется десорбционными процессами и диффузией в закрытых поровых пространствах, в меньшей – фильтрационными процессами в открытых трещинах и порах. Диффузионные процессы протекают намного медленнее фильтрационных [1, 2]. Поэтому основной задачей повышения дебита метанодобывающих скважин является увеличение роли фильтрационных процессов, что обуславливает создание определенных условий путем изменения фи-

зического состояния угольного пласта. Промышленное извлечение метана из угольных пластов скважинами с поверхности производится с применением специальных технологий интенсификации газоотдачи. Наиболее широко используется метод повышения фильтрационной способности путем гидравлического разрыва пласта (ГРП) [3-5]. На скважинах Талдинской и Нарыкско-Осташкинской площадей Кемеровской области был также применен этот метод [6-9]. Успешность операции ГРП выражается в увеличении дебита скважины, и главным образом зависит от геометрии трещин и их остаточной проницаемости.

В процессе ГРП специальную технологическую жидкость нагнетают в пласт под высоким давлением, достаточным для того, чтобы вызвать разрыв этого пласта. Затем в жидкость добавляют расклинивающий агент (пропант), который распределяется в трещинах для предотвращения их закрытия после завершения операции. В качестве расклинивающего материала используют природные пески и искусственные керамические пропанты. При этом в мировой практике в 80 % проводимых операций ГРП применяют кварцевый песок

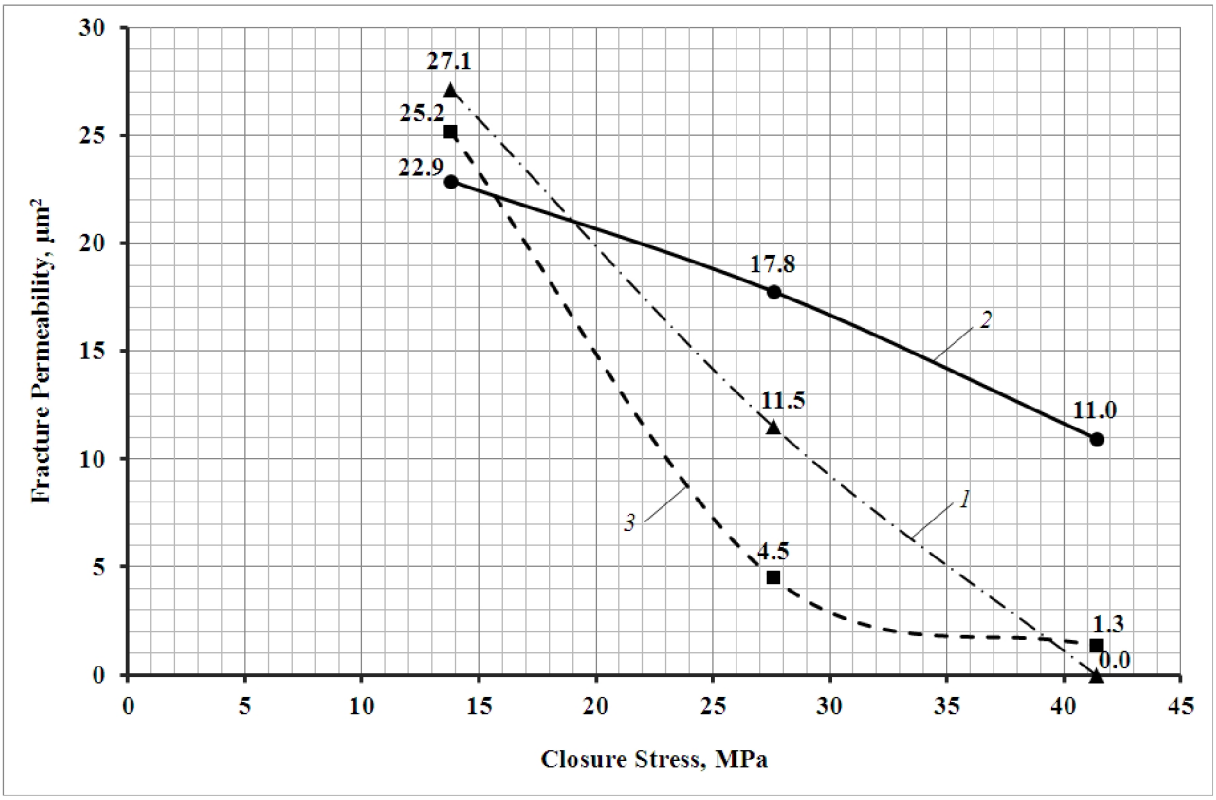

Рисунок 1 – Зависимость проницаемости закрепленной песком трещины гидроразрыва от напряжения смыкания трещины: *1* – кварцевый песок фракции 1,0 – 0,63 мм (ОАО «Спецнефтематериалы», г. Волгоград); *2* – кварцевый песок фракции 0,63 – 0,16 мм (ОАО «Янгелевский ГОК», Иркутская область); *3* – песок природный средний модуль крупности 2,14 (Промышленновское месторождение, Кемеровская область).

Таблица 1 – Результаты определения гранулометрического состава промытого песка

Наименование месторождения	Частные остатки по массе (%) на ситах с размерами отверстий (мм):									Частный остаток по массе на поддоне (%)
	2,5	1,2	0,8	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	
Антибесское	0,1	0,7	3,3	4,5	15,7	12,7	51,5	5,7	3,6	2,4
Бутовское	11,8	7,7	5,2	3,2	15,8	11,4	20,1	6,6	10,3	8,1
Верхотомское	0,0	0,1	0,3	0,4	5,3	18,0	57,9	9,2	6,7	2,2
Зеленая зона	0,5	4,5	12,6	8,3	24,6	16,3	28,7	2,9	1,5	0,2
Ижморское	14,0	17,7	14,8	7,4	19,6	10,0	14,7	1,0	0,7	0,2
Кайлинское	0,1	0,6	2,7	2,9	24,9	40,5	23,0	2,1	2,0	1,2
Кулаковское	22,0	7,4	3,0	1,1	4,4	8,1	38,8	7,8	6,2	1,1
Песчаный карьер	0,1	0,1	0,2	0,2	3,1	10,1	56,4	14,3	11,3	4,3
Яйское	27,9	22,9	16,6	8,0	15,9	4,6	3,4	0,3	0,3	0,1
Игирминское (Иркутская обл.)	0,0	0,0	8,7	18,0	53,3	12,5	7,5	0,1	0,0	0,0

ТАБЛИЦА 2 – Результаты определения сопротивления песка раздавливанию [5]

Наименование месторождения	Сопротивление раздавливанию (%) песка различных фракций (мм):			
	1,2 – 0,8	0,8 – 0,4	0,4 – 0,2	0,2 – 0,1
Антибесское	–	34,5	21,2	–
Бутовское	–	27,3	24,3	23,3
Верхотомское	–	–	17,0	14,4
Зеленая зона	27,9	24,8	15,5	–
Ижморское	36,6	30,5	16,7	–
Кайлинское	–	36,6	15,1	–
Кулаковское	–	–	17,0	15,8
Песчаный карьер	–	–	21,0	15,6
Яйское	26,7	21,0	–	–
Игирминское (Иркутская область)	13,1	10,1	3,4	–

[10-12]. Это во многом обусловлено его доступностью, относительно низкой стоимостью и пригодностью для различных пластовых условий. Экономически оправданно применять песок при гидроразрыве пластов, залегающих на глубине до 2400 – 2500 м [12]. Следует отметить, что угольные пласты, из которых сейчас осуществляется добыча метана в Кузбассе, залегают на глубине до 1350 м, поэтому применение песка при их гидроразрыве является вполне практичным решением. При этом с целью уменьшения стоимости закрепляющего материала, очевидно, целесообразно использовать местные пески, для чего необходимо обоснование пригодности их свойств для закрепления трещин гидроразрыва при извлечении метана из нетронутых угольных пластов.

Материалы и методы

Компании, реализующие в России кварцевый песок для гидроразрыва пласта, находятся на большом расстоянии от метаноугольного промысла (Московская, Нижегородская, Новгородская, Свердловская и Иркутская области), что приводит к значительным расходам, связанным с его доставкой от поставщика до скважины. Этот факт обуславливает высокую конечную стоимость продукции. Одной из таких компаний является ООО «Сибелко Рус». Производственное предприятие осуществляет разработку месторождения кварцевого песка в поселке Неболчи Новгородской области. Производительность современной обогатительной фабрики составляет 1 млн. тонн в год. Основной объем высококачественного кварцевого песка поставляется на стекольные и литейные заводы Северо-Западного региона России. Также освоен выпуск песка для ГРП фракции 30/50. Тщательный отсев позволяет получать узкофракционированный продукт с максимально возможной однородностью гранул. Содержание глины и посторонних включений сведено к минимуму. Округлость и сферичность зерен обеспечивает хорошую проводимость и проницаемость упаковки. Может применяться для ГРП скважин глубиной до 3000 м. Другим примером служит ОАО «Янгелевский ГОК». Горно-обогатительный комбинат находится в Нижнеилимском районе на севере Иркутской области. Ведет разработку Игирминского месторождения кварцевого песка, которое является одним из самых крупных в мире, и чей потенциал превышает 10 % общероссийских запасов кварцевого песка. Природные качественные характеристики добываемого сырья соответствуют требованиям передовых современных технологий, используемых в таких производствах, как литейное, строительное и стекольное. Исследования, проведенные нефтедобывающей компанией «Halliburton», показали возможность использования песка комбината при разработке скважин глубиной до 2000 м.

В свою очередь Кемеровская область обладает довольно богатой сырьевой базой песков. Имеется девять разведанных месторождений формовочных песков (запасы – 214 млн. т), три стекольных (144 млн. т), шесть строительных (35 млн. $м^3$) и тридцать месторождений песчано-гравийного материала (189 млн. $м^3$). Имеется также целый ряд месторождений, не учтенных государственным балансом [13]. Поэтому целью настоящих исследований является поиск месторождений природных песков Кемеровской области, которые возможно использовать в качестве расклинивающих агентов при проведении гидроразрыва угольных пластов. Для исследований были отобраны пробы двадцати двух месторождений песков и песчано-гравийных смесей Кемеровской области, трех месторождений Томской области и двух месторождений Алтайского края.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследований оценена зависимость устойчивости закрепленных трещин гидроразрыва от прочностных свойств пласта, свойств закрепляющего материала и его поверхностной концентрации в трещине [14]. В случае образования монослоя или частичного монослоя закрепителя критерием устойчивости трещин яв-

ляется условие, при котором удельное давление гранул пропанта на поверхность стенки трещины не превышает контактную прочность угля.

На втором этапе оценена проницаемость трещин разрыва, закрепленных следующими материалами: кварцевый песок фракции 1,0 – 0,63 мм (ОАО «Спецнефтематериалы», г. Волгоград); кварцевый песок фракции 0,63 – 0,16 мм (ОАО «Янгелевский ГОК», Иркутская область); песок природный средний модуль крупности 2,14 (Промышленновское месторождение, Кемеровская область). Песок первых двух проб используется в нефтегазовой промышленности России и поэтому был испытан для сравнения. Результаты исследований приведены на рисунке 1.

Из графиков видно, что относительно высокое значение проницаемости закрепленной Промышленновским песком трещины при напряжении смыкания 13,8 МПа свидетельствует о перспективности его использования на глубинах залегания угольных пластов до 600 м.

На третьем этапе работ были проведены исследования состава и физических свойств неподготовленного песка, которые включали в себя определение содержания пылевидных и глинистых частиц, гранулометрического состава и модуля крупности, плотности и пустотности непромытой и промытой проб. В итоге удалось не только получить интересующие данные, но и подготовить пробы для дальнейших испытаний. Результаты определения гранулометрического состава песков некоторых месторождений Кемеровской области и, для сравнения, Игирминского месторождения Иркутской области представлены в табл. 1.

В рамках четвертого этапа проведены исследования подготовленного песка, основанные на стандарте ISO 13503-2 [15], а именно определение плотности и пустотности, сферичности и округлости частиц, сопротивления раздавливанию. Основываясь на полученных результатах, можно будет сделать выбор проб песка, дальнейшее исследование которых наиболее целесообразно. Результаты определения сопротивления раздавливанию песков некоторых месторождений Кемеровской области и, для сравнения, Игирминского месторождения Иркутской области приведены в табл. 2.

Также был выполнен экономический анализ [16], который показал, что использование на метаноугольных промыслах Кузбасса в качестве закрепляющего материала песков месторождений Кемеровской области позволит снизить затраты при реализации проекта добычи метана.

Результаты вышеприведенных предварительных исследований позволяют сделать вывод о возможности использования песков Кузбасса в качестве закрепляющего материала трещин гидроразрыва при извлечении метана из угольных пластов. Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (задание № 2014/76, проект № 598).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев, Ю. Н. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов / Ю. Н. Малышев, К. Н. Трубецкой, А. Т. Айруни. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 519 с.

2. Газоугольные бассейны России и мира / М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. В. Пронина [и др.]; под ред. В. Ф. Череповского; МГУ им. М. В. Ломоносова; РАЕН. – М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2002. – 250 с.

3. Coal Bed Methane: Principles and Practices / R. E. Rogers, K. Ramurthy, G. Rodvelt, M. Mullen. – Halliburton Co., 2007. – 504 p.

4. Coal Bed Methane: From Prospect to Pipeline / edited by Pramod Thakur, Steve Schatzel, Kashy Aminian. – 1st edition – San Diego, CA, USA: Elsevier, 2014. – 440 p.

5. Economides, M. J. Unified Fracture Design: Bridging the Gap Between Theory and Practice / M. J. Economides, R. E. Oligney, P. Valkó. – Alvin, TX, USA: Orsa Press, 2002. – 262 p.

6. Золотых, С. С. От проекта "Метан Кузбасса" – к кузбасскому метану / С. С. Золотых // Вестник КузГТУ. – 2010. – № 6. – С. 37–39.

7. Дмитриевская, Т. В. Проблемы добычи метана из угольных пластов и новейшая геодинамика на примере Талдинского месторождения (Южный Кузбасс) / Т. В. Дмитриевская, С. Г. Рябухина, В. А. Зайцев // Геология нефти и газа. – 2012. – № 4. – С. 85–91.

8. Сурин, Е. В. Развитие добычи метана угольных пластов в Кузбассе / Е. В. Сурин // Газовая промышленность. – 2012. – № 10. – С. 63–65.

9. Метан угольных пластов: от эксперимента до промысла / А. В. Калинкин [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2013. – № 3. – С. 56–58.

10. Hollub, Vicki A. A Guide to Coalbed Methane Operations / Vicki A. Hollub, Paul S. Schafer. – Chicago, IL, USA: Published by Gas Research Institute, 1992. – 376 p.

11. Gray, F. Petroleum Production in Nontechnical Language / Forest Gray. – 2nd edition. – Tulsa, OK, USA: Penn Well Publishing Company, 1995. – 297 p.

12. Economides, M. J. Modern Fracturing: Enhancing Natural Gas Production / M. J. Economides, T. Martin. – Houston, TX, USA: Energy Tribune Publishing Inc., 2007. – 509 p.

13. Минерально-сырьевой потенциал Кемеровской области / Н. Ю. Вашлаева, А. Н. Мамлин, С. В. Шаклеин, Е. М. Вашлаева // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2008. – № 6. – С. 22–29.

14. Baev, M. A. Modeling Peculiarities of Reinforced Crack of Hydraulic Fracture of Coal Seams for Estimation of Their Permeability // Proceedings of the Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control, October 17-20, 2014, Qingdao, China / edited by Weijia Guo [et al.]. – Paris, France: Atlantis Press, 2014. – P. 361–365. DOI: 10.2991/mining-14.2014.53

15. ISO 13503-2:2006. Petroleum and natural gas industries – Completion fluids and materials – Part 2: Measurement of properties of proppants used in hydraulic fracturing and gravel-packing operations. – ISO, 2006. – 28 p.

16. Баёв, М. А. Экономическое обоснование применения песков Кемеровской области для закрепления трещин гидроразрыва метаноугольных пластов / М. А. Баёв, А. Г. Шевцов // Сборник материалов VII Всерос., научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 21-24 апр. 2015 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.: В. П. Тациенко (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2015.

REFERENCES

1. Yu.N. Malyshev, K.H. Trubetskoy and A.T. Ayruni, Fundamental and applied methods for the solution of coal-bed methane problems, Moscow: Academy of Mining Sciences Publishing House, 2000, p. 519.

2. M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn, N.V. Pronina et al., edited by V.F. Cherepovskoy, Gaz-coal basins of Russia and world, Moscow University Press, 2002, p. 250.

3. R.E. Rogers, K. Ramurthy, G. Rodvelt and M. Mullen, Coal bed methane: principles and practices, Halliburton Co., 2007, p. 504.

4. Pramod Thakur, Steve Schatzel and Kashy Aminian (editors), Coal bed methane: from prospect to pipeline, 1st ed., San Diego, CA, USA: Elsevier, 2014, p. 440.

5. M.J. Economides, R.E. Oligney and P. Valkó, Unified fracture design: bridging the gap between theory and practice, Alvin, TX, USA: Orsa Press, 2002, p. 262.

6. S.S. Zolotykh, “From the project “Methane of Kuzbass” – to the Kuzbass methane”, Vestnik of Kuzbass state technical university, 2010, # 6, pp. 37–39.

7. T.V. Dmitrievskaya, S.G. Ryabukhina and V.A. Zaytsev, “Problems of extraction of coalbed methane and the latest geodynamics on the example of the Taldinskoye field (the Southern Kuzbass)”, Oil and Gas Geology Journal, 2012, # 4, pp. 85–91.

8. E.V. Surin, “The development of coalbed methane production in Kuzbass”, Gas Industry Journal, 2012, # 10, pp. 63–65.

9. A.V. Kalinkin, V.I. Novikov, M.A. Lisina, N.M. Storonskiy, E.V. Shvachko and V.T. Khryukin, “Coalbed methane: from experiment to trade”, Oil and Gas Territory Journal, 2013, # 3, pp. 56–58.

10. Vicki A. Hollub and Paul S. Schafer, A Guide to coalbed methane operations, Chicago, IL, USA: Published by Gas Research Institute, 1992, p. 376.

11. F. Gray, Petroleum Production in Nontechnical Language, 2nd ed., Tulsa, OK, USA: Penn Well Publishing Company, 1995, p. 297.

12. M.J. Economides and T. Martin, Modern fracturing: enhancing natural gas production, Houston, TX, USA: Energy Tribune Publishing Inc., 2007, p. 509.

13. N.Yu. Vashlaeva, A.N. Mamlin, S.V. Shaklein and E.M. Vashlaeva, “Mineral and raw material potential of the Kemerovo region”, Mineral Resources of Russia. Economics and Management Journal, 2008, # 6, pp. 22–29.

14. M.A. Baev, “Modeling peculiarities of reinforced crack of hydraulic fracture of coal seams for estimation of their permeability”, Proceedings of the Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control (Qingdao, China, October 17-20, 2014), Paris, France: Atlantis Press, 2014, pp. 361–365, doi: 10.2991/mining-14.2014.53.

15. ISO 13503-2:2006. Petroleum and natural gas industries – Completion fluids and materials – Part 2: Measurement of properties of proppants used in hydraulic fracturing and gravel-packing operations, International Organization for Standardization, 2006, p. 28.

16. M.A. Baev and A.G. Shevtsov, “Economic justification of use of sand of the Kemerovo region for propping of hydraulic fracturing cracks of coalbed methane seams”, Proceedings of the VII All-Russia scientific conference with international participation “Young Russia” (Kemerovo, Russia, April 21-24, 2015), Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2015

Поступило в редакцию2611.2016
Received 26 November 2016