

УДК 622.411.332.023.623.002.2

Академик НАН Украины,
д-р техн. наук, профессор А.Ф. Булат,
д-р техн. наук Ю.И. Кияшко,
инженер Л.И. Гажемон (ИГТМ НАН Украины)

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДОБЫЧИ ШАХТНОГО МЕТАНА В УКРАИНЕ

Представлені результати аналізу робіт по видобутку та використанню одного з цінних енергоносіїв – шахтного метану. Виконані деякі узагальнення напрямків вдосконалення існуючих технологій вилучення метану з вуглепородних масивів. Розкриті перспективи промислового видобутку та використання шахтного метану.

EXPERIENCE AND PROSPECTS OF INDUSTRIAL PRODUCTION MINE METHANE IN UKRAINE

The results of the analysis of works on production and use of one of most valuable energy-carriers - mine methane are submitted. The partial generalizations of directions of improvement of existing technologies of extraction methane from coal-rock of files are executed. The prospects of industrial production and uses methane are opened.

Сегодня во многих странах мира извлечение и использование шахтного метана превратилось в самостоятельную энергетическую подотрасль. В настоящее время и в Украине разворачиваются работы по добыче этого ценного энергоносителя, тем более, что запасы его достаточно велики. Так, расчеты показывают, что ресурсы метана только в Донецком бассейне в угольных пластах до глубины 1800 м колеблются в пределах 450-550 млрд. м³ [1]. Необходимы новые высокоэффективные технологии извлечения метана из угольных месторождений, обеспечивающие не только интенсификацию притока метана к добычным скважинам, но и минимизирующие затраты на его добычу. Условия Задача эффективной добычи заключаются, с одной стороны, в отыскании в углепородном массиве протяженных коллекторов высокой дренирующей способности, и, с другой стороны, в его разупрочнении (микро- и макроразрушении).

Проблема добычи метана на угольных месторождениях в связи с подземным производством угля является актуальной. Но ее решение, требующее весьма больших капиталовложений, должно базироваться не на экспериментально-буровых работах, а на научных исследованиях и достоверных исходных данных для технико-экономического обоснования, как промышленного эксперимента, так и в целом рентабельности промысловой добычи угольного метана.

Угольные месторождения на территории 63 угледобывающих стран мира характеризуются исключительным разнообразием сложнейших условий, не имеющих места ни в одной другой отрасли промышленности, связанной с добычей топлива. В связи с этим применяются различные способы и системы раз-

работки угольных пластов, технологические процессы и оборудование, к которым справедливо предъявляются повышенные требования по факторам безопасности и надежности. При этом особое место отводится газоносным месторождениям, где метан с одной стороны пред-

ставляет угрозу жизни шахтеров и рентабельному существованию шахт, а с другой - является экологически чистым топливом и ценным химическим сырьем. Выделение больших объемов метана в угольных шахтах и его взрывы неоднократно становились причиной крупных аварий и гибели шахтеров в различных странах мира.

Мировой опыт свидетельствует, что наиболее эффективным мероприятием по снижению выделения метана в горные выработки шахт является дегазация угольных пластов и коллекторов природных скоплений свободного газа [2] через скважины, пробуренные с земной поверхности или из подземных выработок (США, КНР, Россия, ФРГ, Великобритания, ЮАР, Польша и др.). Так, в ФРГ на шахте "Луизенталь" (глубина 800 м) дегазация газосодержащих толщ производилась вертикальными скважинами, пробуренными с поверхности. За 8 лет было каптировано 23,4 млн. м³ метана, в том числе 1,84 млн. м³ (в среднем 630 м³/сут) до начала влияния горных работ. Эффективность дегазации шахты последовательно вертикальными скважинами, пробуренными с поверхности и подземными скважинами составила 80 %: каптировано вертикальными скважинами 11 млн. м³ и подземными 1,5 млн. м³ метана, около 3 млн. м³ метана выделилось в выработки шахты.

В КНР на антрацитовой шахте "Янцюань" (провинция Шаньси) при разработке свиты пологих пластов мощностью от 0,8 до 11 м и общешахтном выделении метана 240 м³/мин для дегазации заполненных метаном карстовых пустот бурили скважины с поверхности глубиной до 400 м с расстоянием между соседними скважинами 50-70 м. Дебит каптированного метана составил 30-33 м³/мин, что обеспечило эффективность дегазации карстовых пород до 80-85 %. За 25 лет было извлечено 360 млн. м³ метана (в среднем 39 тыс. м³/сут).

В США на шахте "Федерал" применялась дегазация пласта "Питтсбург" направленными скважинами с поверхности. Вертикальные скважины бурились до глубины 300-350 м, а затем из их забоев бурили по пласту веер из трех скважин суммарной длиной до 2000 м. Среднесуточный дебит метана в течение 880 сут составил 44 тыс. м³. При общих капитальных и эксплуатационных расходах около 1,5 млн. долл. США и извлечении за год 9,2 млн. м³ метана каптаж 1000 м³ обошелся в 2,05 долл. Затраты на бурение и оборудование скважин окупились за 4 года. Эффективность дегазации выемочного участка составила около 40 %.

Возможность и экономическая целесообразность крупномасштабной промысловой добычи метана на углегазовых месторождениях подтвердились ходом развития углегазовых промыслов в США и обнадеживающими результатами работ в Австралии, Китае и др. странах [3-6]. Так, по опубликованным данным, добыча метана в США резко возросла от 5 млрд. м³ в 1990 г. до 24,3 млрд. м³ в 1994 г. Весьма показателен рост доли угольного метана в общем балансе

добычи природного газа в США.

Определенный интерес для специалистов представляет взаимосвязь между числом метанодобывающих скважин и объемами извлеченного метана. Так, по данным EIA в США добыча угольного метана увеличилась с 2,57 млрд. м³ при наличии 1461 скважин в 1989г. до 15,4 млрд. м³ из 5743 скважин в 1992г., т.е. среднее метановыделение из одной скважины повысилось в 1,5 раза, что свидетельствует о весьма благоприятных условиях накопления свободного метана только в отдельных углегазовых месторождениях. Средний дебит метана из одной скважины составлял 0,7-1,5 м³/мин (аналогичные показатели, по оценкам МГГУ [7], имели место на шахтных полях Карагандинского и Донецкого бассейнов).

По оценкам Национального нефтяного совета (NPC) извлекаемые запасы угольного метана на период 1992г. составили 1,73 трлн. м³ при использовании действующих технологий извлечения метана и 2,74 трлн. м³ - при использовании передовых технологий.

Практика США показала, что добыча метана на угольных месторождениях является, прежде всего, инженерной задачей, решение которой в значительной степени зависит от свойств углепородных толщ как резервуаров газа. Предоставление налоговых льгот и действующие законы, определяющие государственную собственность на метан угольных пластов, явились важными факторами, стимулирующими добычу метана в условиях 11 действующих угольных бассейнов США. Чтобы обеспечить добычу метана около 25 млрд. м³/год потребовалось пробурить около 17 тыс. геологоразведочных скважин стоимостью 17 млрд. долл. США [7]. Таким образом, за 10-летний период (1983-1992 г.г.) в США наблюдался значительный рост добычи угольного метана, большей частью обусловленный наличием локальных газовых месторождений и введением налоговых льгот, действие которых с 1994 г. было прекращено и не распространялось на вновь пробуренные скважины. В 1983 г. добыча метана составила 0,13 млрд. м³ из 160 скважин при объеме метана из одной скважины 812 тыс. м³/год, а в 1992 г. - 15,4 млрд. м³ при съеме 2681 тыс. м³/год метана из скважины. Объем добычи угольного метана в США в 1996 г. достиг 28,4 млрд. м³. При этом метаноносные районы бассейна Сан-Хуан, являвшегося самым крупным производителем угольного метана, к концу 1996 г. практически уже были разработаны. Специалисты США считают, что необходимы решительные меры по стимулированию добычи метана в перспективных угольных бассейнах, по их мнению, разработка новых углегазовых месторождений при отсутствии стимулирования со стороны государства экономически выгодной может быть только при высоких ценах на газ, чтобы возросшие затраты на бурение и оснащение скважин на новых участках были компенсированы. Тем более, что во вновь осваиваемых районах необходимо развитие новой инфраструктуры по доставке газа в соответствии с требованиями его реализации на рынке.

В Российской Федерации опыта промысловой добычи метана на угольных месторождениях пока нет. Однако, согласно публикации [8], Кузбасс готовится к промышленной добыче угольного газа: программа "Метан Кузбасса" набира-

ет обороты и в ее орбиту вовлечены “Газпром” и федеральное правительство, которое готово поддержать проект. Программой “Метан Кузбасса” предполагается организовать промышленную добычу метана из угольных пластов как самостоятельного полезного ископаемого (наравне с природным газом, нефтью и углем). При этом роль главных коллекторов метана отводится угленосным участкам за пределами горных отводов ныне действующих в Кузбассе шахт. Прогнозные для извлечения запасы метана могут достигать 20 трлн. м³ [8]. Добыча таких ресурсов метана, как полагают авторы проекта, позволила бы обеспечить энергетику региона “своим” экологически чистым топливом, а предприятия химической промышленности и металлургии – необходимым сырьем.

Для опытно-промышленного освоения перспективных для добычи метана участков и площадей необходимо выделить конкретное число первоочередных, с большими запасами метана. Для этого необходимо, чтобы на их угленосных площадях находилось метановое месторождение свободных газов. При исследовании газодинамических характеристик угленосных массивов Донбасса особое внимание уделяется изучению их газопроницаемости и газоотдачи. Для определения проницаемости производят газозвуковые съемки в тупиковых подготовительных выработках, проходка которых велась за пределами влияния горных работ. Учету подлежали глубина горных работ, газоносность и мощность угольных пластов, величины газового давления, констант сорбции и пористости, скорость проведения выработки, а также фактические данные по дебитам метана в пластовые дегазационные скважины, функционировавшие вне зоны влияния очистных работ. Необходимо учитывать, что достаточно низкие показатели извлечения метана из не разгруженных от горного давления угольных пластов обусловлены, прежде всего, малой их газопроницаемостью в природных условиях, а также тем, что любая искусственно созданная полость в угольном пласте (будь то скважина, трещина или даже выработка) имеет предельный радиус дренирования.

Многолетней практикой работ по дегазации неразгруженных угольных пластов Донецкого, Карагандинского и Кузнецкого бассейнов на глубинах от 270 до 810 м [8] был определен средний эффективный радиус влияния скважин, который для пластов Донбасса и Караганды составил в среднем 4,4 м и 3,2 м соответственно (шахты в Донбассе более глубокие, чем в Караганде), а в условиях шахт Кузбасса (в том числе и южных его месторождений) он не превышает 8 м. Поэтому ориентироваться на 15-20 лет [8,10] функционирования скважин с высокими дебитами пластового метана без новых технологий газоизвлечения пока нет никаких оснований. Из скважины, пробуренной вквост простирания угольного пласта (скважина с поверхности), за предельный срок ее функционирования, который обычно не превышает один год, удельное метановыделение будет изменяться от 200 до 1100 м³/м соответственно при газопроницаемости пласта 0,005 и 0,045 мД.

Добыча 1000 м³ метана из угольных пластов даже в наиболее благоприятных по газопроницаемости условиях будет обходиться только по статье “бурение скважин” в 290 долл. США, а не в 15 долл. общей себестоимости добычи

угольного метана [8]. Таким образом, за пределами горных отводов действующих шахт промысловая добыча метана из неразгруженных угольных пластов через скважины, пробуренные с земной поверхности, без эффективных средств интенсификации газоотдачи экономически будет нецелесообразной вследствие низкой их природной газоотдачи. Поэтому нужны более глубокие научные исследования по обоснованию участков для проведения эксперимента по промышленной добыче метана

Осторожность в оценке возможных объемов промышленной добычи угольного метана, также как и его ресурсов, необходимо проявлять еще и потому, что по фактическим данным при подземной разработке пластов угля из действовавших в 2001 г. метанообильных шахт Украины, где газоотдача разгружаемых от горного давления угленосных толщ повышается на 2 порядка, в течение 1996 года выделилось 2,0 млрд. м³ метана, а средствами дегазации пластов угля и газоотсоса метана из выработанных пространств наиболее газообильных шахт извлечено 200,0 млн. м³ метана, из которых только половина объема была каптирована [13].

Кроме того, опыт подземной дегазации разрабатываемых угольных пластов в естественных условиях их залегания (природная газопроницаемость) свидетельствует также о том, что при высокой плотности бурения восходящих (сухих) пластовых скважин, когда на 1 м скважины приходилось 25 т дегазируемых запасов угля [11], съем метана из угольного массива действующих лав составлял в среднем 1,5 м³/т - при дегазации параллельными очистному забою скважинами и 5,5 м³/т - при дегазации перекрещивающимися скважинами (преимущественно дегазация пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа). Эффективность извлечения метана из угольных пластов с газоносностью 15-20 м³/т составляла в первом случае 7-10 %, а во втором – 27-35 %. Упомянутая выше плотность формирования в пласте искусственных полостей через скважины, пробуренные с поверхности, обеспечена быть не может.

Опыт применения гидрорасчленения угольных пластов через вертикальные скважины, как способа интенсификации газоотдачи (метод МГГУ), также свидетельствует о небеспредельных его возможностях по объемам извлечения метана из угольного массива [12].

Главные направления совершенствования технологии извлечения угольного метана через каналы хорошо проявляются при анализе линейного закона фильтрации Дарси (формула Дюпюи):

$$q = \frac{\pi \cdot k \cdot l_k \cdot \gamma_0 \cdot (P_1^2 - P_0^2)}{\mu P_0 \cdot \ln \frac{R}{r_k}} .$$

Согласно этому выражению дебит метана в канал (q) прямопропорционален его длине (l_k), поэтому протяженные горизонтальные буровые каналы по угольному пласту вполне оправданы.

Значимость радиуса канала весьма ограничена, поэтому диаметр бурения не имеет принципиального значения. Расстояние до контура питания (R) измеряется сотнями метров, и если пробурить скважину вблизи места скопления метана или трещиноватой зоны, т.е. уменьшить R в сотни раз, можно существенно увеличить приток метана в канал.

Особое значение имеет величина газопроницаемости угольного пласта (K), измеряемая на глубинах около 1 км всего лишь сотой или тысячной долями миллиарда ($K = 0,01-0,001$ мД). Поэтому любые методы увеличения газопроницаемости угольного пласта заслуживают пристального внимания.

Предложена и разрабатывается новая технология извлечения угольного метана, заключающаяся в создании протяженных каналов по угольному пласту и использовании их для термодинамического воздействия на последний. Увеличение газопроницаемости метаносодержащего угольного пласта достигается механическим его разупрочнением (разрушением) и тепловым прогревом.

Возможны два метода реализации новой технологии: соединение вертикальных скважин гидроразрывом угольного пласта в длинные горизонтальные угольные каналы.

Создание методом гидроразрыва коллектора в угольном пласте достигается особой технологией его осуществления, заключающейся в импульсном пневмогидравлическом воздействии на угольный пласт. Направленность процесса гидроразрыва при соединении нескольких скважин обеспечивается особым гидродинамическим воздействием на них.

Этой технологией в единый канал-щель было соединено 5 вертикальных скважин на глубине 240 м. Канал-щель имел высокую пропускную способность, а эквивалентный диаметр составлял 0,3-0,35 м. Основные элементы технологии гидроразрыва угольного пласта защищены российскими патентами.

Второй метод новой технологии заключается в огневой (термической) проработке горизонтального бурового канала. В результате реализации метода не только увеличивается диаметр канала до 0,5-0,6 м, но и, что гораздо важнее, возрастает (в сто и более раз) коэффициент газопроницаемости угольного пласта, прилегающего к термически проработанным стенкам канала. Этот метод испытан в натуральных условиях, а его технологические параметры защищены российским патентом.

В развитие поисков наиболее эффективных решений интенсивного извлечения метана из угольных пластов была выполнена количественная гидродинамическая оценка дренирующей способности различных коллекторов. Выяснилось, что в отличие от кольцеобразных каналов плоские щелевидные каналы могут дренировать метан гораздо интенсивней. Так, если в кольцеобразном канале дебит метана пропорционален логарифму его радиуса ($\ln r_k$), то в щелевидном коллекторе он пропорционален удвоенной его поверхности ($2S$). Отсюда, наиболее целесообразно переходить к созданию в угольном пласте плоскоплощадных щелей.

В связи с результатами такой аналитической оценки гидродинамической эффективности различных коллекторов для извлечения угольного метана был

разработан технологический регламент процесса создания в пласте площадных плоских коллекторов. Этот регламент основан на опробованном нами ранее импульсном пневмогидравлическом воздействии на угольный пласт. Имеющиеся горизонтальные каналы, создаваемые бурением или гидроразрывом, могут быть использованы в качестве иницирующих выработок для площадного щелеобразования.

Последующее термическое воздействие на созданные площадные щели приведет к существенному увеличению коэффициента газопроницаемости прилегающих зон угольного пласта.

После откачки подземных вод через обе скважины (осушение массива и созданных коллекторов), т.е. создания депрессии вокруг зоны 5, к последней начинает поступать шахтный метан. Ожидаемый приток метана (90-92 %) 600-1000 м³/ч.

Ориентируясь на низкую природную газоотдачу угольных пластов, сомнительную схожесть месторождений Донбасса с бассейном Сан-Хуан, отсутствие инфраструктуры по доставке газа потребителям и опыта промышленной добычи метана с использованием отечественных технологий, можно предположить, что мероприятия по высвобождению природного газа и его замене в регионе угольным метаном будут нерентабельными. Более экономичным следует считать внедрение в шахтах способов и средств извлечения, кондиционных по метану газоздушных смесей, пригодных для утилизации. Выделение дополнительных финансовых средств на повышение эффективности шахтной дегазации позволит не только повысить производительность и безопасность ведения горных работ по отработке метаноносных пластов, но и расширить объемы использования каптируемого в шахтах метана, улучшив тем самым технико-экономические показатели работы шахт, создать новые рабочие места и улучшить условия труда на теплоэнергетических предприятиях при замене угля на экологически чистое топливо, каковым является метан.

Говоря о проблеме утилизации метана необходимо отметить, что метан является парниковым газом. Период распада метана в атмосфере составляет от 3,5 до 11 лет. Метан эффективно поглощает инфракрасную радиацию, что приводит к изменению как регионального, так и глобального климата. Увеличение концентрации метана в атмосфере приведет к увеличению температуры приземного воздуха со всеми вытекающими отсюда последствиями. Поэтому вопрос утилизации метана имеет немаловажное значение и с экологической точки зрения.

Говоря об утилизации метана, необходимо отметить, что недостаточный объем метана, используемой как источник получения тепловой энергии объясняется тем, что его сжигание в котельных и автономном воздухонагревателе носит сезонный характер: наибольшее потребление приходится на зимнее время года. Повысить объемы утилизированного метана возможно за счет внедрения новых установок по получению тепловой энергии используемой в технологических процессах и установок по получению электрической энергии. Увеличение объемов утилизации метана – это, в первую очередь, снижение себестои-

мости добываемого угля, уменьшение дефицита электроэнергии и решение многих экологических проблем в угледобывающем районе.

Исходя из экологических соображений, эффективным альтернативным вариантом реализации перечисленных и освоенных на Западе процессов наземной газификации может оказаться подземная газификация угольных пластов на месте их залегания. Такую технологию действительно можно отнести к экологически чистым угольным технологиям.

Немаловажное значение также имеет дегазация надрабатываемых пластов [13]. Для удаления метана, поступающего из надрабатываемых пластов расходуется до 70 % воздуха, подаваемого вентиляцией на выемочный участок. Метан из надрабатываемых пластов в настоящее время является сдерживающим фактором увеличения нагрузок на очистной забой по фактору вентиляция. Увеличение расхода воздуха осложнено значительной протяженностью шахтных вентиляционных сетей. Поэтому развитие дегазации надрабатываемых пластов всегда было актуальной проблемой, требующей научно-инженерного решения. Наличие дегазационного трубопровода по контуру выемочного поля позволило вести работы по дегазации надрабатываемых пластов с дегазацией подрабатываемых пластов, однако, дегазация первых желаемых результатов не дала. Максимальный дебит метана в коротких скважинах составлял от 2,5-3,0 м³/мин. Сдерживающими факторами широкого развития дегазации надрабатываемых пластов на шахтах являются: бурение дегазационных скважин под малыми углами, сложность герметизации пространства между стенкой скважины и обсадной трубой, сохранение стволов скважин в зоне повышенной деформации вмещающих пород, снижение концентрации метановоздушной смеси в участковом дегазационном трубопроводе и ряд других эксплуатационных сложностей. Эти факторы создали предпосылки для пересмотра направлений работ по дегазации надрабатываемых пластов.

Обобщая изложенное, можно сделать следующие выводы о перспективах промышленной добычи шахтного метана применительно к специфическим условиям Украины.

Добыча метана из скважин, пробуренных с поверхности Земли должна основываться, прежде всего, на их профессиональном обустройстве, так как весьма часто для извлечения газа используются геолого-разведочные скважины. Кроме этого, необходимо в какой то мере использовать весь имеющийся комплекс технологических приемов по исключению попадания в скважины шахтной воды, по выбору конструкций каждой скважины в соответствии со спецификой угленосного массива, а также особенностями отработки лавы, над рабочим пространством которой будет пробурена проектируемая скважина. Естественно, что обустройство скважины необходимо проводить одновременно с созданием газо-транспортной, -перерабатывающей и – потребляющей инфраструктур на поверхности шахты.

Весьма перспективной является добыча газа из подземных скважин. Однако, как показали результаты новейших исследований, выполненных в этом направлении ИГТМ НАН Украины, работы по газодобыче должны быть упорядочены

и объединены в единую технологию, основанную на использовании специального «газового горизонта». При этом скважины должны быть протяженными, а направления их бурения и очередность включения в работу необходимо основывать на знаниях геомеханики, геодинамики углепородного массива с учетом детализированных данных о его геологических, гидро - газо – геологических, тектонико-структурных и других характеристиках. Кроме этого, следует умело использовать существующие и новые технологии интенсификации газовой выделенности из скважины, в том числе путем локальных гидроразрывов, акустического и других видов воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф. Создание индустрии шахтного метана в топливно-энергетическом комплексе Украины. // Геотехническая механика. -1998. -№10. –С. 3-8.
2. Зайденварг В.Е., Гаркавенко Н.И., Афендииков В.С. и др. Угольная промышленность за рубежом. М., Горная промышленность, 1993, 389с.
3. Byrer Charles W. and Guthrie Hugh D. Appalachian coals: potential reservoirs for sequestering carbon dioxide emissions from power plants while enhancing CBM production. International coalbed methane Symposium. USA, Alabama, May 3-7, 1999/ p.p. 319-327.
4. Jeffrey R.G., Meaney K.T.A. and Doyle R.P. History matching of hydraulic fracture and production data from a vertical CO₂ and CH₄ gas drainage test well. International coalbed methane Symposium. USA, Alabama, May 3-7, 1999/ p.p. 329-340.
5. Wuzhong Li, Yibing Wang and Bin Sun. Status for the exploration of coalbed gas in China. International coalbed methane Symposium. USA, Alabama, May 3-7, 1999/ p.p. 1-11.
6. Wang Hongyan, Zhang Jianbo, Liu Honglin, Li Jun. Analysis of Coalbed Methane Preservation Conditions. International Coalbed methane Symposium. USA, Alabama, May 3-7, 1999/pp. 341-346.
7. Сластунов С.В. Проблемы угольного метана и их технические решения. // Современные проблемы шахтного метана. МГГУ, 1999, с. 50-61.
8. Ну, очень заманчивая перспектива //Нефть и капитал, 2001, X, С.22-25.
9. Забурдяев В.С., Сергеев И.В. и др. Дегазация угольных пластов с применением методов активации газовой выделенности. – М.: ЦНИЭИуголь, 1988, 50с.
10. Ермаков А.И., Ефремова А.Г., Журило А.А. и др. Внешахтное извлечение угольного метана // Горный вестник, 1998, №5, С. 99-102.
11. Забурдяев В.С., Забурдяев Г.С. Способы интенсификации газоотдачи неразгруженных пластов угля в подземных условиях // Современные проблемы шахтного метана. МГГУ, 1999, С.106-117.
12. Ярунин С.А. Опыт гидрорасчленения выбросоопасных пластов // Современные проблемы шахтного метана. МГГУ, 1999, С.26-46.
13. А.П. Веселов, В.В. Скатов, А.А. Эннс Опыт подземной дегазации и утилизации каптируемого метана на шахтах ОАО «Воркутауголь».