

## К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Н.М. Табаченко, Р.Е. Дычковский, В.С. Фальштынский, В.Г. Лозинский, П.Б. Саик,  
ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина

В статье представлены результаты исследования поведения горного давления при скважинной подземной газификации угольных пластов. Приведены результаты анализа влияния горного давления на эффективность проведения газификации на примере Южно-Абенской станции «Подземгаз». Определена зона дегерметизации пород кровли и критические (максимальные) значения статического давления при выгазовывании угля. Представлена схема принудительного обрушения пород кровли в призабойное пространство.

**Введение.** Одним из чрезвычайно важных и главных вопросов управления процессом газификации является вопрос управления горным давлением (весом вышележащей толщи пород), так как правильное решение вопроса управления кровлей в каждом отдельном случае на том или ином месторождении поможет правильно решить и вопрос управления газификации угля этого месторождения.

Управление горным давлением при подземной газификации угля можно определить как комплекс мероприятий, обеспечивающих устойчивость боковых пород в подземном газогенераторе для достаточно полного выгазовывания угольного пласта и стабильного получения генераторного газа [1].

**Постановка задач.** Основной задачей эффективного протекания термохимических процессов во время газификации является необходимость поддержания пород кровли в таком состоянии, при котором они непрерывно обрушались бы не только в выгазованном, но и призабойном пространстве, заполняя его как можно плотнее. Эта задача управления кровлей, на первый взгляд, кажется трудно осуществимой в промышленных условиях. Ведь поддержание пород кровли в состоянии постоянного движения и непрерывного обрушения зависит в каждом отдельном случае прежде всего от физико-механических свойств самих пород, от того какими силами сцепления и трения они связаны между собою, и от сил, вызывающих их разрушение и движение (интенсивности трещинообразования и веса блоков, образовавшихся после растрескивания). Таким и свойствами могут обладать только сыпучие и некоторые другие очень рыхлые и малоустойчивые породы, частицы которых совершенно не связаны или плохо связаны между собой. Таких пород очень мало, поэтому возникает вопрос, а как же быть с разрешением проблемы управления кровлей на всех остальных угольных месторождениях. Однако, если хорошо вдуматься в формулировку вышеуказанного определения задач, то они уже сами показывают характер и направление тех работ и мероприятий, которые необходимы для правильного решения управления геомеханическими процессами в каждом отдельном случае.

**Основная часть.** Исходя из указанных выше задач управления кровлей при устойчивых породах, возникает необходимость применения тех или иных мер искусственного воздействия на них. Эти мероприятия осуществляются путем принудительного вмешательства в процесс движения пород кровли в тех случаях, когда породы кровли в силу структуры и физико-механических свойств не способны к немедленному движению и обрушению после того, когда под ними нарушается структура и целостность угольного пласта.

Зная геологическое строение месторождения, предназначенного к газификации и особенно структуру строения угольного пласта и пород, залегающих в его почве и, главное, в кровле, взаиморасположение этих пород, их мощности и угол падения, физико-механические свойства этих пород, а также общие закономерности и характер сдвижения этих пород во время выгазовывания угля, можно разработать определенные мероприятия по искусственному вмешательству в процесс обрушения и непрерывного движения пород.

Основными такими мероприятиями может быть выбор того или иного метода газификации (с различными видами скважин) или системы выгазовывания, определение правильного месторождения огневого забоя (по отношению к природной трещиноватости) или применения специальных взрывных или других работ в массиве пород с целью принудительного приведения их в движение.

Это одно из главных условий, которое позволяет значительно уменьшить дожигание только что образовавшихся горючих газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ). Суть состоит в следующем. В узком призабойном пространстве (рис. 1) образовавшиеся газы выталкиваются из окислительной зоны ускоренным газовым потоком. Выход горючих газов в таком режиме обрушения пород кровли резко возрастает, что приведет к росту потребительских свойств (теплотворной способности) генераторного газа. При этом образование узкого аэродинамического канала также содействует активному контакту дутьегазового потока с огневым забоем и росту горючих газов.

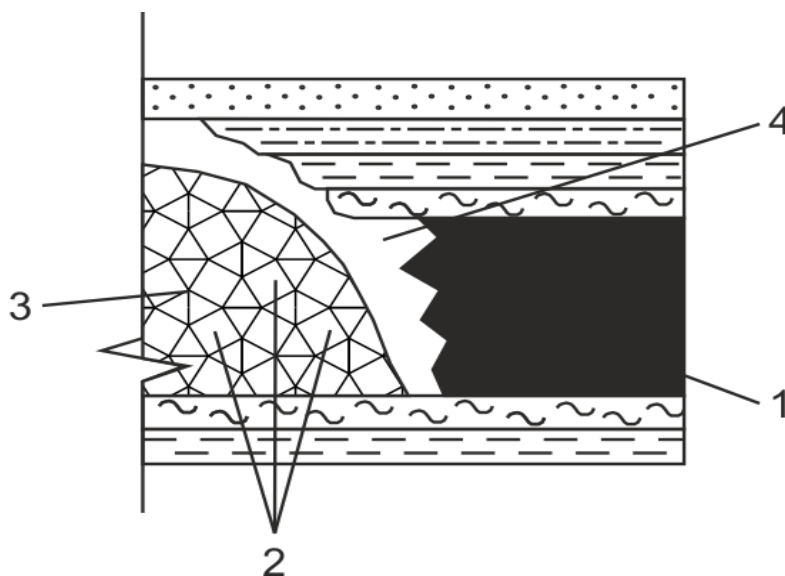


Рис. 1 Схема принудительного обрушения пород кровли в призабойное пространство: 1 – угольный пласт; 2 – трещины в обрушенной породе; 3 – обрушенная порода кровли; 4 – аэродинамический канал газификации (узкое призабойное пространство)

Высокие температуры при газификации ( $1000 - 1300^\circ\text{C}$ ) и горное давление дополнительно разрушает пласт угля и таким путем весь уголь пласта очень хорошо подготовится к газификации, а кровля пласта к ее плавной равномерной осадке.

При наличии в кровле песчаника можно разрушить его с помощью кумулятивного заряда и осуществить гидроразрыв этого песчаника.

Давление жидкости, необходимой для гидроразрыва пласта можно определить по формуле:

$$P = 0,1 \gamma_{cp} H + 5 \text{ МПа},$$

где  $\gamma_{cp}$  – средняя плотность слоев вышележащей толщи пород,  $\text{т/м}^3$ ;

$H$  – глубина залегания пласта, м.

Приведенная формула учитывает необходимость преодоления веса толщи пород от места разрыва до поверхности, в то время как для расслоения пород необходимо преодолеть только силы сцепления этих пород по их напластованию с целью отрыва их от основного массива, т.е. давление жидкости необходимо в несколько раз меньше, чем это потребовалось бы на гидроразрыв пласта в нетронутых породах без подгазованных свободных пространств в угольном пласте. Этот вариант, на наш взгляд, наиболее прост и, в силу этого, представляет большой интерес с точки зрения практического осуществления.

Однако, при выборе одного из описанных методов необходимо помнить, что каждый из них может быть выполнен только в определенных благоприятных для него горногеологических условиях.

Поэтому прежде чем наметить те или иные мероприятия по принудительному вмешательству в процесс сдвижения пород и управления кровлей необходимо в каждом конкретном случае знать и учитывать горногеологические условия и общие закономерности сдвижения этих пород.

Чтобы проверить правильность и целесообразность этих мероприятий необходимо провести процесс газификации в одном случае в расчете на самопроизвольное сдвижение пород, а в другом – на активные методы управления кровлей при помощи принудительного вмешательства в процесс сдвижения пород.

При разработке методом газификации крутопадающих пластов возникает один из основных вопросов каким образом можно обеспечить сохранение герметичности подземного газогенератора и создание нормальных условий ведения технологического процесса газификации.

Из опыта работы Южно-Абинской станции “Подземгаз” (Кузбасс, Россия) было известно, что при подходе линии выгазовывания на глубину порядка 50м от земной поверхности наступало частичное нарушение их герметичности, вносящей значительное осложнение в организацию и дальнейшее ведение технологического процесса, приводившее к повышению потерь газа и снижению его теплотворной способности.

На поверхности наблюдался выход небольших количеств газа фильтровавшегося сквозь толщу покрывающих горных пород. Давление в подземном газогенераторе в этот период колебалось в пределах 0,1 – 0,2 МПа. В большинстве случаев при этом давлении фильтрация газа через толщу пород прекращалась. Из этого можно сделать вывод о том, что статическое давление в газогенераторе ( $P = 0,1 - 0,2$  МПа) является критическим, ниже которого обеспечивалась герметичность газогенератора, выше которого она нарушалась.

Рассмотрим причины, вызвавшие частичное нарушение герметичности подземного генератора.

При крутом падении пласта и пород, когда линия выгазовывания приближается к дневной поверхности, наряду с уменьшением мощности покрывающих пород начинается сдвижение пород непосредственной кровли угольного пласта и частично пород почвы по напластованию. При этом по напластованию образуются закрытые (трещины еле различимые на глаз) и частично открытые (хорошо заметные на глаз величиной 10 – 20мм шириной) трещины. Газ из выгазованного пространства по трещинам в коренных породах выходит под наносы, через которые фильтруется на поверхность (рис. 2).

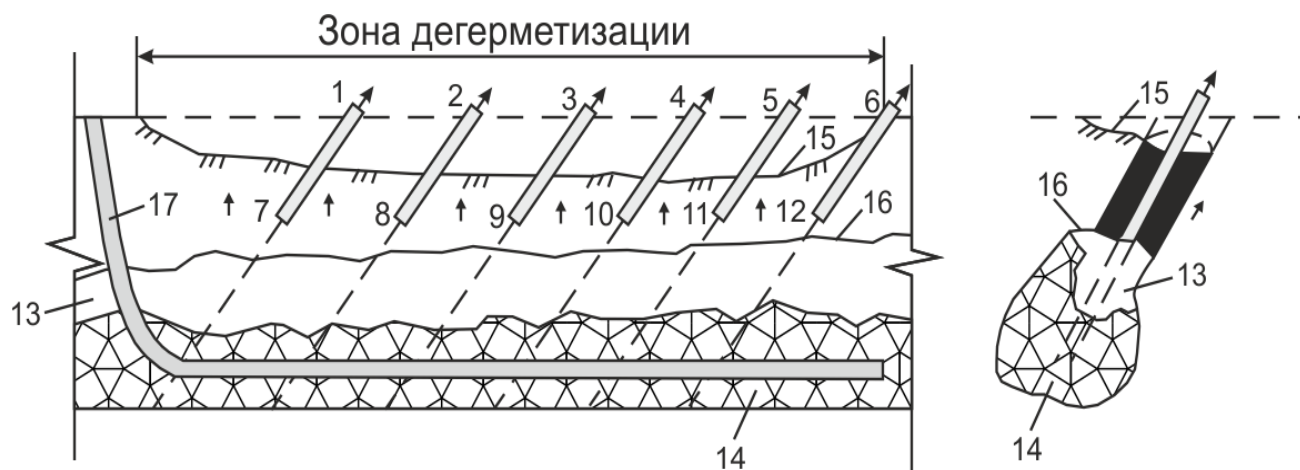


Рис. 2 Схема вскрытия вертикальными и наклонными скважинами одиночного крутого пласта при его газификации: 1-12 – скважины вскрытия; 13 – выгазованное пространство; 14 – обрушенные породы; 15 – опускание поверхности; 16 – реакционный канал; 17 – наклонно-горизонтальная скважина; ↑ – выход газа из выгазованного пространства на поверхность в зону дегерметизации;

Если же образуются открытые трещины значительных размеров, то газ, свободно проходя по ним в большом количестве под наносы, не весь фильтруется на поверхность, а скопившись в большом количестве при повышении статического давления в газогенераторе, внезапно прорывается через их небольшую мощность (5 – 7м) на дневную поверхность, что приводит к снижению теплотворной способности газа и расстройству процесса газификации.

На бывшей Южно-Абинской станции “Подземгаз” (Россия) часто образовывались каналы, связывающие подземный газогенератор и дневную поверхность. Со дня образования канала с большим выходом газа неоднократно принимались меры по борьбе с утечками газа, однако засыпка воронки суглинками наносов, а также смесь гравия с песком и коренными породами не привела к положительным результатам. Как правило, засыпанные в воронку породы немедленно выбрасывались выходящим с большой скоростью газом.

Нарушение герметичности подземного газогенератора и утечки газа через дневную поверхность находятся в прямой зависимости от повышения статического давления в газогенераторе и степени нарушенности покрывающей толщи пород.

В табл. 1 приведены глубины верхней линии выгазовывания и соответствующие им критические давления в подземных газогенераторах Южно-Абинской станции “Подземгаз”, расположенных на крутопадающих пластах средней мощности, а также рекомендуемые величины статического давления при выгазовывании верхней части угольных запасов.

Таблица 1

Критические (максимальные) значения статического давления при выгазовывании угля на Южно-Абинской станции “Подземгаз”

Глубина линии выгазовывания пласта от поверхности, м	Критическое (максимальное) значение давления, МПа	Рабочее статическое давление (рекомендуемое), МПа	Примечания
60	0,07	0,040	Желательно вести процесс при статическом давлении в газогенераторе, равном 0,5 от критического
50	0,055	0,030	
40	0,041	0,025	
30	0,025	0,015	
20	0,010	0,005	

По нашему мнению восстановление герметичности подземного генератора на крутом падении пластов возможно осуществить путем создания котлована, имеющего объем 150 – 170м<sup>3</sup> при глубине около 4 – 5м, в наносах в области выхода газа и заполнения этого котлована глинистой пульпой высокой плотности (1,7 – 1,9 т/м<sup>3</sup>).

Таким образом, анализ показывает, что основным условием сохранения герметичности подземного газогенератора является его правильная эксплуатация, состоящая в обеспечении равномерности и сплошности выгазовывания пласта при движении огневого забоя по восстановлению пласта. Начиная примерно с глубины 60м, с приближением огневого забоя к поверхности, выгазовывание пласта необходимо вести при обязательном понижении статического давления в подземном газогенераторе.

Вышеприведенные краткие сведения об управлении горным давлением при подземной газификации угля свидетельствуют, что разрешение вопроса управления кровлей позволяет более правильно решить задачу управления процессом газификации.

В настоящее время имеется фактически один эффективный метод изучения устойчивости обнажений пород кровли путем лабораторного эксперимента. На “холодных” объемных моделях возможно выяснить характер обрушения холодных пород (не подвергшихся воздействию температур).

Полученные результаты эксперимента позволяют перейти к условиям подземного газогенератора с учетом имеющихся представлений о разрушающем влиянии температур на породы кровли газифицируемого пласта.

В настоящее время еще не разработан метод моделирования имитирующий условия работы кровли в подземном газогенераторе на “горячих” моделях.

Разработка такого метода связана с большими трудностями и в первую очередь с подбором эквивалентных материалов, моделирующих поведение горных пород и изменение их свойств при различной степени прогрева. В связи с отсутствием метода моделирования на “горячих” моделях, исследования решено было проводить на “холодных” моделях.

Как правило, зона обрушения несколько отстает от забоя. Иногда площадь зависшего обнажения достигает на отдельных участках большой величины, но обычно обрушение следует вскоре и на весьма незначительном расстоянии от забоя через 1 – 2 шага продвижения огневого забоя.

Кровля обрушается сравнительно крупными блоками. В углах обнажения происходит зависание кровли, вследствие чего контур обрушения имеет сглаженную форму. Отношение длины пролета обнаженной кровли при первом ее обрушении к длине пролета при последующих обрушениях того же порядка, что и при шахтной разработке (3 – 5).

На бывших советских станциях “Подземгаз” в 50 – е годы прошлого столетия было проведено несколько вскрытий подземных газогенераторов горными выработками, проведенными из ближайших действующих шахт.

Проведенный нами анализ лабораторных экспериментов и опыт вскрытия газогенераторов позволил сделать следующее резюме о влиянии температуры на обрушение кровли [2].

Наряду с горным давлением значительное влияние на деформацию пород кровли оказывают высокие температуры, имеющие место в подземном газогенераторе. Разрушающее влияние температуры на кровлю пласта интенсивно начинает действовать в том случае, когда кровля разбита трещинами. Под воздействием раскаленных газов проникающих по трещинам в породы кровли, происходит ее прогрев, породы увеличиваются в объеме и разрушаются. Происходит своеобразное дробление кровли под действием высоких температур.

Поэтому, если в условиях шахтной разработки, даже при появлении трещин отдельные блоки кровли некоторый период сохраняют свою устойчивость и не обрушаются за счет трения и шарнирной связи между собой, то в условиях подземной газификации не следует ожидать этого явления. Именно в зоне трещинообразования интенсивно проявляется разрушающее действие температур, нарушается связь между отдельными блоками и происходит обрушение пород кровли.

До первого обрушения, когда кровля разбита трещинами на большие блоки, породы под действием собственного веса и температуры обрушаются крупными глыбами.

После первого обрушения воздействие температур резко повышается, так как раскаленные газы проникают в толщу пород по трещинам не только с огневого забоя, но также и со стороны выгазованного пространства по торцу зависшей и расслаивающейся консоли кровли. В связи с этим породы дробятся на мелкие куски и после первого обрушения последующие обломы кровли происходят по линии огневого забоя или консоль кровли зависает на 0,2 – 0,3м (см. рс.1).

Таким образом, анализируя результаты испытаний “холодной” модели и материалов вскрытия остывших подземных газогенераторов с достаточной точностью можно предположить, что обрушение пород кровли в подземных газогенераторах происходит под влиянием температур после появления в ней сети трещин.

Контур обрушения следует считать не по фактически обрушившемуся участку на модели, а по зоне, оконтуренной сетью раскрывающихся трещин. В этом случае данные разработки моделей и фактические результаты вскрытия подземных газогенераторов имеют один и тот же порядок.

## **Выводы**

Результаты проведенного эксперимента указывают на возможность и целесообразность проведения экспериментов на “холодной” объемной модели для получения в первом при-

ближении качественной и количественной картины развития обрушения пород кровли в условиях подземного газогенератора.

Совместный анализ материалов вскрытия газогенераторов и результатов эксперимента на модели показывает, что первое обрушение кровли происходит при обнажении площади около  $270\text{ м}^2$  с размером сторон  $10 \times 35\text{ м}$ .

Первое обрушение не распространяется на всю обнаженную площадь кровли. Поскольку интенсивность выгазовывания в зоне дутьевой скважины (окислительной зоны) больше, чем у газоотводящих, то соответствующим образом развивается и обрушение кровли, приводящие к опережению окислительной зоны и к отставанию восстановительной зоны. Такой характер первого обрушения кровли приводит к искривлению и изменению сечения дутьегазового канала и может отрицательно влиять на развитие процесса газификации. В этой ситуации необходимо производить реверсирование газодутьевых потоков.

Облом и обрушение пород (после первого обрушения) происходит в непосредственной близости от забоя, а далее – с более и менее незначительным зависанием кровли.

### **Перечень литературы**

1. Теория и практика термохимической технологии добычи и переработки угля / О.В. Колоколов, Н.М. Табаченко, А.М. Эйшинский. – Днепропетровск: НГА Украины, 2000. – 281с.
2. Казак В.Н. Поведение кровли при ведении процесса газификации в горизонтальном канале угольного пласта / Исследование по вопросам горного и маркшейдерского дела. Сборник науч. тр. XVII. I– М.: Углетехиздат, 1962. – С. 81 – 87.