

УДК 621.311.22

## ПОВЫШЕНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ РАБОТЕ НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ

### INCREASED FLEXIBILITY HEAT POWER PLANT WHEN WORKING ON THE ELECTRICITY AND HEAT MARKETS

**Семенов Николай Андреевич**, бакалавр каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: nikolay940@mail.ru, Тел.: +7 (922) 142-08-73

**Хасанов Руслан Рустамович**, бакалавр каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: hasanovruslan@mail.ru, Тел.: +7(929) 217-86-12

**Потапов Виктор Николаевич**, канд. техн. наук, каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.n.potapov@urfu.ru, Тел.: +7(912) 285-17-40

**Semenov Nicolai Andreyevich**, bachelor, department: «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first Russian President Boris Yeltsin, Russia, 620002, Yekaterinburg, st Mira 19. E-mail nikolay940@mail.ru.; phone : +7 (922) 142-08-73

**Khasanov Ruslan Rustamovich**, bachelor, department: «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first Russian President Boris Yeltsin, Russia, 620002, Yekaterinburg, st Mira 19. E-mail hasanovruslan@mail.ru.; phone : +7(929) 217-86-12

**Potapov Viktor Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first Russian President Boris Yeltsin, Russia, 620002, Yekaterinburg, st Mira 19. E-mail: v.n.potapov@urfu.ru,

**Аннотация:** Использование теплоты байпаса части продуктов сгорания, размещенного на паровом котле параллельно подогревателю воздуха или теплоты выхлопа малой газовой турбины в том же байпасе даст дополнительную возможность сделать независимым отпуск теплоты и электроэнергии, обеспечивая соблюдение графика отпуска электроэнергии.

**Abstract:** Use of the bypass heat of the combustion products, placed on the boiler in parallel heater air or heat exhaust small gas turbines in the same bypass will provide an additional opportunity to make independent heat and power supply, ensuring that electricity supply schedule.

**Ключевые слова:** теплота отходящих газов; паровой котел; паровая турбина; газовая турбина; отпуск электрической мощности; регулирование отопительной нагрузки; экономия топлива; штрафные санкции сетевой компании.

**Keywords:** heat exhaust; steam boiler; steam turbine; a gas turbine; electric power supply; regulation of the heating capacity; fuel economy; penalties Grid Company.

#### СУТЬ ПРОБЛЕМЫ

Отопительные ТЭЦ на природном газе в городах и рядом с ними нередко имеют проблемы в коммерческой части, работая одновременно на рынки электроэнергии и коммерческой теплоты. Даже мелкие аварии или более резкие изменения температуры наружного воздуха могут вызвать изменения подачи пара с отопительных отборов паровых турбин на коммерческий нагрев воды при обязательном сохранении отпуска электрической энергии на оптовый рынок строго в пределах 2%. Иначе регулятор рынка нанесет большой ущерб

генерирующей компании штрафными санкциями. Выход за эти рамки часто можно предотвращать, если для взаимной балансировки отпуска теплоты и электроэнергии использовать теплоту уходящих газов котлов, предлагаемым нами способом. Ряд этих приемов предложен для экономии топлива в конце 60-х годов прошлого века на кафедре ТЭС УПИ Е.В.Волковым, позже доработан для ряда электростанций Урала и Сибири В.Н.Потаповым.

Реформа создания рынка электрической энергии и коммерческого отпуска теплоты при централизованном теплоснабжении существенно

повысили актуальность этих работ, добавив к ним предложения для улучшения ряда коммерческих показателей генерирующих компаний и заметно повысить надежность тепло и электроснабжения потребителей двумя видами вторичной энергии.

#### АНАЛИЗ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИСПОЛНЕНИЯ СУТОЧНОГО ГРАФИКА ОТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ

При включении части теплоты уходящих газов котлов в процессах взаимной регулировки отпуска теплоты и исполнения суточного графика Системного Оператора (СО) вызовет и снижение температур уходящих газов котлов, что повысит эффективность использования топлива на ТЭЦ, на 1-2%, а пределе до 2-4%. Вся теплота уходящих газов составляет 5-8 % от теплоты сожженного топлива, и обычно полностью теряется. Отметим, что даже часть этой теплоты на практике трудно использовать очевидным приемом - установкой в газоходе за всеми поверхностями нагрева котла и его воздухоподогревателем (ВП) дополнительных экономайзеров (Э), подогревая в этих Э какой – то поток воды (Рис.1). Эти экономайзеры могут быть очень большими и массивными вследствие крайне низких температурных напоров в Э схемы (Рис.1).

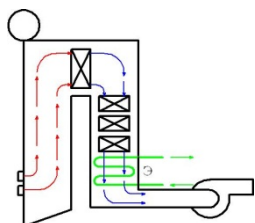


Рис.1. Дополнительный экономайзер размещен в газоходе после всех поверхностей нагрева котла.

Использование в схеме (Рис.1) аппаратов с интенсифицированными поверхностями нагрева не решит всех проблем, но будет дороже а их Установка после воздухоподогревателей может вызвать режимы, опасные для работы и стояния дымовых труб в холодное время и при сильных разгрузках ТЭЦ. Включая в этих режимах, даже временно, подогрев уходящих газов от внешнего источника теплоты снизит эффект от утилизации теплоты уходящих газов, При отключении подачи воды на Э в схеме (Рис.1) вызовет бесполезные затраты электроэнергии на тягу. Однако снижение температуры уходящих газов в Э – действительно является значительным резервом для более эффективного использования топлива на ТЭЦ, если вместе с Э разных вод для нагрева их подключать параллельно потоки вод в сетевых бойлерах паровых турбин ТЭЦ. Эти схемы можно назвать включением теплоты котла в регенеративную схемы турбин, иначе, - создание на единой системы регенерации теплоты котлов и

турбин ТЭЦ. По нашему мнению, это направление привлекательно и для расширения независимости и пластичности отпуска электричества и теплоты, особенно в сложных погодных условиях или при усложнении ситуации у СО на оптовых рынках электроэнергии. Напомним, что отбор пара турбин на нагрев вод может вызвать отклонение отпуска электрической энергии сверх ненаказуемых 2%.

Часть отпуска теплоты с водой, опасную по условиям ограничений отклонений генерации электроэнергии от суточного графика, необходимо замещать теплотой уходящих газов. При этом мы можем изменять отпуск пара отборов турбин на нагрев сетевой воды, и скорректировать мощность паровой турбины для электрогенерации на рынок, соблюдая суточный график, включая исполнение плановых колебаний и даже экстренные команды Системного Оператора. Самая эффективная схема (Рис.2) для нагрева части сетевой и подпиточной воды, впервые предложенная Е.В.Волковым при участии В.Н.Потаповым, была впервые внедрена на СУГРЭС в конце 70-х годов прошлого века. Ее принципиальное отличие (Рис.2) состоит в том, что дополнительный подогреватель воды (Э) был расположен в параллельном газоходе котла ГТМП-114, байпасировавшем участок газового тракта подогревателя воздуха (ВП). Это устранило органический порок традиционной схемы (Рис.1). Схема (Рис.2) увеличит средний температурный напор в экономайзере Э до 4-5 раз, размещенном в газоходе, параллельном ВП. Эта интенсификация теплообмена в Э не только увеличит тепловую мощность аппарата, но может сделать его гораздо дешевле – из простых гладких тонкостенных труб.

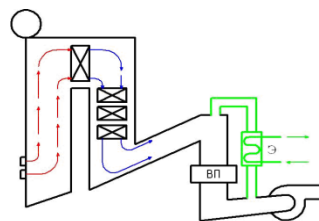


Рис.2. Дополнительный экономайзер размещен в дополнительном газоходе котла, на части газов, идущих параллельно воздухоподогревателю

Тот же, но развитый и более эффективный подход использован позже на самых экономичных сегодня в мире мощных котлах, сжигающих бурые угли на немецких электростанциях, с подогревом до семи разных потоков в байпасе подогревателя воздуха. Вместе с развитой схемой утилизации теплоты уже сильно охлажденных дымовых газов далее в реакторе сероочистки и градирне, которая вместо дымовой трубы отводит дымовых газы, обеспечивает самый высокий в мире КПД нетто паротурбинного энергоблока до 47% /1/, не только

при сжигании бурых углей, но, возможно, также и любых других энергетических топлив.

Упрощенные, но оригинальные варианты таких решений, предлагаем применить и на одной из ТЭЦ, где установлены 8 котлов БКЗ-320 и 5 турбин Т-100. Выполненные ранее варианты расчеты показали, что снижение температуры уходящих газов по схеме (Рис.2) на котлах ТЭЦ пока, на самом первом этапе, следует ограничить уровнем всего 80–90 °С, гарантируя безопасность работы дымовой трубы зимой, без специальных затратных приемов удорожающих эксплуатацию ТЭЦ, даже при возникновении дополнительных, полезных возможностей увеличения мощности.

Очевидно, традиционный вариант (Рис.1) при всей привлекательности и простоте установки Э менее приемлем на практике. Габариты и масса Э соизмеримой мощности, при повышении его мощности станут соизмеримыми с габаритами и массой ВП (его отдельной ступени). Но главное, при работе котла на малых нагрузках, особенно зимой, возможно поставить дымовую трубу ТЭЦ в очень опасные режимы излишнего снижения температур газов ниже «точки росы», хотя бы у стенок газоходов в местах присосов воздуха, при этом сохраняя затраты энергии на тягу. Тепловая мощность Э реально будет на расчетах наших ранних вариантов для указанных выше котлов не выше 6-8 Гкал/ч. Эту дополнительную мощность Э можно увеличить до 10-12 Гкал/ч, если более простой и дешевый подогреватель Э разместить в параллельном газоходе котла рядом с ВП первой ступени - по второму варианту (Рис.2).

Расчеты показали, что удельные затраты топлива на отпуск и получение дополнительной теплоты в Э по схеме (Рис.2) с учетом полной компенсации теплоты недогрева воздуха подачей дополнительного топлива в топку (в любой схеме установки Э) составят всего лишь 80 - 90 кг/Гкал. Это на 60-70 кг/Гкал (почти в 2 раза), меньше затрат, необходимых на тот же дополнительный нагрев воды в штатных сетевых бойлерах паровой турбины. Дополнительные водонагреватели (Э), если их установить на 5 котлах ТЭЦ обеспечат отпуск коммерческой теплоты до 10-25% от всей отопительной мощности турбины типа Т-100. Это обеспечит расширение диапазон подрегулировки мощности турбин ТЭЦ на 1-3 %, расширив этим возможности для соблюдения суточного графика СО и работать на балансирующий сектор рынка.

Мы оценили регулирование нагрузки при резких изменениях внешних условий на тех же сегментах рынка путем установки малой газовой турбины (Рис.3) с электрогенерацией и со сбросом

выхлопных газов тазовой турбины в газоход перед тем же дополнительным подогревателем воды (Э). Эта необычная схема (Рис.3), видимо впервые, предложено нами для одновременного сохранения максимальной или форсированной электрической и отопительной нагрузки ТЭЦ в неблагоприятные периоды: при сильных морозах или повышении цены электроэнергии на бирже оптового рынка электроэнергии. Это решение приведет не только к экономии топлива, но, главное, генерирующая компания получит дополнительную прибыль от продажи дополнительного объема электроэнергии по цене, повышенной среднюю в 2-3 раза.

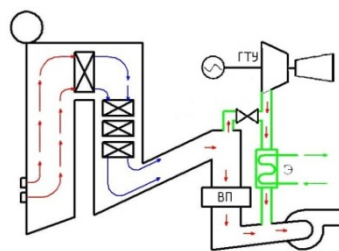


Рис.3. Экономайзер Э также размещен в дополнительном газоходе параллельно ВП котла, со сбросом выхлопных газов малой газотурбинной установки (ГТУ) в тракт перед Э с отключением при этом отбора дымовых газов из котла перед ВП

Эту схему (Рис.3) можно условно считать вариантом или новой версией схемы парогазовых энергоблоков ТЭЦ Altbach Dazisau (ФРГ), которые одновременно сжигают каменный уголь и газ по схеме, названной “присоединенным процессом” (“Verbundprozess”). Но ее реализация на газовой ТЭЦ может иметь ограничения. Для нашей ТЭЦ мы разработали предложения, устраняющие все проблемы внедрения схемы (Рис.3). Это включает выбор и оптимизацию мощности отечественной ГТУ при ее установке в главном корпусе ТЭЦ, с размещением ее электрического оборудования и внешней части газового хозяйства и, конечно, совмещение оптимальной степени сжатия воздуха в ГТУ с существующими параметрами газового хозяйства ТЭЦ. Оптимальной считаем нашу идею (одобрено инженерами ТЭЦ и УрФУ) подключить электрогенератор ГТУ к шинам собственных нужд ТЭЦ. Это также обеспечит пуск первого котла и пуск питательного насоса от генератора ГТУ при ряде тяжелых аварий на ТЭЦ - после падения мощности ТЭЦ “на ноль”.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stamatelopoulos G-N., Scheffknecht G. Technische Fortentwicklung mittelfristig am sinnvollsten: power: perspektiven 2005, Innovationen zur Klimavorsorgen in der fossil defeurten Kraftwerkstechnik // RWE Power. 2005. S. 44-46.