УДК 553.982.2:622.272:622.831

ОПЫТ ДОБЫЧИ МЕТАНА ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КИТАЯ

THE EXPERIENCE OF METHANE PRODUCTION IN COAL FIELDS OF CHINA

Копытов Александр Иванович,
президент СО АГН , д.т.н., профессор, e-mail: L01BDV@yandex.ru
Kopytov Aleksandr I., Dr. Sc. in Engineering, Professor
Войтов Михаил Данилович, к.т.н., профессор
Voytov Mikhail D., C. Sc. in Engineering, Professor
Тагиев Санан Мехман оглы, студент, e-mail: tagiev_senan@mail.ru
Sanan Tagiev Mehman-ogly. , student

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: *на основании анализа зарубежных источников рассмотрена история развития метаноугольной отросли в КНР, приведен обзор современных технологий и этапов добычи метана угольных пластов, а также методов интенсификации газоотдачи при разработке угольных месторождений Китая.*

Abstract: *based on the analysis of foreign sources considered the history of coalbed methane grown in China, reviewed the latest technologies and stages of coalbed methane reservoir and gas recovery methods for intensifying the development of China's coal deposits.*

Ключевые слова: *метан угольных пластов (МУП), метаноугольные месторождения Китая, горизонтальное бурение, многозабойные скважины.*

Keywords: *coalbed methane (CBM) CBM field China, horizontal drilling, multilateral wells.*

Энергия является основой для прогресса человеческой цивилизации и основным условием развития современного общества. Вопрос энергообеспечения является стратегически важным для Китая, поскольку эта страна стремительно развивается и модернизируется. КНР является крупнейшим в мире производителем энергии. В стране создана всеобъемлющая система энергоснабжения, включающая в себя уголь, природный газ, нефть и возобновляемые источники энергии. Тем не менее, развитие энергетики Китая по-прежнему сталкивается со многими проблемами. Энергопотребление выросло слишком быстро в последние годы экономического бума, увеличиваются нагрузки на импорт энергоносителей. Чтобы оптимизировать чрезмерное потребление энергетических ресурсов и обеспечить сбалансированное и устойчивое развитие экономики, общества и экологии, Китай наращивает усилия на разработку и внедрение инноваций в области энергосбережения, сокращения выбросов, и стремится повысить эффективность использования энергии.

Важнейшим источником энергии в энергетической структуре Китая является уголь, который будет оставаться таковым и в обозримом будущем (рис. 1).

Быстрое развитие угольной промышленности, огромное производство и использование угля вызвали серьезные социальные и экологические проблемы. Крупнейшие города Китая, окутаны серым смогом, состоящим из твердых частиц, CO_2, SO_2, NO_x и других вредных газов. Кроме того, эмиссия CO_2 способствует глобальному потеплению, поэтому вклад Китая в глобальное потепление и ухудшение экологической обстановки в мире является значительным.

Добыча угля сопровождается выделением большого количества метана. Метан является фактором риска в процессе эксплуатации шахт и очень мощным парниковым газом, который выбрасывается в атмосферу через вентиляционную систему угольных шахт.

В связи с этим, долгосрочная стратегия Китая заключается в рационализации энергобаланса и в применении безопасных и чистых источников энергии. Метан угольных пластов (МУП), производится одновременно с углем и традиционно рассматривался как опасный газ в процессе производства угля. Успешная коммерческая разработка и добычи угольного метана в Соединенных Шта-

тах в конце 1980-х гг. подтолкнула Китай и другие угледобывающие державы к осознанию того, что развитие крупномасштабной индустрии МУП вполне осуществимо. Разработка метана угольных пластов стала важным направлением в энергетической стратегии для стран богатых углем. Развитие добычи МУП в промышленных масштабах имеет большое социальное и экономическое значение.

Суммарные ресурсы МУП в Китае оцениваются в 30-35 трлн м^3. Геологические запасы МУП сконцентрированы в северных, северо-западных, южных и северо-восточных регионах КНР и их доля от общего объема запасов составляет соответственно 56,3 %, 28,1 %, 14,3 % и 1,3 %. Около 90 % ресурсов метана встречаются в угольных пластах юрского, каменноугольного и пермского периода [1].

В настоящее время в КНР существует 105 угольных месторождений. Из них 43 угольных месторождения с высокой метаноностностью - больше 10 м^3/т, на долю таких месторождений приходится 41 % от общего объема национальных ресурсов. В 29 угольных месторождениях метаноностность средняя - 8 м^3/т ~ 10 м^3/т, что составляет 28 % от общей суммы. В 19 угольных месторождениях содержание метана в угольных пластах составляет 6 м^3/т ~ 8 м^3/т, 18 % от общей суммы. В 14 угольных месторождениях газоносность угольных пластов составляет 4 м^3/т ~ 6 м^3/т, 13 % от общей суммы. Концентрация ресурсов МУП составляет 328 млн м^3 на км^2. Проницаемость угольных пластов в Китае является относительно низкой, со значениями в пределах от 0,002 мД до 16 мД [2].

В Китае есть много больших угольных бассейнов с ресурсами метана более чем 1 трлн м^3: бассейн Ордос (Ordos Basin), бассейн Квиншу (Qinshui Basin), бассейн Хубей (Hubei Basin), бассейн Эрлиан (Erlian Basin), бассейн Чуйче (Zhuiger Basin), бассейн Туха (Tuha Basin), бассейн Талиму (Talimu Basin).

Высокопотенциальные ресурсы метана сконцентрированы в бассейне Ордос, расположенном в провинциях Шаньси и Внутренней Монголии; в бассейне Квиншу, расположенном в провинции Шаньси; и бассейн Хубей, расположенном в провинциях Анху и Ляонинг. Геологические условия залегания метана угольных пластов относительно просты в бассейне Ордос, но к востоку все более усложняются. Напротив, потенциал рынка газа к востоку увеличивается и наиболее благоприятен в пределах бассейнов, приуроченных к густонаселенным промышленным северным регионам Китая.

Бассейн Ордос крупнейший угольный бассейн в Китае (336 700 км^2). В этом бассейне наиболее благоприятные условия для разработки и добычи МУП. Ордос имеет сходство с бассейном Сан-Хуан и другими промышленно продуктивными площадями с МУП в США. Большая часть залежей центрального Ордоса погружена более чем на 2000 м, но периметр бассейна благоприятен по глубине для разработки МУП. Структура пластов является простой с незначительными разломами и мелкими региональными погружениями внутри бассейна. Доступные ресурсы МУП в бассейне Ордос только по пермским отложениям оценива-

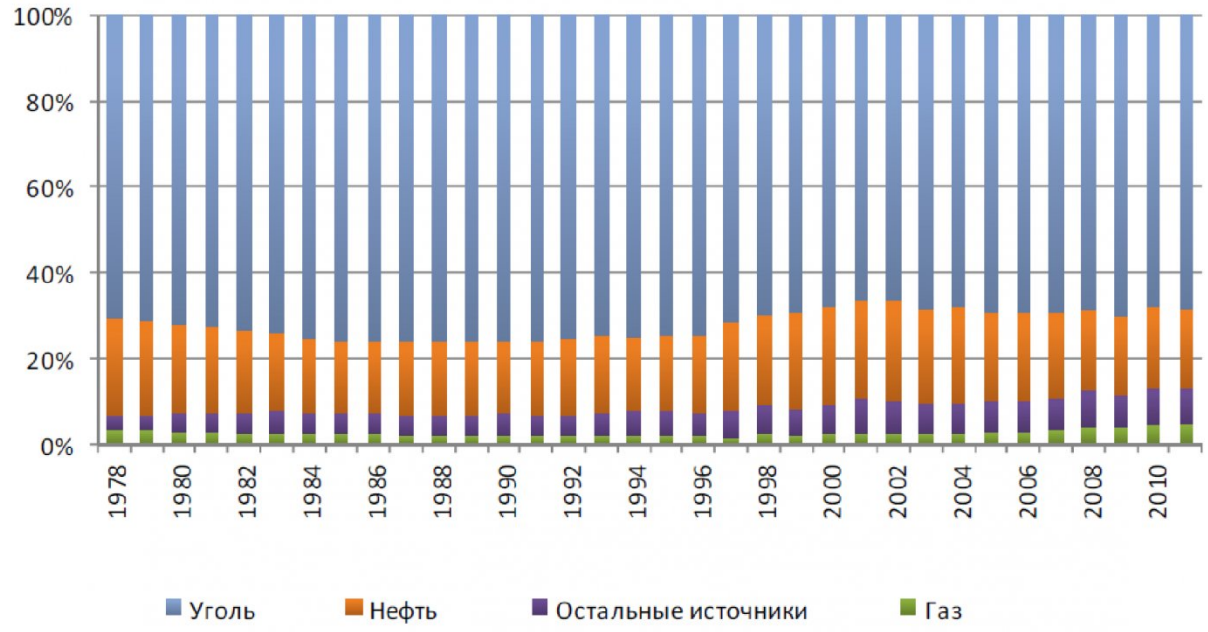


Рис. 1. Структура первичного потребления энергии Китая в 1978–2011 гг. (по данным государственного статистическое управление КНР)
Fig. 1. The structure of primary energy consumption in China 1978-2011 years (According to National Bureau of Statistics of China)

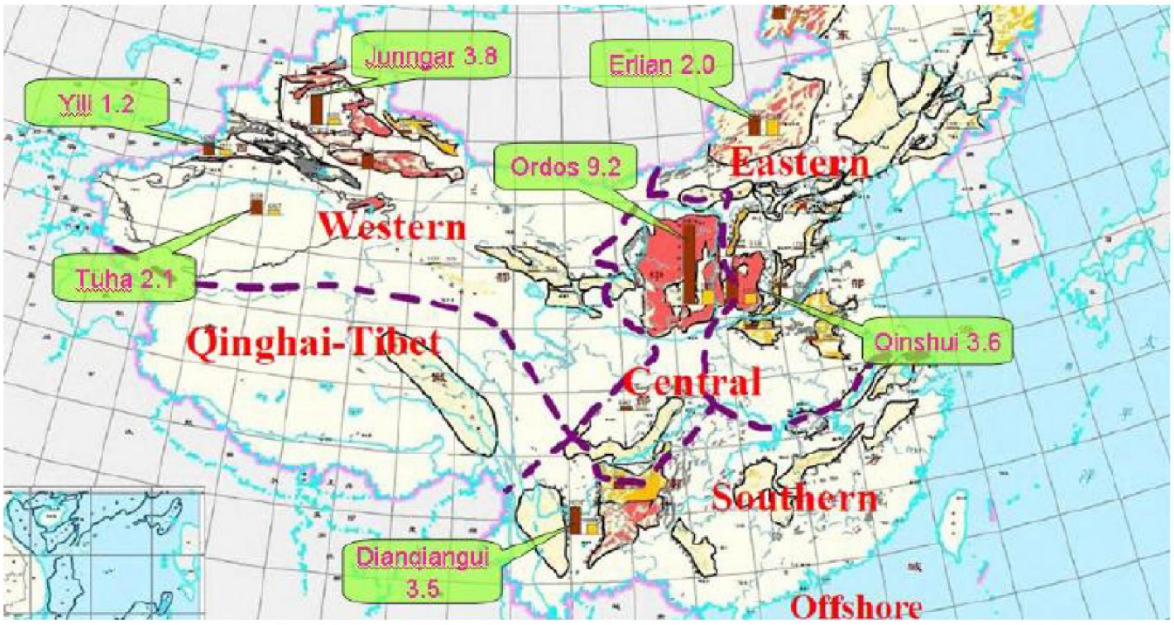


Рис. 2. Метаноугольные месторождения КНР
Fig. 2. CBM field of China

ются в 1415 - 2830 млрд м^3. Запасы юрских отложений могут дополнительно приближаться к этим объемам [3].

Бассейн Квиншу (103 600 км^2) расположен непосредственно восточнее бассейна Ордос. Подобно Ордосу, Квиншу имеет глубину в диапазоне 500 - 1500 м, но структура бассейна значительно более сложна, с многочисленными нормальными разломами и погружениями под крутыми углами [4].

Бассейн Хубей - это угольный регион включающий в себя малые, ограниченные разломами залежи каменного угля, которые простирается от провинции Анху на юге до провинции Ляонинг на севере. В связи с наличием в этом регионе большого количества угольных шахт с высокой газообильностью именно здесь были начаты испытания по извлечению МУП (табл. 1). Этому также способствовали современная инфраструктура, топография местности, а главное наличие большой потребности газа в близи региона добычи МУП [5].

Таблица 1. Испытания по добычи метана угольных пластов в КНР
Table 1. Tests on the extraction of coal bed methane in China

Оператор	Период	Количество испытанных скважин	Провинция
Китайские операторы			
Shenyang General Gas Co.	1990-1994	10	Ляонинг
Министерство угольной промышленности	1991-1998	> 30	Аньсу, Хубей, Хэнань, Ляонинг, Шаньси
Министерство геологии и минеральных ресурсов	1992-1998	> 20	Хэнань, Шаньси
China National Petroleum Co.	1994-1998	> 15	Хубей
China United CBM Co.	1997-1998	> 10	Ляонинг, Шаньси
Всего		> 85	
Зарубежные операторы			
Anron	1992-1995	16	Аньсу, Хэнань, Шаньси
Amoco	1994	1	Шаньси
Arco	1997-1998	9	Шаньси
Philips Petroleum	1997-1998	3	Шаньси
Texaco	1998	3	Аньсу
Всего		32	

Первые работы по разведке МУП и отбору керна в Китае начались в период 1990-1996 гг. На основании изучения образцов керна (рис. 3) китайские и зарубежные компании оценили многочисленные разнообразные площади и определили высокий потенциал метаноугольных месторождений.

В течение этого периода при освоении эксплуатационных скважин в северном Китае применялись технологии гидравлической стимулюции и достигнут пик добычи газа в 7000 м^3/сут (в среднем на скважину) из угольных пластов, залегающих на глубине 335 м [6].

Первые проекты добычи метана обозначили многочисленные операционные проблемы связанные с необходимостью в модернизации технологии бурения и испытания скважин, а также адаптацию к местным геологическим условия.

С 1999 г. иностранные компании усилили амбициозную программу испытаний и оценку своих лицензионных площадей. В августе 1999 г. China United CBM Co. и нефтяные компании США (Philips Petroleum, Texaco, Arco, Saba Petroleum) подписали 6 договоров на раздел продукции по эксплуатации метаноугольных месторождений, общей площадью более 12 717 км^2, с потенциальным ресурсом МУП в 690,6 млрд м^3 [7]. Общие инвестиции по 6 контрактам составили 60 млн долларов США.

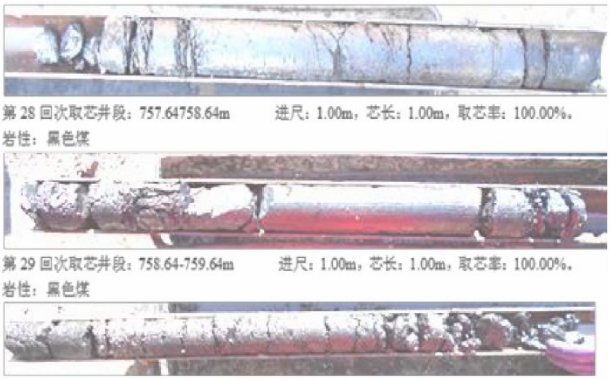


Рис. 3. Образцы керна
Fig. 3. Core samples

Правительство КНР продолжает вкладывать инвестиции в разведку и разработку ресурсов МУП и привлекает многие зарубежные компании к совместной эксплуатации метановых месторождений с применением передовых технологий.

Технологии и методы бурения скважин в Китае начали развиваться и осваиваться относительно недавно, и большинство таких методов выполнены исходя из характеристик местных углей, с учетом имеющихся зарубежного опыта. В настоящее время в Китае преобладают вертикальные метаноугольные скважины (в том числе кустовые) в силу более низкой их стоимости и простоты эксплуатации. Кроме того, кустовые скважины лучше подходят для горных районов, и впервые были применены при разработке в угольном бассейне Цяньнань-Буи-Мяоского автономного округа. Технология многозабойного бурения скважин была освоена лишь недавно и сопряжена с рядом технических рисков. Преимущества многозабойных скважин - большая площадь дренирования, а также высокая производительность [8].

В основном на угольных пластах применяется бурение на депрессии или со сбалансированным давлением, как например бурение со свободной водой, растворами с низким содержанием твердой фазы, воздухом. Цель такого бурения заключается в снижении ущерба пласту и увеличении объема добычи на одну скважину.

Важную роль в добыче угольного метана имеют технологии цементирования. Для того, чтобы уменьшить повреждение пласта жидким цементом и обеспечить должную прочность цементного кольца, применяются, в основном, цементы пониженной плотности, а также технологии, позволяющие контролировать высоту подъема бурового раствора вдоль ствола. Для контроля качества цементирования применяются акустический амплитудный каротаж и каротаж переменной плотности.

Большинство скважин – вертикальные. Здесь наибольшее распространение получил метод цементирования обсадной колонны и ее перфорирования из-за надежности и удобства применения. Традиционная технология заканчивания скважины при необсаженном забое была протестирована, но не получила широкого применения. Технология заканчивания скважины кавернообразованием была протестирована в провинциях Шаньси и Цзянси, однако их результаты далеки от идеальных. Кроме того, технология заканчивания миникавернами опробована в угольной шахте Шенбей (Shenbei Coal Mine), где она показала свою перспективность [9].

В процессе бурения угольный пласт легко засорить. Для снижения или предотвращения загрязнения применяются следующие технологии: во-первых, снижение плотности бурового раствора или использование аэрированных буровых растворов при бурении с почти сбалансированным давлением, либо бурения на депрессии. Во-вторых, контролирование содержания твердых частиц и макромолекулярных примесей для предотвращения засорения ими угля. В-третьих, подбор бурового раствора, подходящего для флюидов в угольных пластах и строгий контроль его потерь, чтобы предотвратить излишнее увлажнение, повреждения от воды и нерастворимого осадка, обеспечить стабильность буровых работ [11].

В сравнении с более глубокими, традиционными нефтяными и газовыми залежами, угольные пласты обычно находятся под давлением ниже гидростатического. С учетом этого, если выполнить бурение на уголь при повышенном давлении,

структура угля может пострадать, что будет означать значительное снижение дебитов за счет закупорки кливажа угля и снижения его проницаемости. Наиболее распространенным методом бурения на депрессии является проведения работ с использованием воздуха или пены, в зависимости от того, какая система скважин выбрана: единичная или сдвоенная (стыковая) [10].

По сравнению с традиционной вертикальной скважиной, многозабойная скважина имеет несколько преимуществ: большая площадь дренирования, улучшенная проводимость, меньший вред угольному пласту, более высокие дебиты на скважину. С учетом этих особенностей, многозабойные скважины имеют широкие перспективы применения.

Исследования технологии многозабойных скважин в Китае были начаты поздно. Однако в последние годы многие компании начали строить перьевидные многозабойные скважины. Среди них China United Coalbed Methane Co., CNPC, North China, CDX Co., Far East Energy Corporation (FEEC).

Наиболее эффективная технология, применяемая в США – это технология бурения многозабойных скважин от CDX Co. (рис. 4), которая прекрасно подходит для хорошо развитых угольных пластов, а также наиболее приемлема для тонких пластов с низкой проницаемостью. К августу 2006 г. компанией CDX Co. было пробурено более 170 скважин такого рода [12].

В Китае первая многозабойная метаноугольная скважина - скважина DNP02 в провинции Шаньси, бассейна Киншуи (Shanxi Qinshui Basin), была пробурена в ноябре 2004 года. Темпы бурения скважины по углю достигали 90 %, самый большой угол отклонения ствола достигает 101,47°. Скважина выполнена бурением на депрессии с применением каротажа. Положительные результаты эксплуатации скважины DNP02 способствовали дальнейшему развитию добычи угольного метана в Китае (табл. 2) [13].

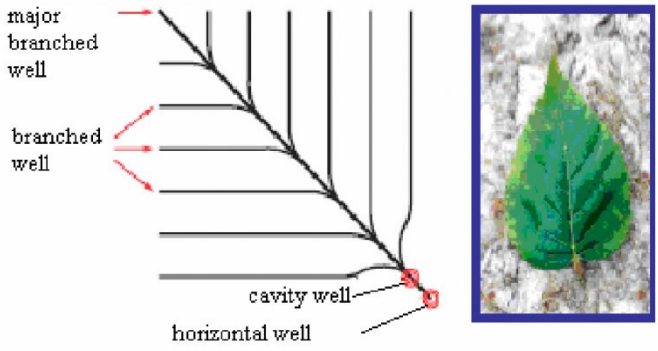


Рис. 4. Многозабойная горизонтальная скважина от CDX Co
Fig. 4. Multilateral horizontal well from CDX Co

При проектировании многозабойных скважин их оптимальная конфигурация определяется, исходя из общей длины горизонтального участка, расстояния между боковыми отводами и их количества. Более протяженный горизонтальный участок увеличивает площадь контакта с угольным пластом, но в то же время растут затраты на бурение, а также связанные с работой риски. В результате оценки указанных факторов уставлено, что наиболее целесообразно метаноугольные горизонтальные скважины бурить с поверхности с тремя-четырьмя отводами (табл. 3) [14].

27 января 2007 года в метаноугольной области Паньжуанг округа Цзиньчэн (Panzhuang area, Jincheng) было завершено строительство группы из 6 горизонтальных скважин (рис. 5) [15].

Таблица 2. График работы скважины DNP02
Table 2. Schedule well DNP02

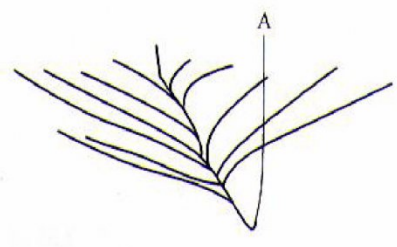
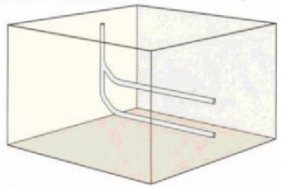
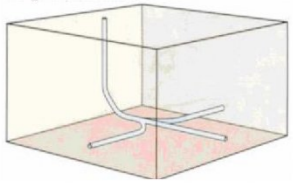
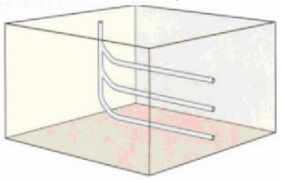
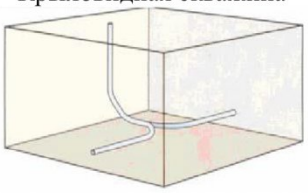
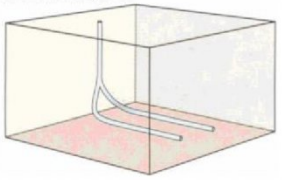
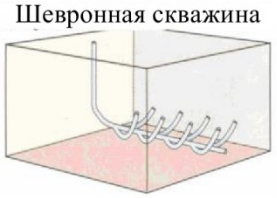
Общий вид скважины	Основные параметры скважины	
	Начало добычи	28/11/2004
	Диаметр горизонтального ствола скважины, мм	150
	Вертикальная глубина, м	195
	Горизонтальное смещение основного ствола, м	1256
	Кол-во отводов	12
	Пройдено горизонтально, м	7687
	Длина общая, м	8018

Таблица 3. Виды многозабойных скважин
Table 3. Types of multilateral wells

Скважина типа виадук 	Когтеобразная 3-отводная скважина 
Скважина типа виадук 3-отводная 	Крыловидная скважина 
Вилкообразная скважина 	Шевронная скважина 

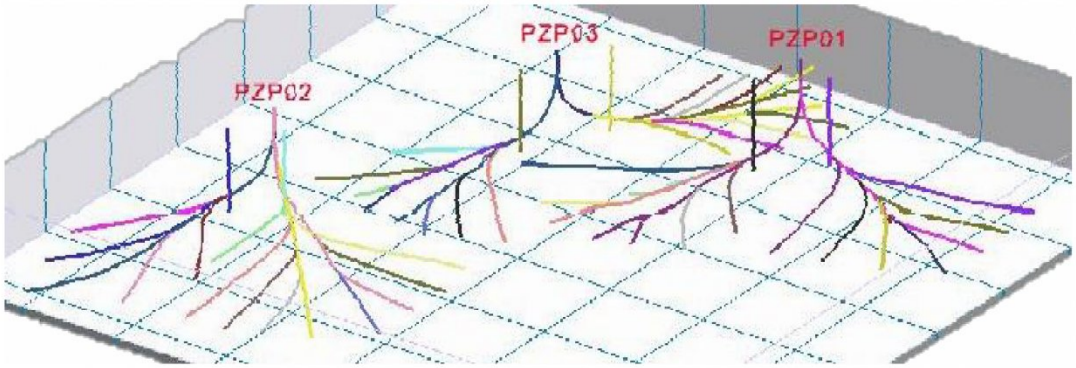


Рис. 5. Группа многозабойных скважин области Паньжуанг
Fig. 5. A group of multilateral wells area Panjang

Это первый проект, сочетающий технические характеристики кустовых и группы многозабойных скважин в виде группы скважин. Впервые было выполнено бурение по углю в двух горизонтальных направлениях с поверхности через основную скважину. Протяженность по одному пласту составляет 3000 м ~ 5000 м. В настоящее время все 6 скважин находятся в эксплуатации. Средний уровень добычи на скважину свыше 50 000 м^3, в некоторых скважинах превышает отметку 80 000 м^3, и дебиты продолжают расти [16].

Опыт организации добычи метана при разработке угольных месторождений Китая показывает, что в условиях роста энергопотребления использование полученного газа достичь устойчивого баланса в развитии экономики, общества и экологии.

Данный опыт может быть использован при совершенствовании технологии добычи метана угольных пластов в ведущем угледобывающем регионе России - Кузбассе, в частности в компании «Газпром добыча Кузнецк», которая осуществляет промышленное извлечение метана с 2008 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xiaopeng Z., Coiled Tubing Drilling Technology to Raise the Oil Recovery of Gannet Oilfield in the North Sea. // Foreign Oilfield Engineering, 2012.

2. Alberta Energy and Utilities Board Alberta's Energy Reserves 2006 and Supply // Demand Outlook 2007-2016.

3. Song Y., Australia Energy Development Tilt to «Gas». Petroleun&Chemical. 2006.

4. Faiz M., The Influence of Petrological Properties and Burial History on Coal Seam Methane Reservoir Characterization, Sydney Basin, Australia // International Journal of Coal Geology, 2010.

5. Yijun L., Coparision of CBM development potential in China and USA // China Coalbed Methane, 2004.

6. Rongguo C., Development and Utilization of Coalbed Methane at Home and Abroad // Resource Situation, 2009.

7. Karmis M., A Numerical Study on Optimization of Multilateral Horizontal Wellbore Patterns for Coalbed Methane Production in Southern Shanxi Province, China // Int. J. Coal geol., 2011.

8. Palmer I., Coalbed Methane Completions: a World View. Int. J. Coal Geol. 82, P. 184-195, 2010.

9. Lu Y., A New Method of Drilling Long Boreholes in Low Permeability Coal by Improving its Permeability // Int. J. Coal Geol. 84, P. 94-102, 2010.

10. Петухов, А. В., Основные технологии опытно-промышленной добычи метана из угольных пластов Печорского бассейна / А. В. Петухов, А. В. Максютин, А.А. Петухов, Д. Г. Подопригора // Наука и техника в газовой промышленности. – 2014. – № 1. – С. 48-56.

11. Золотых, С.С., Проблемы промысловой добычи метана в кузнецком угольном бассейне / Золотых, С.С., Карасевич, А.М. - Москва : ИСПИН, 2002. – 570 с.

12. Аксельрод С.М. Добыча метана из угольных пластов // НТВ «Каротажник». Тверь : - АИС. 2013. Выпуск 6. С. 101-133.

13. Чживэнь В., Технология каротажной оценки метана в угольных пластах на основании изотермической адсорбционной линии // Развитие геофизики. Пекин. 2010. № 4. С. 1354-1356.

14. Дуецзе В., Обзор развития геофизической каротажной технологии оценки метана в угольных пластах // Вестник науки о Земле. Пекин. 2003. № 4. С. 385-390.

15. Вэй Л., Интерпретационная технология ГИС МУП // XV-я конференция китайской нефтяной ассоциации. Пекин. 2007.

16. Инмэн Д., Технология каротажной оценки метана в угольных пластах: материалы VII Российско-китайского научного симпозиума «Новые техника и технологии в нефтегазовой промышленности», 6-10 августа 2012 // Ч. 2. Уфа: Из-во ОАО «Геофизика». 2012. С. 95-104.

REFERENCES

1. Xiaopeng Z., Coiled Tubing Drilling Technology to Raise the Oil Recovery of Gannet Oil-field in the North Sea. // Foreign Oilfield Engineering, 2012.

2. Alberta Energy and Utilities Board Alberta's Energy Reserves 2006 and Supply // Demand Outlook 2007-2016.

3. Song Y., Australia Energy Development Tilt to «Gas». Petroleun&Chemical. 2006.

4. Faiz M., The Influence of Petrological Properties and Burial History on Coal Seam Meth-ane Reservoir Characterization, Sydney Basin, Australia // International Journal of Coal Ge-ology, 2010.

5. Yijun L., Coparision of CBM development potential in China and USA // China Coalbed Methane, 2004.

6. Rongguo C., Development and Utilization of Coalbed Methane at Home and Abroad // Re-source Situation, 2009.

7. Karmis M., A Numerical Study on Optimization of Multilateral Horizontal Wellbore Pat-terns for Coalbed Methane Production in Southern Shanxi Province, China // Int. J. Coal geol., 2011.

8. Palmer I., Coalbed Methane Completions: a World View. Int. J. Coal Geol. 82, P. 184-195, 2010.

9. Lu Y., A New Method of Drilling Long Boreholes in Low Permeability Coal by Improving its Permeability // Int. J. Coal Geol. 84, P. 94-102, 2010.

10. Petukhov, A. V., Osnovnyye tekhnologii opytno-promyshlennoy dobychi metana iz ugol'nykh plastov Pechorskogo basseyna / A. V. Petukhov, A. V. Maksyutin, A.A. Petukhov, D. G. Podoprigora // Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti. – 2014. – № 1. – P. 48-56.

11. Zolotykh, S.S., Problemy promyslovoy dobychi metana v kuznetskom ugol'nom bas-seyne / Zolotykh, S.S., Karasevich, A.M. - Moskva : ISPIN, 2002. – 570 p.

12. Aksel'rod S.M. Dobycha metana iz ugol'nykh plastov // NTV «Karotazhnik». Tver' : - AIS. 2013. Vypusk 6. P. 101-133.

13. Chzhiven' V., Tekhnologiya karotazhnoy otsenki metana v ugol'nykh plastakh na osnova-nii izotermicheskoy adsorbtsionnoy linii // Razvitiye geofiziki. Pekin. 2010. № 4. P. 1354-1356.

14. Duyetsze V., Obzor razvitiya geofizicheskoy karotazhnoy tekhnologii otsenki metana v ugol'nykh plastakh // Vestnik nauki o Zemle. Pekin. 2003. № 4. P. 385-390.

15. Vey L., Interpretatsionnaya tekhnologiya GIS MUP // XV-ya konferentsiya kitayskoy neftyanoy assotsiatsii. Pekin. 2007.

16. Inmen D., Tekhnologiya karotazhnoy otsenki metana v ugol'nykh plastakh: materialy VII Rossiysko-kitayskogo nauchnogo simpoziuma «Novyye tekhnika i tekhnologii v nefte-gazovoy promyshlennosti», 6-10 avgusta 2012 // CH. 2. Ufa: Iz-vo OAO «Geofizika». 2012. P. 95-104.

Поступило в редакцию 14.03.2016
Received 14 March 2016