

УДК 620.92

С. В. ГРИДИН, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

С. А. ВЕРТЕЛА, магистр

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ И МЕТОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

*В статье рассматривается общий процесс получения синтез газа методом подземной газификации и возможные перспективы его дальнейшего использования.*

*У статті розглянуто загальний процес отримання синтез газу методом підземної газифікації та можливі перспективи його використання.*

### Введение

Развитие современных промышленных предприятий сопровождается постоянно возрастающим потреблением топливно-энергетических ресурсов, вследствие чего затраты на энергоресурсы в структуре себестоимости выпускаемой продукции составляют от 20 до 50%.

Общемировая тенденция к увеличению цен на углеводородные топлива подталкивает потребителей искать более дешевые альтернативные энергоносители. Зависимость Украины от импортного топлива требует детального пересмотра политики использования собственных энергоресурсов, в первую очередь угля.

Известно, что запасы угля в Украине гораздо богаче, нежели собственные запасы газа. Газ по разным оценкам Украине еще на 50 лет хватит, а угля в Украине до 400 лет запаса. Одним из путей поддержания конкурентоспособности ряда производств является газификация твердых топлив. Ученые оценивают залежи угля, пригодные к газификации в 40,1 млрд тонн или порядка 30 % имеющихся запасов (117 млрд тонн). По их мнению, сырьем украинцы обеспечены на столетия. Согласно расчетам ученых, для получения 1 м<sup>3</sup> газа необходимо переработать порядка 2 млн тонн угля. На данное время для подземной газификации могут быть задействованы около 20 млрд т балансовых и 3,8 млрд тонн забалансовых запасов каменного угля.

В процессе реструктуризации угольной промышленности в Украине значительное количество нерабочих пластов угля остаётся вне баланса и не используется. Возобновление производственной деятельности шахт, которые находятся в процессе закрытия, для доработки этих пластов обычными методами экономически не эффективно. Наиболее перспективным решением является подземная газификация угля, которая даст возможность получить значительный эколого – экономический эффект. На сегодняшний день подземная газификация угля является конкурентоспособной технологией, в результате использования которой производятся бензин, дизельное и авиационное топлива, электричество и множество различных химических веществ. Для подземной газификация угля не требуется внешнего источника воды, что является основным положительным фактором для сохранения окружающей среды в противоположность водоёмким процессам добычи, переработки угля и получения электроэнергии на угольных ТЭС. Многие технологические процессы требуют большого количества тепловой энергии, которую можно легко получить путем сжигания синтез-газа, полученного газификацией угля. Кроме того, синтез-газ может быть использован в газопоршневых электроагрегатах, что является актуальным для автономного энергообеспечения отдаленных производственных и гражданских объектов.

Реальность такого проекта была проверена на закрытой шахте «Селидовуголь». В общем за период 1985–1991 г.г. здесь в экспериментальном порядке было газифицировано около 3,5 тыс. тонн угля. Продуктивный газ направлялся в котёл-утилизатор системы теплоснабжения. [5] Основной вопрос о нерентабельности шахт Донбасса так же может быть

решен за счёт использования метода подземной газификации. Средняя глубина которых составляет до 700 м, более 15 % шахт имеют глубину более 1000 м. Около 85 % угля содержится в пластах мощностью 1,2 м и только 15 % имеют большую толщину. Для производства синтез-газа целесообразно использование углей марок Б, Д и ДГ.

Реализация проектов по переводению реструктуризированных шахт в разряд газодобывающих даст возможность уменьшить бюджетные затраты на закрытие неперспективных шахт приблизительно на 50–60 % и снизить социальную нагрузку при закрытии шахт, создавая дополнительно 40–50 рабочих мест, на одну позицию.

Таблица 1

## Географическое распределение сырьевых ресурсов ПГУ по Украине

Область	тип	всего	в том числе пригодные для ПГУ	процент	всего	в том числе пригодные для ПГУ	Процент
Волинская	каменные	84,8	20,7	24,4	138,3	107,1	77,4
Днепропетровская	каменные	11771,8	10026,2	85,2	2098,5	1530,6	72,9
	бурые	1491,8	370,9	24,9	454,9	32,7	7,2
Донецкая	каменные	4581,1	2077,2	45,3	1773,3	589,8	33,3
Закарпатская	бурые	39,3	39,3	100,0	14,5	14,5	100,0
Запорожская	бурые	35,8	21,9	61,2	11,4	8,3	72,8
Кировоградская	бурые	822,2	356,4	43,3	76,8	52,5	68,4
Луганская	каменные	5790,4	5220,7	90,2	2314,7	1183,7	51,1
Львовская	каменные	498,5	409,0	82,0	236,3	67,4	28,5
Полтавская	бурые	504,5	323,3	64,1	179,4	102,0	56,9
Харьковская	каменные	2477,8	2477,8	100,0	336,6	309,2	91,9
Черкасская	бурые	76,5	21,7	28,4	31,6	9,4	29,7

**Мировой опыт**

В области подземной газификации угля Украина обладает передовыми позициями. В свое время на территории бывшего СССР работало несколько промышленных предприятий данного профиля. Некоторые из этих предприятий успешно функционировали на протяжении нескольких десятилетий. Так, в Кузбассе в течение 40 лет эксплуатировалась Южно-Абинская станция «Подземгаз», бесперебойно снабжавшая горючим газом до 14 малых котельных Киселевска и Прокопьевска и закрытая в 1996 г. по причине физического износа оборудования [1].

Подземная газификация углей в нашей стране проводилась на месторождениях двух типов: платформенного (Днепробасс) и геосинклинального (Донбасс).

Для месторождений платформенного типа характерно сравнительно спокойное залегание угольных пластов и вмещающих пород (горизонтальное и полого-наклонное), наличие слабых пород в почве и кровле угольного пласта. На месторождениях геосинклинального типа угольные пласты и вмещающие породы собраны в синклинальные и антиклинальные складки с углами падения до 55 °. Почва и кровля угольных пластов представлены разностями горных пород.

В Днепробассе (Южно-Синельниковское месторождение) газифицировали бурогольный пласт мощностью 3,5 м на глубине 60 м. Вмещающими породами являлись глины и пески палеогенового возраста сравнительно рыхлой структуры. В почве угольного пласта имелся мощный (до 30 м) водоносный горизонт с величиной напора до 50 м и коэффициентом фильтрации 8 м/сут. Мощность надугольного водоносного горизонта составляла около 20 м с коэффициентом фильтрации 4–6 м/сут. Мощность разделяющих водоупоров составляла в кровле угольного пласта 10–16 м, в почве 1–3 м. В подугольном водоносном горизонте проводили водопонижение.

В Донбассе подземную газификацию проводили на Лисичанской станции «Подземгаз». Там газифицировали наклонные (38–60 °) каменноугольные пласты мощностью 0,5–1 м на глубине 60–250 м. Вмещающие угольный пласт породы: глинистые сланцы и песчаники каменноугольного периода. Угольный пласт водоносный, с напорами до 300–400 м над горизонтом розжига. Типичным для этих участков являлась малая водообильность угольного пласта, определяемая небольшой мощностью угольного пласта и коэффициентом фильтрации 0,1 м/сут. Кровля и почва угольных пластов представлены водоупорными породами. В данных условиях предварительно снимали напор подземных вод в угольном пласте и проводили водоотлив из выгазованного пространства.

Сегодня практически во всех крупных угледобывающих странах мира резко возрос интерес к подземной газификации угля. Интенсивные работы исследовательского и практического характера проводятся в Китае, в Австралии, где в 2003 г. построено крупное предприятие данного профиля – с использованием в этих странах применявшейся ранее в бывшем СССР технологической схемы газификации угольных пластов. Проявляется активный интерес к этой технологии в таких странах, как Индия, Казахстан, Украина, США, Вьетнам, ЮАР, КНДР, Южная Корея и многих других.

Вновь возникший интерес к подземной газификации угля был приурочен к энергетическому кризису в семидесятых годах. В США, ФРГ, Бельгии, Франции и других странах были разработаны детальные программы исследований или проекты, цель которых заключалась в определении возможности извлечения запасов углей (путем их подземной газификации) для дальнейшей переработки в высококалорийный газ–заменитель природного газа.

Работы по подземной газификации углей во Франции проводила "Исследовательская группа по проблемам газификации углей" (СЕС), состоящая из четырех частных и государственных организаций. Программа экспериментов проектной стоимостью 155 млн франков реализовывалась с 1979 г. и была рассчитана до 1995–2000 г.г. Она была направлена на газификацию тонких угольных пластов мощностью менее 2 м на глубинах порядка 1000–2000 м (запасы порядка 2 млрд тонн).

Цель программы состояла в получении заменителя природного газа с теплотворной способностью около 36 МДж/м<sup>3</sup> (8600 ккал/м<sup>3</sup>), для чего необходимо производить газ подземной газификации с теплотой сгорания 10,5 МДж/м<sup>3</sup> (2500 ккал/м<sup>3</sup>). Процесс предполагалось вести на парокислородном дутье. Была составлена комплексная перспективная программа развития ПГУ во Франции, предполагающая переработку 1 млрд тонн угля в течение 20 лет. За это время планировалось произвести 150 млрд м<sup>3</sup> газа. Предполагалась разведка месторождений, пригодных для ПГУ.

В Великобритании работы по ПГУ вело Национальное угольное бюро. Осуществлены технико-экономические оценки возможностей применения ПГУ. Признано экономичным вести разработку пластов на парокислородном дутье высокого давления на глубинах от 500 до 1000 м при подготовке каналов бурением. Составлены карты угольных месторождений, пригодных для разработки методом ПГУ, которые находятся под дном Северного моря. Определены критерии экономичности их разработки.

В Германии эксперименты по ПГУ проводились с 1975 г. С 1982 г. все работы координировались новым исследовательским учреждением, созданным горнопромышленными фирмами ФРГ, "Исследовательским обществом новых технологий

добычи угля" (К2Г). Была разработана обширная программа. В первой ее части речь шла об исследованиях свойств угля на больших глубинах и условиях его химического преобразования на месте залегания. Вторая часть связана с определением свойств углей и перспектив их газификации по геологическим данным. Все эти работы не были связаны с практическим применением ПГУ.

Помимо этих опытов, как уже говорилось ранее, ФРГ участвовала в совместных натуральных испытаниях с Бельгией.

В Нидерландах существовала долгосрочная программа исследовательских работ по ПГУ, состоящая из трех этапов. Первый включает лабораторные исследования и закончился в 1990 г. По его результатам можно выбирать методы и объемы полевых исследований. Центр исследований находится в Университете г. Дельфта.

В США в течение 1972-1992 гг. реализовалась программа изучения основ подземной газификации угля. Было проведено около 30 экспериментов в природных условиях на угольных месторождениях пяти штатов (Вайоминг, Западная Вирджиния, Иллинойс, Нью Мек-сико, Техас). Основные результаты работ по освоению технологии ПГУ в США сводятся к следующему:

- создан базовый банк данных по ПГУ, содержащий описание опытных работ по ПГУ, результаты теоретических, лабораторных и полевых исследований, используемые методы и алгоритмы, технические приемы и решения;
- разработаны экономико-математические модели для оценки эффективности и конкурентоспособности предприятия ПГУ, позволяющие выбирать подходящие технологию и технику;
- созданы система управления и контрольно-измерительный комплекс для проведения натуральных экспериментов. Испытаны методы контроля выгазованного пространства и огневого забоя, которые проводились в национальных лабораториях
- оценены варианты использования газа ПГУ с получением водорода, заменителя природного газа, метанола, бензина, дизельного топлива, синтез-газа, электроэнергии и углекислого газа для интенсификации добычи нефти, закачки в зернохранилища для уничтожения вредных насекомых и т. д. В ходе испытаний в природных условиях осуществлены различные способы сбояки скважин и огневого проработки каналов, режимы газификации на паровоздушном и парокислородном дутье, проводилось изучение воздействий на окружающую среду, обрушения и сдвижения пород и оседания поверхности в пределах опытных газогенераторов.

#### **Общее описание технологии**

Технология подземной газификации угля (ПГУ) – нетрадиционный способ разработки угольных месторождений, открывающий новые возможности в отработке угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями залегания, совмещающий добычу, обогащение и переработку угля. Сущность технологии подземной газификации угля заключается в бурении с поверхности земли скважин до угольного пласта, со сбойкой (соединением) их в пласте одним из известных способов, в последующем розжиге (создании управляемого очага горения) угольного пласта и обеспечении условий для превращения угля непосредственно в недрах в горючий газ и в выдаче произведенного газа по скважинам на земную поверхность. Таким образом, все технологические операции по газификации угольного пласта осуществляются с наземной поверхности, без применения подземного труда работающих, а разработка угольного пласта происходит экологически приемлемым способом [3].

Подземная газификация угля выгодна на тех угольных пластах, которые удовлетворяют следующим критериям:

- пласт должен лежать на глубине от 30 до 800 м;
- мощность (толщина) пласта должна быть более 5 м;
- зольность угля не должна превышать 45 %;
- пласт должен иметь минимальные разрывы;

– рядом не должно быть водоёмов, чтобы исключить загрязнение питьевой воды.

К основным достоинствам технологии ПГУ относятся:

а) экономическая привлекательность – себестоимость газа ПГУ заметно ниже себестоимости добычи природного газа;

б) довольно высокая степень экологической безопасности – особенно в сравнении с традиционными способами добычи угля, приводящими к возникновению ситуации экологического бедствия в регионах разработки угольных месторождений;

в) обеспечение эффекта «газосбережения», выражающееся в замещении газом ПГУ на ТЭЦ и в котельных использовавшегося там природного газа.

Сущность технологии подземной газификации угля (рис. 3) заключается в первоначальном бурении двух скважин (наклонных или вертикальных), затем выработки соединяются между собой горизонтальным каналом, называемым огненным штреком.

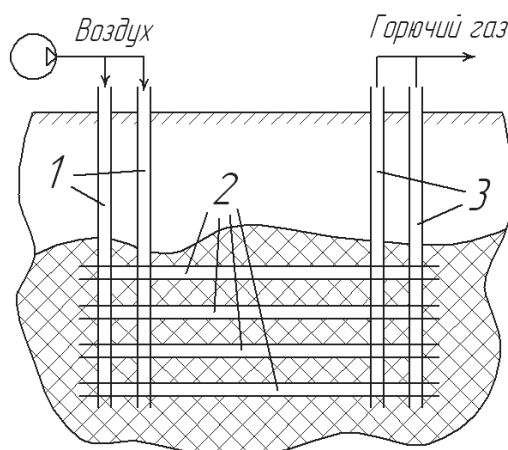


Рис. 3. Принципиальная схема подземной газификации угля:  
1 – буровые скважины; 2 – реакционные каналы; 3 – газоходы

Для создания горизонтального канала используются такие методы как прожиг, гидравлический разрыв, наклонно-горизонтальное бурение, шахтный метод и др. После розжига горение распространяется по угольной поверхности огневого штрека. Подземная газификация угля осуществляется под действием высокой температуры (1000-2000 °С). Процесс осуществляется под давлением дутья различных окислителей (как правило, воздуха, O<sub>2</sub> и водяного пара, реже-CO<sub>2</sub>). Для подвода дутья и отвода газа газификацию проводят в скважинах, расположенных в определенном порядке и образующих так называемый подземный генератор. В нем идут те же химические реакции, что и в обычных газогенераторах. Процесс можно представить следующими реакциями:

В окислительной зоне, или зоне горения происходит горение твердого горючего ископаемого с образованием CO и CO<sub>2</sub> по реакциям:



Образующийся диоксид углерода в восстановительной зоне восстанавливается новыми порциями углерода в оксид углерода:



Если вместе с воздухом в генератор подают также водяной пар, то в восстановительной зоне дополнительно протекают реакции:

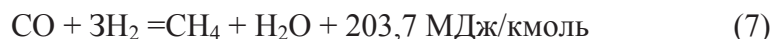


В этом случае образующийся газ содержит два горючих компонента: оксид углерода и водород.

В газовой фазе могут протекать и другие реакции. Так, возможна реакция между оксидом углерода и водяным паром:



При взаимодействии CO и H<sub>2</sub> может образоваться метан:



который в условиях процесса подвергается термическому распаду:



В отличие от газификации угля в наземных установках при подземной газификации проявляется ряд особенностей:

1. Отсутствует движение топлива, выгорание угля происходит за счет перемещения зоны горения, вместе с которой перемещаются и другие зоны газификации (зона восстановительных реакций, зона сухой перегонки и подсушки угля или транспортировки газа). По мере выгазовывания угольного пласта под действием горного давления происходит сдвиг пород кровли и заполнение ими выгазованного пространства. Благодаря этому размеры и структура каналов газификации остаются определенное время неизменными, что обуславливает постоянство состава газа в этот период времени, но впоследствии вызывает дополнительные затраты тепла на нагрев пород и приводит к образованию обводных потоков дутья, дожигающих горючие компоненты газа.

2. Отсутствуют газонепроницаемые стенки, поэтому в процессе газообразования участвуют не только влага угля, но и влага вмещающих пород и, если они есть, гравитационные подземные воды.

3. Реакционный канал непосредственно граничит с массой угля, подлежащей газификации, что приводит к термоподготовке угольного пласта.

4. Расстояние между скважинами в угольном пласте во много раз превышает необходимую длину зон реагирования.

Сжатый воздух из компрессорного цеха по воздухопроводам направляется в газогенератор, где он реагирует при высокой температуре с углем, в результате образуется генераторный газ. Газ поступает на поверхность, где охлаждается, очищается и подается к потребителю (ТЭЦ) за счет давления, развиваемого дутьевыми машинами при нагнетании воздуха в газогенератор. Горячая поверхность угольного пласта называется огневым забоем. Угольный пласт выгорает постепенно снизу вверх, при этом огневой забой перемещается по восстанию угольного пласта. По мере выгазовывания пласта выгоревшее пространство заполняется обрушивающимися породами кровли и зольным остатком угля. Сечение огневого штрека остается практически одинаковым, а поверхность забоя – свободной для доступа дутья. Поток, омывая поверхность огневого забоя, газифицирует уголь с образованием горючего газа. В процессе газификации угля существует две стадии: стадия термического разложения, при которой из угля выделяется влага и летучие парогазовые вещества и остается коксовый остаток; стадия газификации, при которой углерод коксового остатка с помощью свободного или связанного кислорода превращается в горючие газы и эти газы, взаимодействуют с кислородом и водяным паром.

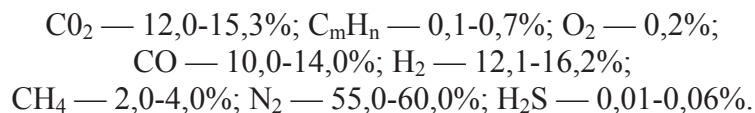
Таким образом, все технологические операции по газификации угольного пласта осуществляются с земной поверхности, без применения подземного труда работающих, а разработка угольного пласта происходит экологически приемлемым способом. Особенности технологии позволяют использовать даже те месторождения, разработка которых традиционными способами неэффективна.

Многообразие разрабатываемых и действующих процессов позволяет использовать твёрдые топлива разных месторождений, обладающих различными физическими и химическими свойствами. Кроме того возможно получить различный состав образованного

продукта: генераторный газ - теплота сгорания - 3800-4600 кДж/нм<sup>3</sup>; синтез-газ для химической технологии - 10 900 - 12 600 кДж/нм<sup>3</sup>; восстановительный газ (для металлургических и машиностроительных производств) - 12600 - 16800 кДж/нм<sup>3</sup>; городской газ (отопительный) - 16800- 21000 кДж/нм<sup>3</sup>; синтетический природный газ (богатый газ) для транспортировки на дальние расстояния – 25 000 - 38 000 кДж/нм<sup>3</sup>.

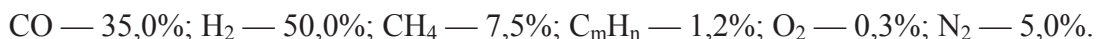
Предполагаемый состав производимого газа характеризуется следующими диапазонами изменения содержания отдельных компонентов газа:

а) при использовании в технологии ПГУ воздушного дутья:



Теплотворная способность такого низкокалорийного газа — порядка 4 МДж/м<sup>3</sup>.

б) при использовании парокислородного дутья (после очистки газа от CO<sub>2</sub>):



Теплотворная способность производимого при этом газа — 10-13 МДж/м<sup>3</sup>.

Синтез-газа газ, добываемый методом подземной газификации угля содержит вещества, препятствующие его немедленному использованию. В целом, эти загрязняющие вещества:

- твердые частицы – минеральная пыль и сажа при неполном сгорании топлива, которое может вызвать загрязнение оборудования;
- тяжелые углеводороды и смолы, которые могут засорять оборудование;
- диоксид углерода, который уменьшает теплосодержание газа и действует как яд на некоторые каталитические процессы;
- азот выделяющийся из воздуха, проникающего из угля, при сгорании, снижает содержание тепла в синтез-газе и ингибирует некоторые катализаторы;
- кислород от попадания воздуха или при плохом контроле сгорания. Кислород может потенциально привести к взрывоопасной смеси, является ядом для катализаторов и вызывает нежелательные побочные реакции, приводящие к загрязнению катализатором;
- соединения серы, которые приводят к неприемлемым выбросам по горению и, как правило, ядовиты для катализаторов;
- хлор и его соединения из угля и соленой воды. Приводят к коррозии последующего оборудования и каталитических ядов;
- трассировка тяжелых металлов из угля, таких как ртуть и мышьяк, которые действуют как яд для катализаторов и могут привести к неприемлемым выбросам при сжигании.

Разумеется, важно свести к минимуму эти примеси путем разумного процесса газификации. Некоторые из потенциальных загрязнителей могут и не служить проблемой для какого – либо конкретного места.

Газ подземной газификации угля, в отличие от природного газа, содержит в своем составе целый ряд дополнительных компонентов: бензольные углеводороды, каменноугольную смолу, фенолы, метан, олефины, ацетилен и пр. Так, из каменноугольной смолы после ее гидрогенизации возможно получение сырья для производства поверхностно-активных веществ, сажи, растворителей, красителей, полимеров, мономеров, нафталина, бензола и др.

Особо следует выделить наличие принципиальной возможности получения из газа подземной газификации угля искусственного жидкого топлива, которое может быть синтезировано, в частности, методом каталитической конверсии окиси углерода и водорода.

Экологические преимущества подземной газификации углей перед традиционными способами разработки угольных месторождений заключается главным образом, с одной стороны в экологической чистоте газов подземной газификации как топлива, а с другой - в

самой незначительной степени воздействия данной технологии на природный ландшафт, которая не идет ни в какое сравнение, например с разрушительным воздействием на окружающую среду такого широко применяемого метода добычи угля, как открытая разработка угольных пластов.

Особо отметим что метод ПГУ позволяет не нарушать растительный слой, и после окончания газификации угольного пласта наземный участок может быть без какой-либо рекультивации передан для сельскохозяйственного употребления. Особо отметим что метод ПГУ позволяет не нарушать растительный слой, и после окончания газификации угольного пласта наземный участок может быть без какой-либо рекультивации передан для сельскохозяйственного употребления.

Принципиальная схема ПГУ представлена на рис. 4.

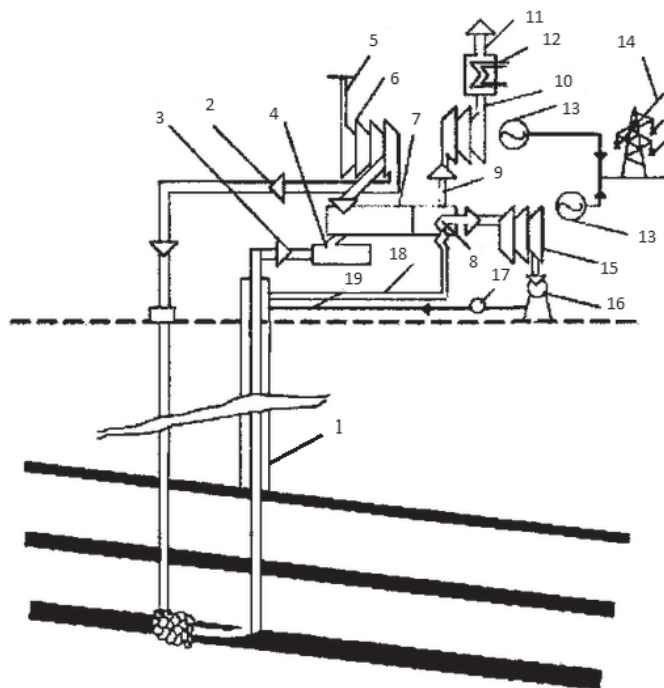


Рис. 4. Принципиальная схема подземной газификации угля:

- 1 – подземный газогенератор; 2 – сжатый воздух; 3 – низкокалорийный газ;  
 4 – установка очистки газа; 5 – воздух; 6 – компрессор; 7 – камера сгорания;  
 8 – пароперегреватель; 9 – дымовые газы с температурой 800–850 °С; 10 – газовая турбина; 11 – вытяжная труба; 12 – экономайзер; 13 – генератор переменного тока;  
 14 – электросеть; 15 – паровая турбина; 16 – конденсатор; 17 – насос;  
 18 – пар с температурой 250 °С; 19 – вода

На стадии добычи (при замене традиционных методов методом ПГУ) исключается образование отходов горной породы (5–6 т/т у.т.), предотвращается отчуждение земли (15–20 га/млн т у.т.), исключается выброс в атмосферу угольной пыли (0,3–15 кг/т у.т.) и уменьшается сброс взвешенных веществ в сточные воды (с 0,452 до 0,044 кг/т у.т.).

На стадии транспорта полностью предотвращается характерный для твердого топлива унос пыли (3–6 кг/т у.т.).

На стадии сжигания исключается выброс золы, практически исключается выброс сернистого ангидрида и уменьшается в 1,5–2 раза выход окислов азота (с 2–5 до 1–1,5 кг/т у.т.).

Данные показатели в полной мере отражают все преимущества ПГУ перед другими методами добычи углей, что не мало важно в сложной экологической обстановке в целом. Различные варианты использования газа как технологического сырья просто не поддаются обзору. Укрупненно можно выделить три потенциальные сферы его применения:



1. Использование основных компонентов ( $\text{CO}+\text{H}_2$ ) как сырья для широкого спектра процессов химического синтеза, которые уже освоены промышленностью. Здесь, прежде всего, следует выделить производство метанола и особенно диметилового эфира как перспективной альтернативы нефтяному дизельному топливу.

2. Второе направление связано с выделением водорода (его содержание в продуктовом газе составляет 20–25 %). Это – универсальный продукт, потребление которого радикально возрастет уже в ближайшем будущем. Сфера его применения чрезвычайно обширна: от топлива для водородной энергетики до питательного субстрата для бактерий при производстве синтетических кормов для животноводства и биоразрушаемых полимеров, которые должны прийти на смену традиционному полиэтилену и полипропилену. Очень важно отметить, что в настоящее время промышленное внедрение всех перечисленных технологий сдерживается только высокой ценой водорода.

3. Использование газа как восстановителя в металлургических процессах прямого восстановления железа и других металлов. Необходимо заметить, что ориентация на производство газа химического назначения требует изменения параметров процесса по сравнению с вариантом производства энергетического газа. Экономическая привлекательность проектов газификации угля наиболее высокая, особенно применительно к низкокачественному сырью с практически нулевой стоимостью. Внедрение технологии газификации в производственный процесс предприятия даёт возможность извлечь максимальное количество энергии из сырья, а также сократить расходы на утилизацию и снизить воздействие на окружающую среду.

В китайском пилотном проекте ENN себестоимость синтез-газа, полученного данным способом, оценивается в \$1–1.9 за ГДж, что эквивалентно \$38,3–72,8 за 1 тыс м<sup>3</sup> при перерасчете его теплотворной способности в традиционный природный газ.

В США объем затрат в различных проектах в области подземной газификации указывается в интервале от \$1,7 до \$7,7 за ГДж, т.е. в эквиваленте от \$65,1 до \$294,9 за 1 тыс м<sup>3</sup> природного газа.

Как правило, газ, получаемый посредством подземной газификации угля, используют для получения э/э непосредственно на месте его добычи. При этом средняя себестоимость такой э/э в штате Индиана (т. е. при относительно дорогом газе) составляет 5,7 центов за 1 кВт·ч, что выше, чем у традиционных угольных, парогазовых и атомных энергоблоков, но существенно меньше, чем на ветроэлектростанциях.

### Выводы

Создание эффективных угольных технологий с пониженной эмиссией вредных веществ в пределах технологического цикла, позволяющих получать конкурентоспособные продукты и генерировать электрическую и тепловую энергию, является приоритетной задачей мировой энергетической стратегии.

Размещение энерготехнологических предприятий, производящих широкую гамму продуктов углепереработки, на небольшом расстоянии от угледобывающих предприятий даст возможность снизить остроту транспортных проблем, связанных с дефицитом подвижного состава для перевозки угля. Кроме того, радикальное увеличение стоимостной «отдачи» одной тонны угля будет способствовать увеличению налогооблагаемой базы и экономическому росту в угольных регионах.

### Список литературы

1. Заря А. Ю., Крейнин Е. В., Лазаренко С. Н. Новые возможности. Перспективы развития технологии подземной газификации углей//Уголь Кузбасса. – 2009.– № 4. – С.74 – 77.
2. Сборник трудов «Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные производства». Т. 1. Иваново, 2004 г.

3. Янковский М. А., Макогон Ю. В., Рябчин О. М., Губатенко М. И. Альтернативы природному газу в Украине в условиях энерго- и ресурсодефицита: промышленные технологии/ под ред. Макогона Ю. В. – Донецк: ДонНУ, 2011. – 247 с.

4. Раимжанов Б. Р., Салтыков И. М., Якубов С. И. Подземная газификация угля: исторические сведения и проблемы // Горный вестник Узбекистана. 2008.

5. Янко С. В., Громов В. А., Поштук А. З. Подземное сжигание угля // Уголь Украины. – 1995. – № 11. – С. 2–5.

**ANALYSIS OF PERSPECTIVES AND METHODS OF USE OF GAS PRODUCED BY GAS PLANT IN ORDER TO DEVELOP ENERGY EFFECTIVE SOLUTIONS FOR ENERGY SAVING**

S. V. GRIDIN, Associate Professor

S. A. VERTELA, The master

*The paper considers the overall process of production of synthetic gas by the underground gasification method and possible perspectives of its further use.*

Поступила в редакцию 07.06 2013 г.