

УДК. 338.45 – 662.6

**ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЭС НА УГЛЕ**

Асанов Арстанбек Авлезович, доктор технических наук, профессор Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова, Кыргызская Республика, 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б, e-mail: asanov52@mail.ru

Орозов Кельдибек Кубатбекович, к.т.н., Институт горного дела и горных технологий им. У.Асаналиева КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызская Республика 720040, г. Бишкек, проспект Чуй, 164, Orozov0305@mail.ru

Имашев А.Ж., доктор PhD, КарГТУ, г.Караганда (Казахстан), imashev_85@mail.ru

В статье приведены результаты аналитического обзора развития экологически безопасных тепловых электростанций, работающих на угле. Различают три группы экологически безопасных ТЭС угольной генерации с паротурбинными блоками. К первой группе относятся экологически безопасные ТЭС с эффективными системами очистки дымовых газов. Ко второй группе относятся ТЭС с котлами циркулирующего кипящего слоя (ЦКС). К третьей группе относятся экологически безопасные ТЭС угольной генерации с парогазовыми энергоблоками газогенераторного газа. Основным принципом повышения экологических показателей работы энергоблока является увеличение его КПД или снижение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии, а как следствие, и снижение выброса вредных веществ в атмосферу.

Ключевые слова: уголь, тепловая станция, экология, газогенератор.

**REVIEW OF THE CONTEMPORARY STATE AND PROSPECTS OF THE
DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY SAFE THERMAL POWER STATIONS ON
THE COAL**

Asanov Arstanbek Avlezovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N.Isanov, Kyrgyz Republic, 720020, Bishkek, ul. Maldybaeva, 34 b, e-mail: asanov52@mail.ru

Orozov Keldibek Kubatbekovich, Ph.D., Institute of Mining and Mining Technologies. U. Asanaliyev KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyz Republic 720040, Bishkek, Chui Avenue, 164, Orozov0305@mail.ru

Imashev A. Zh., Doctor PhD, Head of the Department "Development of Mineral Deposits". Karaganda State Technical University. imashev_85@mail.ru

The article presents the results of the analytical review of the development of environmentally friendly thermal power plants operating on coal. There are three groups of environmentally friendly thermal power plants of coal generation with steam turbine units. The first group includes ecologically safe thermal power plants with efficient flue gas cleaning systems. The second group includes thermal power plants with circulating fluidized bed boilers. The third group includes environmentally friendly thermal power plants of coal generation with combined-cycle power units of gas-generating gas. The main principle of improving the environmental performance of the power unit is to increase its efficiency or reduce the specific fuel consumption for electricity generation, and as a consequence, reduce emissions of harmful substances into the atmosphere.

Keywords: coal, thermal station, ecology, gas generator.

В сфере электроэнергетики Кыргызстан планирует стать крупным производителем электроэнергии в регионе. Предполагается привлечение инвестиций на строительство и реконструкцию следующих объектов: Камбаратинской ГЭС-1 и ГЭС-2, Верхнарынского каскада ГЭС и Ак-Булунской ГЭС, Учкурганской ГЭС, Атбашинской ГЭС, Токтогульской ГЭС и Кара-Кечинской ГЭС.

Вместе с тем следует заметить, что строительство новых крупных электростанций из-за больших капитальных затрат, длительности строительства и наносимого ущерба земельным угодьям, несмотря на низкую стоимость электроэнергии (менее 0.0.1 \$ США) замедлено, а сооружение отдельных из них приостановлено.

В этих условиях, несомненно, повышенный интерес представляет тепловая электростанция (ТЭС) планируемая к сооружению на буроугольном месторождении «Кара-Кече». Как известно, строительство ТЭС проектной мощностью до 2000 МВт на территории Жумгалского района Нарынской области планируется реализовать в технологической цепочке с освоением угольного месторождения и строительством железной дороги Балыкчи – Кочкор - Кара-Кече. Запасы, запасы угля на месторождении для открытой отработки утверждены ГКЗ в количестве 192473 тыс. т, что предопределяет возможность добычи угля до 5 и более млн. т в год [1].

Поэтапное строительство карьера на месторождении Кара-Кече с ежегодной производительностью от 3.0 до 5.0 млн. т угля с одновременным строительством железной дороги Балыкчи - Кара-Кече (длиною – 185 км) сможет не только закрыть все нынешние потребности севера республики, но и создать предпосылки для последующего строительства ТЭС и поставки угля в соседние страны. При этом такой мегапроект потребует больших капитальных затрат. Если затраты на разработку угольного карьера и строительство железной дороги как-то еще можно обосновать, то строительство новой ТЭС, при меняющихся тенденциях строительства аналогичных объектов, требует тщательного их анализа и сравнения, для последующего выбора нужного варианта.

Создание традиционных ТЭС с кондиционными турбинами с единичной мощностью 500 МВт при сложившейся стоимости капиталовложений в РАО «ЕЭС России» потребует около 500 млн. \$ США на каждый объект. Продолжительность проектирования и строительства при этом снижается вдвое, нет необходимости в выделении больших земельных угодий, однако, повсеместно идет ужесточение требований по экологии, а цена продажи может увеличиться также вдвое [2,3]. Несмотря на это ежегодно во многих странах, владеющих огромными запасами угля, ведется строительство новых мощностей угольной генерации энергии.

Одной из основных тенденций развития современной энергетики является повышение экологической безопасности сооружаемых тепловых электростанций. При чем, ТЭС, работающие на твердом топливе, занимают в этой тенденции основное место, поскольку количество выбросов вредных веществ, производимых ТЭС на твердом топливе, несравнимо с количеством выбросов станции, работающей на газообразном или жидком топливе.

Постоянно ужесточающиеся нормы по выбросам тепловых электростанции во всем мире, а также увеличение платы за выбросы привели к разработке новых методов, направленных на повышение экологических показателей работы энергооборудования, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Ведущие страны мира (Китай, США, Корея и др.), которые используют для выработки энергии уголь в текущий момент демонстрируют признаки повсеместного внедрения чистых технологий использования угля для своих новых и существующих электростанций. Так в США компания Mississippi Power объявила, что они произвели первую выработку электроэнергии на новой суперсовременной тепловой электростанции (рис. 2), используя

чистый синтетический газ. При производстве электроэнергии на ТЭС использовали сочетание чистого синтетического газа, который производится из местного бурого угля и природного газа.

Отмечается, что это самая передовая угольная электростанция в мире, которая генерировала электричество с использованием синтез-газа. В Mississippi Power заявили, что производство электроэнергии с синтетическим газом требует интеграции работы системы очистки газа и связанной с ней газификатора.

Китай в настоящее время ограничивает разрешение на строительство пылеугольных блоков, расход условного топлива у которых выше, чем 300 граммов на выработанный кВт*час электроэнергии. Он внедрил более жесткие нормы выбросов для угольных электростанций, в том числе по диоксиду серы, оксиду азота и сажи. Правительственная политика, законы и правила Китая в настоящее время поощряют строительство крупных угольных блоков с более высокой эффективностью, низким потреблением воды и более эффективным контролем выбросов.



Рис. 2. Строительство ТЭС Kemper County, штат Миссисипи, США

Эти технологии будут требовать строительства энергоблоков на сверхкритических и ультра-сверхкритических параметрах пара. Мощность вводимых в настоящее время угольных энергоблоков в Китае практически всегда превышает 600 МВт, наряду с использованием топок с циркулирующим кипящим слоем и комплексной газификацией парогазовых установок мощностью более чем 300 МВт. Общий вид такой ТЭС приведена на рис. 3.

В Южной Корее введена новая, сверхсовременная угольная электростанция — электростанция Yeongheung (рис.4). Энергоблоки работают на сверхкритических параметрах с прямоточными котлами. Паро-производительность котлов составляет 245 кг/сек. Энергоблок имеет 870 МВт электрической мощности, КПД энергоблока составляет 43,4%. Для эффективного сжигания битумных и суббитуминозных углей с различной теплотворной способностью ТЭС оснащена сверхсовременной системой управления и мониторинга энергоблоков, охватывающей все технологические процессы. Это позволило, независимо от свойств исходного угольного сырья достичь 100 % установленной мощности. На станции установлено селективное каталитическое восстановление для удаления оксидов азота и

мокрый электрофильтр для улавливания твердых частиц, а также она снабжена высокоэффективной системой сероочистки дымовых газов для удаления оксидов серы.



Рис. 3. Электростанция Шенду в Северном Китае.



Рис. 4. Общий вид электростанции

Различают три группы экологически безопасных ТЭС угольной генерации с паротурбинными блоками. К первой группе относятся экологически безопасные ТЭС с эффективными системами очистки дымовых газов. Такая ТЭС построено в Германии. Для энергоблока используются высокоэффективные пятипольные электрофильтры с четырьмя параллельными ходами для дымовых газов, обеспечивающие степень их очистки от летучей золы до 99,74 %. Высота дымовой трубы составляет 250 м. Система десульфуризации уходящих газов работает по мокро-известняковому способу и содержит дополнительное оборудование, предназначенное для получения из ее шлама товарного продукта — гипса.

Установка очищает дымовые газы от SO_2 не менее чем на 85 %, что соответствует содержанию оксидов серы на выходе из дымовой трубы — 180 мг/м^3 . Для снижения содержания NO_x в дымовых газах в качестве меры предварительного их подавления используются специальные горелки и ступенчатое сжигание топлива в топке, что позволяет предварительно снизить их концентрацию до 550 мг/м^3 . Дальнейшее снижение содержания NO_x в дымовых газах котла до 200 мг/м^3 реализуется с помощью установки селективного

каталитического восстановления.

Для снижения выброса углекислого газа в атмосферу предусмотрена комбинированная выработка электрической энергии и теплоты в сетевых подогревателях. Полученный в результате обработки сточных вод известняковый шлак используется в системе десульфуризации для сокращения расхода товарного известняка. Также энергоблок включает в себя системы раздельного транспортирования и хранения твердых продуктов горения топлива — золы и шлака. Тем самым образуется крупный энерготехнологический комплекс. Развитие на базе ТЭС сопутствующих с генерацией производств в значительной мере способствует улучшению экологических и экономических показателей работы энергоблоков.

Ко второй группе относятся ТЭС с котлами циркулирующего кипящего слоя (ЦКС). Технология ЦКС начинается с появления первого котла данного типа в 1979 году в Финляндии. Котлы с ЦКС ввиду специфики организации процесса горения не требуют установки дополнительного газоочистного оборудования и сводят к минимуму эксплуатационные затраты, идущие на то, чтобы энергоблок смог отвечать самым жестким европейским требованиям по выбросам вредных веществ, производимым электростанциями [2].

На сегодняшний день промышленно освоена и широко применяется в различных странах технология ЦКС на докритические параметры пара. Первый энергоблок 460 МВт с котлом ЦКС производства компании Фостер — Уиллер, рассчитанный на сверхкритические параметры острого пара (265 бар/560 °С) запущен в эксплуатацию в 2009 году в Ложиже (Польша). Котел содержит систему ввода сухого известняка в зону горения для связывания диоксида серы, за счет чего достигается предельная минимальная концентрация на выходе из котла в районе 200 мг/м³, что соответствует новым европейским нормативам по выбросам. Также ввиду того, что максимальная температура в зоне горения не велика и составляет 859 °С, концентрация оксидов азота соответствует нормам без применения дополнительных средств для ее снижения и составляет по данным фирмы производителя также 200 мг/м³. Котел с ЦКС имеет ряд преимуществ над пылеугольным котлом, таких как: эффективное сжигание топлива любого качества без газовой или мазутной подсветки, возможность сжигания разного по качеству топлива в одном и том же котле, упрощенная схема подготовки топлива, возможность глубокой разгрузки без применения вспомогательного топлива (до 25 %) и быстрый пуск из горячего состояния.

К третьей группе относятся экологически безопасные ТЭС угольной генерации с парогазовыми энергоблоками газогенераторного газа. Основным принципом повышения экологических показателей работы энергоблока является увеличение его КПД или снижение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии, а как следствие, и снижение выброса вредных веществ в атмосферу.

Одним из наиболее перспективных направлений в данной области является применение технологий ПГУ с внутрицикловой газификацией угля. Согласно данной схеме твердое топливо проходит предварительную подготовку в виде его частичного окисления в специальном устройстве, называемом газификатором (газогенератором), в котором производится и дополнительный подогрев рабочей среды, а затем в виде синтез-газа (CO + H₂) направляется в камеру сгорания энергетической ГТУ.

Наиболее эффективный вариант производственного использования данной технологии, помимо ТЭС Kemper County это ТЭС Пуэртолано (Испания). Пущенный в эксплуатацию в 1992 году энергоблок 335 МВт содержит в своем составе ГТУ мощность 200 МВт и ПТУ 135 МВт. Используемая в качестве топлива и реагента смесь угля, нефтяного кокса и известняка подается в систему топливо приготовления. В качестве транспортирующего агента используется азот воздуха, полученный на воздухоразделительной установке. В газификаторе генерируется пар двух давлений, неочищенный синтетический газ и шлак. После фильтрования и промывки водой газ

поступает в систему сероочистки, где из него выделяется 99,8 % серы. Очищенный синтетический газ подается в газовую турбину. Отработанные в турбине газы поступают в котел-утилизатор, пар из которого поступает в паровую турбину.

Величина выбросов в атмосферу вредных веществ составляет для SO_2 , NO_x и твердых частиц соответственно 125, 150, 7,5 мг/м³. Энергоблок Пуэрто-Лано во многом по причине, связанной с несовершенностью газогенератора, имеет КПД по выработке электроэнергии 42,2 %, что довольно низкий показатель эффективности для ПГУ. Также одной из основных проблем на пути развития данной технологии являются высокие капитальные затраты на строительство энергоблока (от 1500 до 2000 € на кВт установленной мощности).

Интерес представляют ТЭС с котлами кипящего слоя под давлением. Одними из наиболее редких представителей технологий ПГУ, работающих на твердом топливе, являются энергоблоки с котлами кипящего слоя под давлением (КСД). Горение угля в КСД и связывание серы сорбентом происходят под давлением 1,2 - 1,6 МПа и температуре 850 — 870 °С. Скорость псевдооживления не превышает 0,9 — 1 м/с, высота кипящего слоя достигает 3 — 4 м. Термодинамически такая система менее эффективна, так как большая часть тепла топлива подводится прямо в паровой цикл, где вырабатывается порядка 80 % электроэнергии блока. Но и потери в ней существенно меньше, чем при газификации. Подача угля осуществляется в виде пасты или сухим агентом под давлением. КПД такого энергоблока, как правило, не превышает 43 %. Одним из самых мощных на сегодняшний день энергоблоков данного типа является блок производства Hitachi Heavy Industries (НИ), установленный на ТЭС Карита (Япония). Электрическая мощность блока составляет 360 МВт, КПД по выработке электроэнергии составляет 42,8 %. Концентрации вредных веществ в уходящих газах составляет по SO_2 — 200 мг/м³, NO_x — 200 мг/м³ и твердых частиц — 9 мг/м. Удельные капитальные затраты на такой энергоблок составляют порядка 2000 — 2500 € на кВт установленной мощности, по причине чего, также как и ТЭС с газификацией угля, данная технология пока не получила развития на современном рынке энергооборудования [3].

Известны также экологически чистые перспективные ТЭС, оборудованные технологиями связывания и с последующим захоронением CO_2 . Разработки технологий Carbon Capture and Storage (CCS) — связывания и захоронения углекислого газа — определили три основные пути развития технологических циклов энергоблоков данного типа с классификацией по типу удаления CO_2 : предтопочное, кислородное сжигание и послетопочное. Пока ни одна из описанных выше технологий не применяется в промышленности.

Самостоятельный интерес представляет комбинированное производство электроэнергии и тепла с использованием турбин малой и средней мощности. При этом стоимость установленной мощности можно снизить в 4-6 раз по сравнению с крупными ТЭС, а расходы топлива можно снизить до 150 кг условного топлива, что существенно меньше, чем на ТЭС (350 кг/кВт). Это объясняется в частности с тем, что генерация основана на утилизации водяного пара, вырабатываемых углереперерабатывающими мини-установками или получаемых путем подземной газификацией угля. В последнем случае легче добиться сверхкритических параметров пара, используемых в парогазовых установках [4].

На основании вышеизложенного краткого анализа следует такой вывод:

За рубежом идет создание (пилотных) высокоэффективных, экологически безопасных ТЭС на твердом топливе, реализующих современные и перспективные экологически чистые угольные технологии.

Для условий КР представляет несомненный интерес сооружение тепловых электрических станции на базе котельных агрегатов с циркулирующим кипящим слоем и ТЭС с эффективными системами очистки уходящих газов.

Для повышения КПД таких станций целесообразно ориентироваться при разработке ТЭС на суперкритические параметры пара.

Список литературы

1. Асанов А.А. Переработка угля – основа новых технологий и энергетики Кыргызстана. – Бишкек. ИЦ «Текник», 2011. – 174 с.
2. Угольная энергетика – проблемы реабилитации и развития: сб докладов межд. науч.тех. конф.. М.: ОАО «ВТИ», 2015. – 198 с.
3. Кожуховский И.С., Алешинский Р.Е., Говсевич Е. В. Проблемы и перспективы угольной генерации в России. / Уголь, № 2, 2016. С. 11-17.
4. Асанов А.А., Гуменников Е.С. Развитие объектов теплоэнергетики на основе инновационных технологий подземной переработки угля. / Известия КГТУ им. И. Раззакова, № 44, 2017, с 38 – 45.