

## РАЗВИТИЕ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДЗЕМНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ

*Асанов Арстанбек Авлезович, д.т.н., профессор, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры.г. Бишкек, ул. Малдыбаева 34,б. e-mail: [asanov52@mail.ru](mailto:asanov52@mail.ru).spin-kod 5529-8915*

*Гуменников Евгений Степанович, с.н.с., Институт горного дела им. Д. Кунаева, г.Алматы, пр. Абая 208, e-mail: [gumenikov@mail.ru](mailto:gumenikov@mail.ru)*

В статье рассмотрены перспективы развития объектов теплоэнергетики на основе современных технологий подземной газификации углей. Показано, что участки залежей угля с наклонным расположением пластов требуют иного подхода к решению задач подземной газификации углей. Изложены особенности переработки залежей угля с крутонаклонными пластами с полным сжиганием угля в недрах с получением перегретого водяного пара. Для применения такой технологии на практике приведены описание новых конструкций технологического оборудования, в том числе, парогенератора для получения сверхкритических параметров вырабатываемого пара, гидродинамического компрессора, позволяющего реализовывать паровоздушное дутье в процессе подземной газификации угля, и гидроимпульсного бурового снаряда, позволяющего пробуривать скважины на участке переработки углей. Предлагаемый новый способ и оборудования безлюдной скважинной отработки углей позволяет вовлечь получаемый продукт (пар со сверхкритическими параметрами) для эффективной когенерации энергии на местах их залегания.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, уголь, залежи, подземная газификация, переработка, оборудование, генератор тепла, компрессор, турбина.

## DEVELOPMENT OF THERMAL POWER FACILITIES BASED ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR UNDERGROUND COAL PROCESSING

*Asanov Arstanbek Avlezovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture. Bishkek city, Maldybaeva 34, b. e-mail: [asanov52@mail.ru](mailto:asanov52@mail.ru).spin-kod 5529-8915*

*Gumennikov Evgeniy Stepanovich, Senior Research Scientist, Institute of Mining. D. Kunaeva, Almaty, pr. Abay 208, e-mail: [gumenikov@mail.ru](mailto:gumenikov@mail.ru)*

In the article prospects of development of objects of heat power engineering on the basis of modern technologies of underground gasification of coals are considered. It is shown that sections of coal deposits with an inclined arrangement of layers require a different approach to solving the problems of underground gasification of coal. Specifics of processing coal deposits with steeply inclined layers with complete combustion of coal in the bowels with obtaining superheated water vapor are described. For the application of such technology in practice, new technological equipment, including a steam generator for obtaining supercritical parameters of the produced steam, a hydrodynamic compressor that allows steam-air blowing to be realized in the process of

underground coal gasification, and a hydraulic impulse drilling tool that allows to drill wells in the coal processing section. The proposed new method and equipment of unmanned downhole processing of coal allows to involve the product obtained (pairs with supercritical parameters) for efficient cogeneration of energy in the field of their occurrence.

**Key words:** heat power engineering, coal, deposits, underground gasification, processing, equipment, heat generator, turbine.

**Введение.** В текущий момент классическая угольная энергетика достигла своего предела в части эффективности использования топлива, а также имеет наивысшую степень загрязнения окружающей среды по сравнению с другими углеводородными топливами. Несмотря на это во всем мире идет строительство угольных станций. При этом огромное внимание уделяется повышению энергетической эффективности использования угля, а также обеспечению высокого уровня экологической безопасности объектов промышленной и коммунальной теплоэнергетики. Исследования и разработки в этом направлении сосредоточены вокруг решения трех основных проблем: использование обзоленного угля и сверхкритических параметров пара для выработки энергии; применения продуктов пиролиза и газификации угля, а также подземной ее переработки для этой цели /1,2,3/.

На сегодняшний день уже доказано, что подземная газификация угля (ПГУ) является конкурентоспособной технологией для получения синтетического жидкого и газообразного топлива, множества различных химических веществ. Жидкое и газообразное топливо более удобно в сжигании, достаточно удобно в хранении и транспортировке, а также в снижении экологических показателей по сравнению с углем. Поэтому дальнейшее эффективное использование углей в энергетических целях должно основываться на переработке их в качественные продукты топливного назначения, в том числе, в угольный газ, получаемый путем ПГУ.

**Зарубежный опыт ПГУ.** Многие технологические процессы требуют большого количества тепловой энергии, которую можно получить путем сжигания синтез-газа, полученного подземной газификацией угля. Реальность таких проектов были проверены, еще во времена СССР, во многих союзных республиках и зарубежных странах. В ходе испытаний в природных условиях осуществлены различные способы сбойки скважин и огневой 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. Были разработаны программы и проекты, цель которых заключалась в определении возможности извлечения запасов углей (путем их подземной газификации) для дальнейшей переработки в высококалорийный газ-заменитель природного газа. 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 и т. д.

В текущий момент практически во всех крупных угледобывающих странах мира, в связи с энергетическим кризисом, резко возрос интерес к подземной газификации угля. Интенсивные работы исследовательского и практического характера проводятся в США, Китае, европейских странах, в Австралии, Индии, Корее и др. Из стран СНГ в этом направлении ведутся работы в России, Украине, Казахстане и Узбекистане /5,6,7,8,10/.

Установлены экологические преимущества подземной газификации углей. Они заключаются с одной стороны в экологической чистоте газов подземной газификации как топлива, а с другой - в самой незначительной степени воздействия данной технологии на окружающую среду, которая не идет ни в какое сравнение, например с разрушительным воздействием на природу такого широко применяемого метода добычи угля, как открытая разработка угольных пластов. Особо следует отметить, 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. Для подземной газификация угля не требуется внешнего источника воды. Это тоже является основным положительным фактором для сохранения окружающей среды в противоположность водоёмким процессам добычи, переработки угля и получения электроэнергии на угольных ТЭС.

Однако такая технология еще недостаточно подкреплена наличием достаточно эффективных технических средств обеспечения газификационных процессов, а имеющиеся средства явно не соответствуют оптимальным режимам технологии подземной газификации. Она также не соответствует требованиям экологически безопасной транспортировки и переработки топливного газа, горючая часть которого представлена в основном окисью углерода. А углеперерабатывающие предприятия даже в структурно простых горно-геологических условиях сталкиваются с высокой нестабильностью процессов и параметров, аварийностью, связанной с завалами горизонтальных генераторных каналов, сложностью чередования обрабатываемых участков и связанными с этим большими потерями угля в недрах. Обрушение налегающих пород создают возможность прорыва токсичного газа на поверхность, который вызывает локальные аварии на таких объектах. Негативные последствия сильно влияют дальнейшее развитие объектов подземной газификации до полного их технического перевооружения. Все это создают предпосылки для поиска и постановки новых НИОКР в этом направлении, открывающий новые возможности в отработке угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями залегания, совмещающие добычу, обогащение и переработку угля.

**Сущность технологии ПГУ и пути ее совершенствования.** Сущность технологии ПГУ заключается в бурении с поверхности земли скважин до угольного пласта, со сбойкой (соединением) их в пласте одним из известных способов, в последующем розжиге угольного пласта и обеспечении условий для превращения угля непосредственно в недрах в горючий газ и в выдаче произведенного газа по скважинам на земную поверхность. 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 происходит под давлением паровоздушного или парокислородного дутья. 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. Все технологические операции по газификации угольного пласта осуществляются с наземной поверхности, без применения подземного труда шахтеров, а разработка угольного пласта происходит экологически приемлемым способом /3/.

К основным достоинствам технологии ПГУ относятся:

- экономическая привлекательность – себестоимость газа ПГУ заметно ниже себестоимости добычи природного газа;
- довольно высокая степень экологической безопасности – особенно в сравнении с традиционными способами добычи угля, приводящими к возникновению ситуации экологического бедствия в регионах разработки угольных месторождений.

Известные технологии и оборудование в основном были ориентированы на отработку пологих пластов, а отработка крутопадающих угольных залежей в зарубежной практике почти не рассматривались, поэтому не имеют достаточно практических технологических и технических решений. Дальнейшее развитие этого перспективного направления энергоэффективного использования низкосортных углей на основе современных экологических и экономических требований обуславливает разработку и создание высокоэффективных технических средств обеспечения газификационных процессов /9/. Все

это предопределили постановку и проведения новых поисковых и научно-исследовательских работ совместно с казахскими специалистами в данном направлении.

При этом особое внимание уделяется горно-геологическим условиям залегания ископаемых углей, сейсмичности региона и вопросам последующего использования продуктов переработки угля. В качестве примера, на рис. 1 приведены виды крутопадающих залежей угля на отдельных участках кавакского угольного бассейна. Условия высокогорной добычи и отработки таких залежей достаточно сложны как в техническом, так и технологическом отношениях. Добыча угля с открытой разработкой угольных пластов в связи с большими объемами вскрышных работ разрушительно воздействует на природу [2].

Исследования показали, что для таких залежей угля более приемлем усовершенствованная нами технология ПГУ. Ее суть заключается в отработке угля без вскрышных работ с полным выжиганием угля и получаемых при этом продуктов в недрах земли. Продуктами газификации по предлагаемой технологии с паровоздушным или дутьём с полным выжиганием угля является горячий инертный газ, используемый в скважинных или наземных парогенераторах для получения перегретого водяного пара, являющимся рабочим телом для парогазовой турбины и источником паровоздушного дутья. В конце производственного цикла генерируется тепловая и электрическая энергия.



Рис. 1. Общий вид крутонаклонных пластов угля и условия их добычи

При этом попутно решаются проблемы токсичности угольного газа, а также утилизации сопутствующих газовых (различных вредных парогазовых смол и выделений) и зольных элементов. Отработанные продукты горения, имеющие высокое давление, подаются на следующий участок угольного пласта для подогрева угля и отжимы пластовой воды, при ее наличии. Там отработанный газ фильтруется в угольном массиве от взвеси и далее выбрасывается в атмосферу уже в виде чистой двуокиси углерода.

Для реализации такой инновационной технологии потребовалось создание нового технологического комплекса, состоящего из цепочки основных оборудований для выработки пара за счет частичного или полного сжигания угольного газа в пласте, компрессии и дутья перегретого пара и воздуха в подземный генератор и пароводяной турбины для привода генератора электроэнергии. Для таких условий понадобилось принципиально новая техника дутья (см. рис. 2), чтобы отжать, если она есть, из активной зоны пластовую воду с высоким гидростатическим давлением. Одновременно температура дутьевого воздуха должна быть достаточно высокой для предварительного прогрева угольного массива.

Разработанный для этой цели гидроударный компрессор (рис. 3), способен в адиабатном режиме сжимать атмосферный воздух до 100 и более атм. с температурой до 600<sup>0</sup>С. Компрессор не нуждается в смазывающих маслах и приводится в действие водяным паром с любыми параметрами по давлению и температуре. При этом отработанный пар направляется в дутьевые скважины вместе со сжатым воздухом. Высокие параметры дутья и

соответственно продуктов горения предопределили необходимость в процессе получения конечного продукта в виде электрической энергии перегрева пара до сверхкритических параметров, значительно превосходящих параметры паровых котлов и паротурбинных установок существующих тепловых станций.

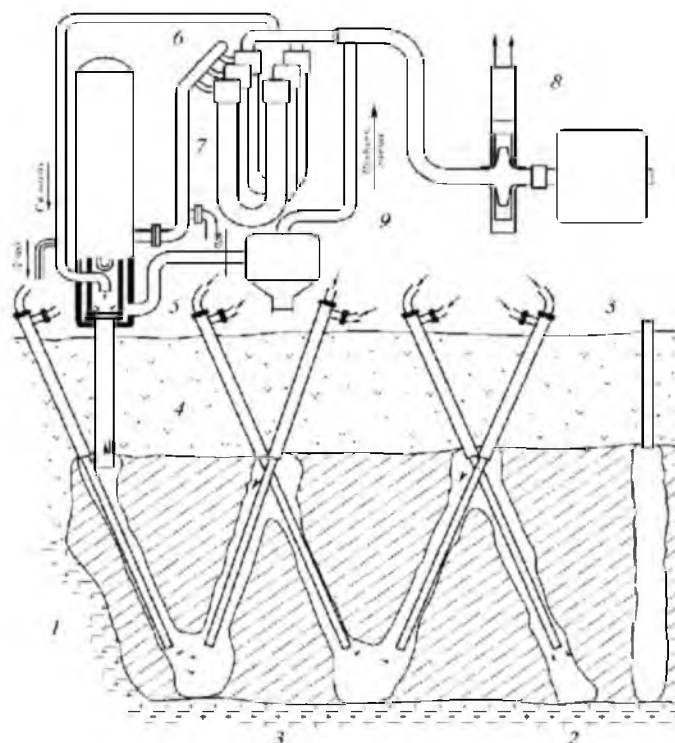


Рис. 2. Технологическая схема участка подземной газификации с полным сжиганием угля в недрах с получением перегретого водяного пара: 1 – угольный пласт; 2 – заградительная стенка из пластического раствора глины; 3 – дутьевые трубопроводы; 4 – газификационные каналы; 5 – подземный парогенератор трубчатый; 6 – камера дожига; 7 – гидродарный компрессор; 8 – газовая турбина; 9 – газоочистная камера.

Проблема решена разработкой парогенератора в скважинном исполнении, где вмещающие породы многократно усиливают его трубчатый корпус, что в сочетании с высокой температурой дожига продуктов горения на под- парогенераторном участке обеспечивает давление пара до нескольких сотен атмосфер.





Рис. 3. Общий вид гидродинамического компрессора

Для переработки пара такого давления разработана новая конструкция парогидравлической одноколёсной турбины (рис. 4), которая питается напорной водой с гиперзвуковым входом. Гиперзвуковой поток воды образуют специальные трубчатые гидроускорители с объёмным паропроводом.

Турбина снабжена спиральными лопатками. Половина спирали выполнена в ободке ротора, а вторая половина в статоре турбины. При обтекании спирали гиперзвуковым потоком вся кинетическая энергия его преобразуется в энергию вращения ротора. Увеличение или уменьшение скорости водяного потока влияет только на величину его пробег по спирали, т.е. установка не имеет ограничения по используемому давлению и температуре водяного пара. При этом достигаются весьма высокие энергомассовые параметры. Масса турбины без гидроускорителей - 220 кг. Это позволяет обеспечить мобильность электростанций вслед за отработкой угольного пласта. Перемещение электростанции становится актуальным из-за необходимости делать трубопроводные участки питания их высокотемпературным паром высокого давления наименьшей длиной.

Реализация новой технологии ПГУ обуславливает технологическую универсализацию, учитывающей всё многообразие горно-геологических условий, а также выработку комплекса технических и экологических решений, которые обеспечивают нормальную эксплуатацию в условиях самых различных выходных напоров продуктов газификации, их теплосодержаний и химических составов. Одним из новых решений в рамках данного перспективного направления переработки угля является разработка универсального способа подготовки генераторных участков на крутопадающих угольных пластах и высокоэффективные технические средства для его осуществления. Проблема решена разработкой и созданием экспериментального образца гидроимпульсного бурового снаряда (рис. 5), разрушающего любые, в том числе и крепкие материалы сверхзвуковыми водяными струями в чисто поступательном движении без вращения и осевого нагружения буровой колонны.



Рис. 4. Общий вид парогидравлической турбины: Диаметр рабочего колеса – 500 мм; Рабочее давление пара - 50 МПа; Скорость вращения колеса – 1500 1/мин; Масса турбины без гидроускорителей – 220 кг; Полная масса установки с фундаментом – 1038 кг; Габариты 1100x 650x 2200мм



Рис. 5. Общий вид гидроимпульсного бурового снаряда  
Энергия струй обеспечивается электроразрядным процессом в полости бурового

снаряда. Новый способ подготовки и устройство для его реализации позволит оперативно маневрировать количественными и качественными параметрами дутья в меняющихся горно-геологических условиях.

**Выводы.** Условия высокогорной добычи и отработки глубоких залежей угля достаточно сложны как в техническом, так и технологическом отношении. Добыча угля с открытой разработкой угольных пластов в связи с большими объемами вскрышных работ разрушительно воздействует на природу. В этих условиях наиболее приемлем подземный способ их добычи и переработки в генераторный газ. Предлагаемый новый способ безлюдной скважинной отработки углей позволяет вовлечь получаемый продукт (пар со сверхкритическими параметрами) для эффективной когенерации энергии на местах их залегания, что позволяет исключить вскрытие пластов обычными методами (шахтами, разрезами) и сохранить окружающую среду от технологических воздействий.

#### Список литературы

1. Альтшуллер В. С. Новые процессы газификации твердого топлива. М. Недра. 1976. 214 с.
2. Асанов А.А. Развитие современных угольных технологий в Кыргызстане. /соавторы А.А. Асанова, К.К. Орозов, Горный журнал (Россия) № 6, 2016 , с. 61 – 65.
3. Гридин С.В. Вертела С.А. Анализ перспектив и методов использования газогенераторного газа с целью разработки эффективных решений по экономии энергоресурсов. //Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2013. - №8. – с. 31 – 40.
4. Жумалиев К.М., Алымкулов С.А., Асанов А.А., Сарымсаков Ш. С. Исследование и разработка технологии производства угольных брикетов для промышленных и коммунально-бытовых нужд. Бишкек из-во «Макспринт», 2012. – 254 с.
5. Загруднинов Р.Ш., Нагорнов А.Н., Сеначин П.К. Технологии газификации глей и производства моторных топлив : учебное пособие / под ред. П.К. Сеначина. — Барнаул : Алтайский Дом печати, 2008. - 96 с.
6. Заря А. Ю., Крейнин Е. В., Лазаренко С. Н. Новые возможности. Перспективы развития технологии подземной газификации углей. /Уголь Кузбасса.- 2009. № 4. с.74-77.
7. Прошунин Ю.Е. Вопросы направления и перспективах развития технологии подземной газификации каменных и бурых углей / Ю.Е. Прошунин, А.М. Потурилов // ТЭК и ресурсы Кузбаса. – 2010. - №5. – с. 22 - 30
8. Раимжанов Б. Р., Салтыков И. М., Якубов С. И. Подземная газификация угля: исторические сведения и проблемы // Горный вестник Узбекистана. 2008.
9. 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.
10. Янко С. В., Громов В. А., Поштук А. З. Подземное сжигание угля // Уголь Украины. – 1995. – № 11. – С. 2–5.