

УДК 622.3:504.61

А.В. Борисенко, Ю.М. Иванов, М.А. Волков

**ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
УЧАСТКИ ЗАЛОЖЕНИЯ СКВАЖИН ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ
МЕТАНА ИЗ ЛИКВИДИРОВАННЫХ И ДЕЙСТВУЮЩИХ
ШАХТ**

При разработке технологической части проектов извлечения метана из техногенных пустот угольных шахт важным вопросом является определение критериев выбора перспективных участков заложения скважин. В статье изложено теоретическое обоснование основных факторов, которые необходимо учитывать при оценке участков заложения скважин с точки зрения метанодобываемости.

Ключевые слова: извлечение шахтного метана, подработанный горный массив, выработанное пространство, техногенный коллектор, участки заложения скважин.

При выборе участков заложения метанодобычных (дегазационных) скважин, пробуренных с поверхности в подработанный массив, необходимо определить ряд основных факторов, определяющих перспективность этих участков (в сравнении с другими рассматриваемыми в границах шахты) с точки зрения метанодобываемости. В виду того, что практический опыт извлечения метана из ликвидированных шахт в России отсутствует, научно-методическая база по данному вопросу находится в начальной стадии своего формирования. Таким образом, на первоначальном этапе представляется возможным провести лишь теоретическое обоснование факторов, которые необходимо учитывать при выборе перспективных участков заложения метанодобычных скважин.

Необходимо понимать, что под извлечением метана из выработанных пространств понимается технология извлечения метана из техногенных пустот нарушенного горными работами массива – техногенного коллекто-

ра, который представлен как самими выработанными пространствами, так и образовавшимися в массиве, в зоне влияния очистных работ, пустотами.

Основным источником свободного метана в деформированном горными работами массиве, питающим газом сложившийся техногенный коллектор, являются те угольные пласты, которые не отрабатывались и при этом попали в область разгрузки массива от горного давления при ведении очистных работ – в зону деформаций и трещинообразования. Такие угольные пласты будут являться источником, обеспечивающим подпитку техногенного коллектора свободного метана. В ряде случаев значительный вклад могут вносить вмещающие породы.

Рассмотрим, к примеру, для горного отвода ликвидируемой шахты «Капитальная», продуктивная толща которого (при общей мощности 680 м) включает 34 пласта и пропластка угля, два крайних случая: 1-й – нетронутый горными работами массив, и 2-й – отработка всех угольных пластов

в свите. В первом случае, извлечение свободного метана из неразгруженного углепородного массива не представляется возможным, т.к. требуется проведение высокотехнологичных и капиталоемких работ по активному воздействию на угольные пласты, направленных на повышение газопроницаемости углепородного массива и интенсификацию газоотдачи. Во втором случае, продуктивность извлечения метана будет низкой ввиду малой остаточной метаноносности массива (дегазированной толщи). Соответственно, логично предположить, что **соотношение выработанных пространств и подработанных (деформированных) очистными работами угольных пластов должно быть оптимальным (с точки зрения потенциальных запасов свободного метана)**. Но, принимая во внимание тот факт, что в пределах горного отвода шахты могут иметь место случаи невыдержанности угольных пластов по мощности, то логичнее привязываться не к количеству разгруженных (деформированных) угольных пластов в зоне выбираемого участка, а к их суммарной мощности – максимальная угленасыщенность техногенного коллектора, сложившегося в результате ведения добычных работ, чем и будет определяться его продуктивность по метану.

Таким образом, первым фактором является **максимальная (в сравнении с другими рассматриваемыми участками) угленасыщенность деформированной очистными работами области горного массива с нарушением сплошности пластов – техногенного газового коллектора**.

При этом наиболее предпочтительными для добычи метана условиями будут являться те, при которых

границы куполов (сводов) обрушения пород кровли каждого из отработанных в свите пластов смыкаются (накладываются в разрезе), т.е. имеют аэродинамическую связь, а в внутри этих областей, при этом, лежало бы наибольшее число неотработанных угольных пластов (имеющих наибольшую суммарную мощность). В этом случае, вскрытие скважиной всех выработанных пространств обязательно, т.к. области деформаций, вызванные отработкой этих пластов, за счёт имеющейся аэродинамической связи будут представлять (в районе рассматриваемого участка) единый коллектор газа, что позволит для его дегазации принять значительно меньшую глубину заложения скважин, существенно сокращая затраты на извлечение метана.

При этом важно, чтобы природная метаноносность угольных пластов, попадающих в зону деформаций, которые предположительно будут питать метаном сложившийся техногенный коллектор, имела бы наибольшие значения в сравнении (при прочих равных условиях) с другими рассматриваемыми участками.

Таким образом, в качестве второго фактора принимается **наибольшая остаточная газоносность угольных пластов в нарушенной зоне**.

Но в виду того, что область разгрузки массива складывается из зон с различной степенью и характером нарушения пород, следовательно, и **степень нарушения угольных пластов, попавших в область деформаций пород** при ведении добычных работ, также будет различной, в зависимости от удаленности подработанного (надработанного) пласта от выработанного пространства, предопределяя, тем самым, **интенсивность газовыделения** и

продолжительность газонистости. Соответственно, в зависимости от преследуемых целей (необходимость в высоком дебите каптируемого газа, или же основное значение имеет продолжительность метановыделения, а значит и период работы скважин), в определенных горно-геологических и горнотехнических условиях, выбираемые для извлечения метана участки могут иметь разное месторасположение, исходя из заданных приоритетов. Данные соображения заложены в основу третьего фактора, который в большей степени ориентирован на способ и технологию утилизации каптируемой метановоздушной смеси.

В основу четвертого фактора заложен принцип выбора газового коллектора, содержащего в себе **наибольший суммарный объём техногенных пустот**, а значит и **наибольший объём свободного метана**, который он может в себе потенциально аккумулировать, что напрямую зависит от общей **площади отработанных участков**, вскрываемых скважиной (осью скважины).

В качестве пятого фактора можно принять **отсутствия случаев выклинивания угольных пластов** в районе выбираемого участка, т.к. факт выклинивания угольного пласта говорит о снижении угленасыщенности породного массива, а соответственно, и о снижении его метаноносности, что определяет такой участок как менее привлекательный по отношению к другим рассматриваемым (при прочих равных условиях) с точки зрения метанодобываемости.

При отработке угольных пластов происходит сдвигание пород подрабатываемой толщи, в результате чего могут иметь место (особенно, в условиях выемки нескольких пластов в свите, при отработке пластов с пол-

ным обрушением кровли) случаи выхода на поверхность техногенных трещин (полная подработка). Такие техногенные нарушения (также как и геологические нарушения, прилегающие к коллектору газа) являются путями миграции метана на поверхность. При этом степень нарушения массива (его разуплотнённости) будет определять интенсивность процесса утечки метана из выработанных пространств шахты.

Также необходимо учитывать особенности процессов слёживаемости нарушенных очистными работами пород, в результате чего происходит уплотнение деформированного массива (снижение его проницаемости и фильтрационных характеристик).

Исходя из этих соображений, важным шестым фактором, который необходимо учитывать, является период времени, истекший после отработки пластов в районе выбираемого участка: приоритет отдается участкам с **наиболее поздними годами отработки пластов** (при прочих равных условиях), чем и определяется их перспективность.

При этом накопление метана в сложившемся в результате ведения горных работ техногенном коллекторе во многом зависит от наличия в вышележащей толще экранирующих пород и целостности этих пластов. Такими экранами могут служить, к примеру, обводненные юрские отложения, глинистые породы (в том числе являющиеся водоупорами для вышележащих водоносных горизонтов) и пр. Таким образом, в качестве седьмого фактора можно принять **наличие и целостность экранирующих пород**, препятствующих дренированию (миграции) метана на дневную поверхность, чем обеспечиваются необходимые условия для аккумуляции метана в подземных пустотах.

Из результатов многочисленных исследований геомеханических процессов, происходящих в массиве при ведении горных работ, известно, что зона деформаций (обрушения и трещинообразования) в подрабатываемой толще максимальна по размерам при отработке пластов пологого залегания, что, в свою очередь, определяет размеры образующегося при этом газового коллектора и, соответственно, объёмы техногенных пустот внутри него. Поэтому в качестве восьмого фактора принимается **пологое залегание отработанных угольных пластов** (при прочих равных условиях).

Порядок отработки угольных пластов также может влиять на объёмы остаточных, потенциально извлекаемых ресурсов свободного метана. При восходящем порядке отработки пластов системой вентиляции шахты из массива извлекается больше свободного метана, чем при нисходящем порядке отработки. Это можно объяснить следующим образом.

При отработке пласта, например, длинными столбами с полным обрушением пород кровли (на сегодняшний день наиболее распространенная технология) в вышележащей толще происходит сдвиг пород. При этом сдвиг пород с нарушением их сплошности (целостности пластов) в подрабатываемой толще может распространяться на расстояние до 80-125 вынимаемых мощностей от выработанного пространства по нормали к поверхности. В этой зоне формируется техногенный коллектор газа, представленный всевозможными трещинами, разломами, расслоениями и пр. После отработки лавы и изоляции отработанного поля в данном коллекторе, за счёт продолжающегося газовыделения (десорбции метана) происходит накопление газа.

При небольшой мощности междупластий (характерной, к примеру, для Кузбасса) рабочие пласты, подлежащие отработке, могут попадать в область техногенного трещинообразования, вызванного отработкой предыдущего нижележащего пласта. Таким образом, при восходящем порядке отработки пластов, системами вентиляции и дегазации шахты будет извлекаться метан как вновь выделяющийся при очистной выемке, так и выделившийся ранее при отработке предыдущего (нижележащего) пласта и содержащийся в уже сложившемся коллекторе, внутри которого простирается разрабатываемый пласт. При нисходящем порядке отработки, напротив, – газовыделение в массиве, активизированное последующей отработкой нижележащих пластов, будет подпитывать выделяющимся и “всплывающим” метаном сложившийся в вышележащей толще техногенный коллектор, образованный более ранней отработкой вышележащих угольных пластов. При этом данный процесс будет интенсифицироваться по мере изоляции отработываемых полей, т.к. горные работы будут перемещаться на нижние горизонты шахты, и общешахтная депрессия, создаваемая системой вентиляции шахты (при всасывающем способе проветривания), будет оказывать всё меньшее влияние на аэрогазодинамику в рассматриваемом техногенном коллекторе, при снижении утечек метана из него.

Исходя из этих соображений, в качестве девятого фактора можно принять **нисходящий порядок отработки пластов** (при прочих равных условиях).

Весьма важным с точки зрения извлечения метана из выработанных пространств является гидрогеологический фактор, который включает в себя два вопроса: 1-й – степень на-

рушенности гидродинамического режима поверхностных водоёмов и водоносных горизонтов, расположенных в вышележащей подрабатываемой толще (целостность водоупоров), и 2-й – продолжительность естественного затопления выработанных пространств подземными водами и прогнозный (установившийся) уровень горизонта затопления. В соответствии с этим, определены: десятый фактор – **целостность пластов (низкая вероятность их разрыва при подработке) являющихся водоупорами** водоносных горизонтов, расположенных над областью ведения горных работ, что будет определять отсутствие водопритока или низкую его интенсивность; одиннадцатый фактор – **незначительный (относительно общего объёма коллектора) уровень затопления выработанных пространств**, позволяющий этим пренебречь, т.е. при котором можно говорить о дегазации выработанных пространств в долгосрочной перспективе, с учётом интенсивности водопритока.

Таким образом, в результате теоретических изысканий, в качестве **основных факторов**, определяющих перспективность участков скважинного извлечения метана из выработанных пространств ликвидированных угольных шахт, а также отработанных и изолированных горных блоков действующих шахт, были сформулированы следующие:

1. Максимальная угленасыщенность деформированной горными работами области горного массива;

2. Наибольшая остаточная газоносность угольных пластов в нарушенной зоне;

3. Необходимая и достаточная (с точки зрения требований к кондиции и параметрам извлечения газа) степень нарушения подработанных, а также надработанных угольных пла-

стов, определяющая подпитку техногенного коллектора метаном, её интенсивность и длительность;

4. Наибольшие площади отработанных участков;

5. Отсутствие (минимальное наличие) случаев выклинивания угольных пластов в районе выбираемого участка;

6. Поздние годы отработки угольных пластов;

7. Наличие и целостность экранящих пород, препятствующих дренированию (миграции) метана на дневную поверхность;

8. Пологое залегание угольных пластов;

9. Нисходящий порядок отработки пластов;

10. Целостность пластов (низкая вероятность их разрыва при подработке), являющихся водоупорами водоносных горизонтов;

11. Низкий (незначительный, относительно общего объёма коллектора) уровень затопления выработанных пространств.

Влияние данных факторов определяется при прочих равных условиях.

Важно понимать, что проранжировать указанные факторы по степени важности не представляется возможным, т.к. в каждом конкретном случае тот или иной критерий может оказаться наиболее значимым и решающим. Так, к примеру, один участок может “уступить” другому по площади отработанных полей (фактор 4), по угленасыщенности техногенного коллектора – суммарной мощности подработанных и нарушенных горными работами пластов (фактор 1), но при этом являться более перспективным ввиду более поздних годов отработки пластов (фактор 6) или по гидрогеологическим условиям (факторы 10, 11). Данное обстоятельство затрудняет разработку чёткого алгоритма выбора участков наиболее пер-

спективных по метанодобываемости, на базе которого возможно было бы создание универсальной компьютерной программы, применимой в условиях любой угольной шахты. На данном (теоретическом) этапе научных исследований возможно дать лишь принципиальные рекомендации, которые необходимо учитывать выбирая точки заложения скважин. Но в каждом конкретном случае, виду особенностей геологического строения месторождения и горнотехнических условий той или иной шахты, необходим индивидуальный подход к выбору перспективных участков извлечения метана, где наиболее значимым и решающим может оказаться тот или иной критерий.

Из вышеизложенного следует, что выбор перспективных участков извлечения метана из техногенных пустот отработанных горных блоков действующих и ликвидированных угольных шахт необходимо производить, опираясь исключительно на комплексный учёт влияющих факторов.

Такой подход позволит минимизировать риски, связанные с продуктивностью скважин по метану и продолжительностью их службы и приступить к практической реализации первых экспериментальных научных проектов в исследовательских целях.

Также необходимо учитывать, что участок шахтного поля, выбираемый для заложения метанодобычных скважин с поверхности, должен удовлетворять ряду *дополнительных условий*:

1. Незастроенность территории или достаточная удалённость от жилых строений (нормы регламентированы законом);

2. Отсутствие на поверхности шахты в выбранных точках заложения скважин всевозможных водоёмов, препятствующих проведению работ;

3. Наличие (возможность обустройства) в выбранных точках заложения скважин ровных участков для размещения буровой установки и другого оборудования для производства работ (особенно актуально в условиях холмистого рельефа местности Кузбасса);

4. Наличие участка достаточной площади для размещения техники и оборудования, необходимых для производства всего комплекса работ;

5. Наличие вблизи источников электроснабжения и водоснабжения;

6. Наличие (возможность обустройства) подъездных путей;

7. Наличие, а также непосредственная близость объектов-потребителей каприруемого метана.

Эксплуатация первых метанодобычных скважин, пробуренных с поверхности в выработанные пространства угольных шахт, на участках, выбранных с учётом вышеизложенных принципов, позволит, основываясь на фактических показателях реализуемых проектов, внести соответствующие коррективы и в рамках сформулированных факторов определить конкретные критерии выбора перспективных участков извлечения метана. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Борисенко Александр Викторович – ведущий инженер, a.borisenko_msmu@mail.ru
Московский государственный горный университет,

Иванов Юрий Михайлович – первый заместитель технического директора,
neverovanm@suek.ru

Волков Михаил Александрович – начальник отдела, ОАО «СУЭК-Кузбасс»,
volkovma@suek.ru