

УДК 621.165

**Внедрение и эксплуатация энергоэффективных технологий
на тепловых электрических станциях**

Каранкевич В.В., Таранчук А.С.

Научный руководитель – к.э.н., доцент КРАВЧЕНКО В.В.

Энергосбережение является одной из приоритетных задач любого государства. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами.

Экономия энергии – это эффективное использование энергоресурсов за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, приемлемы с экологической и социальной точек зрения, не изменяют привычного образа жизни.

Энергосбережение в любой сфере сводится по существу к снижению бесполезных потерь энергии. Анализ потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что большая часть потерь (до 90%) приходится на сферу энергопотребления, тогда как потери при передаче электроэнергии составляют лишь 9–10%. Поэтому основные усилия по энергосбережению сконцентрированы именно в сфере потребления электроэнергии.

Основная роль в увеличении эффективности использования энергии принадлежит современным энергоэффективным и энергосберегающим технологиям. Энергосберегающая технология – новый или усовершенствованный технологический процесс, характеризующийся более высоким коэффициентом полезного использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Некоторыми из таких технологий являются:

Перевод котельных в мини-ТЭЦ

В настоящее время в мире получают все большее распространение новые технологии энергосбережения, к которым, например, относится использование энергии пара для выработки электроэнергии в котельных и перевода их в мини-ТЭЦ. Масштабы применения этой технологии энергосбережения достаточно велики. Для этого пар после котла направляют в расширительную машину, например, паровую турбину, связанную с электрогенератором. В результате можно получить дешевую электроэнергию (дополнительный расход топлива и эксплуатационные расходы незначительны). Однако, использование паровой турбины в этом случае малопродуктивно, поскольку в области небольших мощностей она имеет ряд недостатков.

Наиболее привлекательными по совокупности свойств в данном диапазоне мощности являются паровые винтовые машины (ПВМ), имеющие технические преимущества перед лопаточной паровой турбиной: высокий КПД расширения (0,7–0,75) в широком диапазоне режимов (конденсат, образующийся при расширении пара, заполняет зазоры между рабочими органами, тем самым, уменьшая протечки пара и повышая КПД); простота конструкции, высокая ремонтпригодность; высокая маневренность при изменении режима работы, быстрый пуск и останов; высокая эксплуатационная надежность и безопасность при возникновении аварийной ситуации и т.д. [1].

ПВМ по сути является новым типом парового двигателя и машиной объемного действия. В корпусе вращаются рабочие органы – винты роторов (рисунок 1). Роторы выполнены из стали, на них нарезаны винты асимметричного профиля. Синхронизирующие шестерни, установленные на роторах, исключают возможность касания профилей винтов друг с другом.

Энергоустановка с ПВМ может использоваться для автономного режима работы, для режима работы параллельно сети, а также для привода исполнительных механизмов (например, водяных насосов). При работе в параллельном режиме энергоустановка

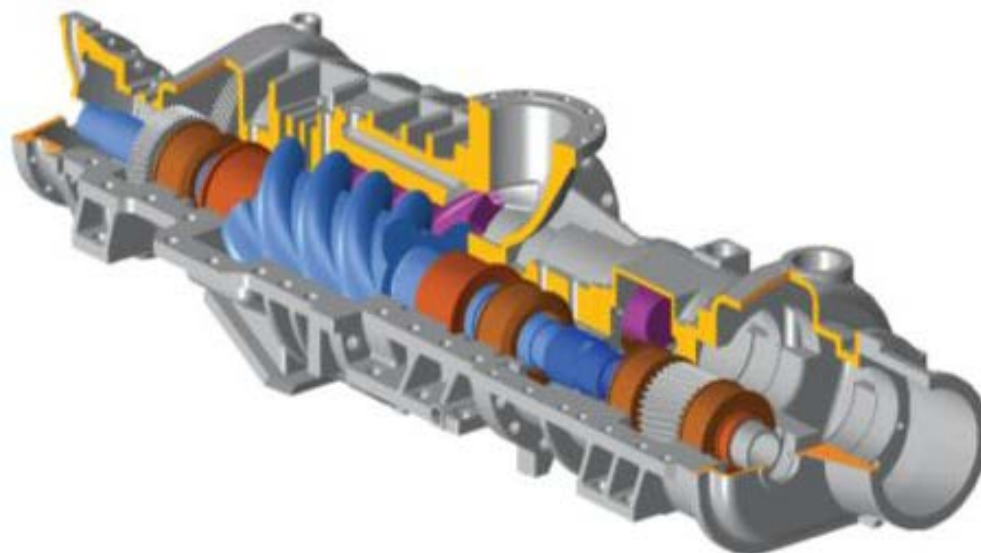


Рисунок 1 – Конструкция ПВМ

работает на электрическую сеть предприятия, покрывая часть его собственных нужд в электроэнергии и уменьшая тем самым ее потребление из сети. При этом обороты и частота переменного тока энергоустановки жестко привязаны к частоте сети. Мощность установки определяется перепадом давления и расходом пара через машину и регулируется дроссельным клапаном на входе в ПВМ.

Технология интенсификации горения топлива

Учитывая актуальность мировой проблемы сокращения расхода органического топлива при производстве электрической и тепловой энергии, а также снижения выбросов вредных веществ в атмосферу, была разработана и внедрена на ряде ТЭС, технология интенсификации горения топлива (ТИГ). ТИГ позволяет сократить на 1–3% расход сжигаемого газообразного, жидкого и твердого топлива на тепловых агрегатах предприятий теплоэнергетики различной мощности, снизить затраты электроэнергии на собственные нужды (на дымососах и дутьевых вентиляторах), концентрацию в дымовых газах окислов азота NO_x , серы SO_2 и валовые выбросы всех вредных веществ. Данная технология может быть использована на действующих и вновь вводимых тепловых агрегатах теплоэнергетических предприятий – на каждом объекте в любой отрасли промышленности, где топливо сжигается с помощью горелочных устройств. Энергосберегающая и природоохранная технология интенсификации горения топлива осуществляется путем ионизации воздуха, подаваемого на горение (схема установки устройств ТИГ на котлоагрегатах приведена на рисунке 2). При этом кислород, содержащийся в воздухе, повышает свою реакционную способность и снижает энергию активации химических реакций горения, что приводит к более полному выгоранию топлива и стабилизации процесса горения, снижению химического и механического недожога. Дополнительно к улучшению топочного процесса уменьшается и количество воздуха, подаваемого на горение и, как следствие, уменьшаются потери тепла, количество отходящих в атмосферу газов, концентрация окислов азота NO_x , серы SO_2 и валовые выбросы всех вредных веществ. На котлах, сжигающих газ, увеличение КПД котла происходит в основном за счет уменьшения коэффициента избытка воздуха за котлом и снижения температуры уходящих

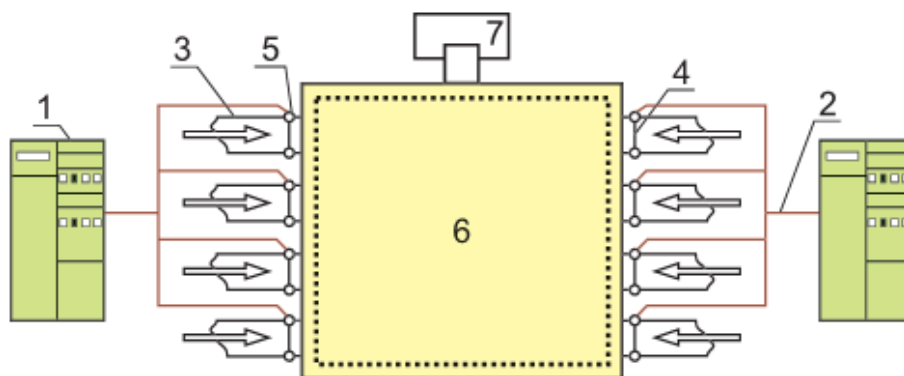


Рисунок 2 – Схема установки устройств ТИГ на котлоагрегатах:

1 – шкафы с высоковольтным оборудованием и автоматикой управления; 2 – высоковольтный термостойкий провод; 3 – металлические коробки воздухопроводов; 4 – ионизирующие решетки; 5 – высоковольтные проходные изоляторы; 6 – котел; 7 – стационарный газоанализатор

газов. Таким образом, технология интенсификации горения топлива позволяет котлоагрегатам работать с соблюдением технологических требований, повышенным КПД и сниженным избытком воздуха.

Тепловые электростанции выбрасывают в атмосферу около 27% от общего количества вредных выбросов всеми отраслями промышленности и транспорта. Положение усугубляется и тем, что оснащение топливоиспользующих установок специальными системами серо- и азотоочистки требует многомиллионных затрат и дополнительной реконструкции действующего оборудования. Испытания котельных установок, оборудованных устройствами ТИГ, показали, что при номинальной загрузке котлоагрегата выбросы окислов азота снижаются на 20–25%, окислов серы на 5–20%, количество выбрасываемых дымовых газов на 3,4–18%. Стабилизируя процесс горения, оборудование ТИГ обеспечивает более надежную и устойчивую работу котла, способствует повышению его эксплуатационных характеристик. Снижение только избытка воздуха сокращает концентрацию триоксида серы в топке котла, уменьшает температуру точки росы уходящих дымовых газов и снижает низкотемпературную коррозию металла.

ТИГ была внедрена на 25 объектах энергетики по всему миру [2].

Дросселирование и использование турбодетандеров

Дросселирование широко применяется в промышленности как средство регулирования и понижения давления пара. Поскольку процесс дросселирования является изоэнтальпийным (т.е., энтальпия в процессе не изменяется), он не сопровождается потерями энергии и, с точки зрения первого закона термодинамики, имеет наибольший возможный КПД. Однако дросселирование является необратимым термодинамическим процессом и снижение давления сопровождается увеличением энтропии без какой-либо полезной работы. Как следствие, при дросселировании теряется эксергия и рабочее тело после снижения давления характеризуется меньшим содержанием энергии, пригодной для полезного использования, например, в паровой турбине.

Наилучшим вариантом является использование турбодетандера, позволяющего осуществить «утилизацию» избыточного давления в условиях, приближенных к изоэнтальпийному, термодинамически обратимому процессу. Турбина может использоваться для производства электроэнергии.

Известно несколько вариантов турбодетандерных установок: установка, содержащая турбодетандер, электрогенератор и газовой теплообменник для подогрева природного газа перед детандером. Недостатком является низкий КПД из-за наличия теплообменников, большая себестоимость и то, что она рассчитана для включения в тепловую схему теплофикационной ТЭЦ; двухвальная установка, содержащая парогенератор, паровую

турбину, конденсатор, подогреватели газа, турбодетандер, электрогенераторы. Недостатком является выработка электроэнергии турбодетандером только для собственных нужд электростанции с использованием затурбодетандерного газа в качестве топлива для парогенераторов станции, а также двухвальность установки; установка, содержащая электрогенератор, турбодетандер, вихревую трубу, сепаратор и холодильную камеру, принятая за прототип. Особенностью является то, что выход горячего потока газа из вихревой трубы направляется в турбодетандер для обогрева его рабочих поверхностей, а холодный поток газа поступает в сепаратор, где происходит улавливание сконденсировавшейся жидкости и твердых частиц. Недостатком установки является сложность конструкции вихревой трубы, ее низкий КПД (не более 10%), а также выпадение гидратов в холодном потоке газа из-за большого влагосодержания.

Повышение эффективности турбодетандерной установки за счет газопарового теплообменника, в котором газ подогревается отработавшим паром турбины достигается тем, что турбодетандерная установка в системе газораспределительной станции, содержащая турбодетандер, электрогенератор, линию высокого давления природного газа, в отличие от прототипа имеет электропарогенератор, соединенный с противодавленческой турбиной, газопаровой теплообменник, присоединенный к линии высокого давления и турбодетандеру. Схема установки, включающая в себя электропарогенератор 1, который соединен с противодавленческой турбиной 2, газопаровой теплообменник 3, присоединенный к линии высокого давления, турбодетандер 4, находящийся на одном валу с электрогенератором 5, представлена на рисунке 3.

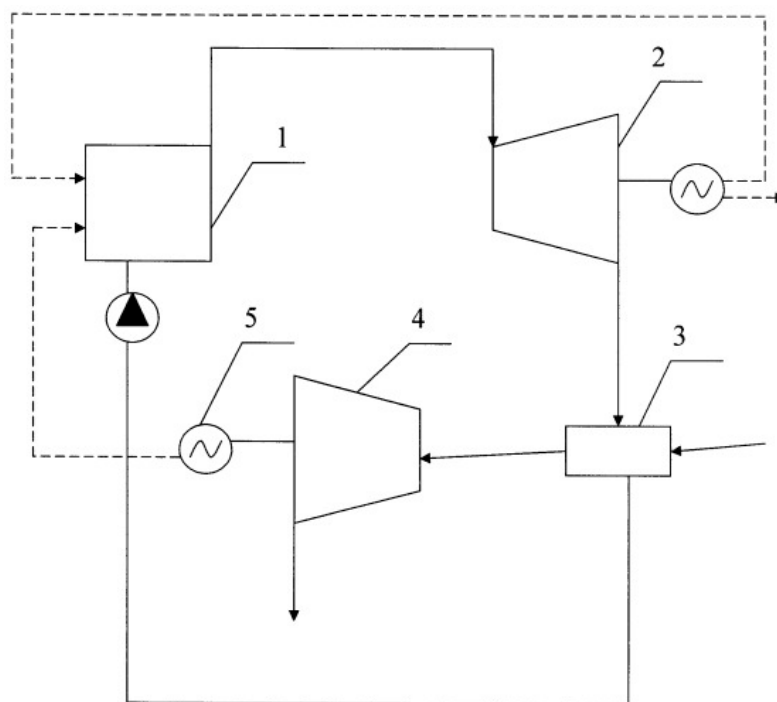


Рисунок 3 – Схема турбодетандерной установки

Использование данной турбодетандерной установки для производства электроэнергии исключает расходование магистрального газа на нужды ГРС, так как газ подогревается в газопаровом теплообменнике теплотой отработавшего пара из турбины. За счет установки электропарогенератора обеспечивается большая экономическая эффективность, так как топливо на подогрев воды в нем не затрачивается. Отсутствие процесса сжигания топлива создает полную экологическую чистоту установки. Увеличивается эффективность выработки электроэнергии, то есть расход теплоты на электропарогенератор покрывается мощностью турбодетандера и 6% мощности турбины, а значит оставшаяся энергия, вырабатываемая турбиной – 94%, является дополнительной.

Когенерационные установки на основе парогазовых систем

Развитие малой энергетики является одним из наиболее перспективных направлений. Большим потенциалом здесь обладает процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии – когенерация, которая помимо всего прочего дает возможность для развития экономики страны.

В целом, применение когенерации оправдано на тех предприятиях, где имеются значительные потребности в тепле при температурах, соответствующих низкому или среднему давлению пара. При оценке потенциала производства с точки зрения когенерации важно убедиться в том, что нет оснований ожидать существенного сокращения потребностей в тепле. В противном случае эксплуатация системы, рассчитанной на производство избыточного тепла, окажется неэффективной.

Паровые турбины могут быть адекватным вариантом при выполнении следующих условий: базисная электрическая нагрузка превышает 3–5 МВт; существует применение для низкопотенциального пара и требуемое соотношение электрической и тепловой энергии превышает 1:4; доступность недорогого топлива с невысокой торговой наценкой; доступность адекватной площади для размещения системы; наличие высокопотенциального тепла, отходящего от технологических процессов (например, от печей или мусоросжигательных установок); необходимость замены существующей котельной; необходимо сведение к минимуму соотношения электрической и тепловой энергии к минимуму. В когенерационных системах максимизация соотношения электрической и тепловой энергии требует минимизации уровня противодавления и максимизации уровня высокого давления.

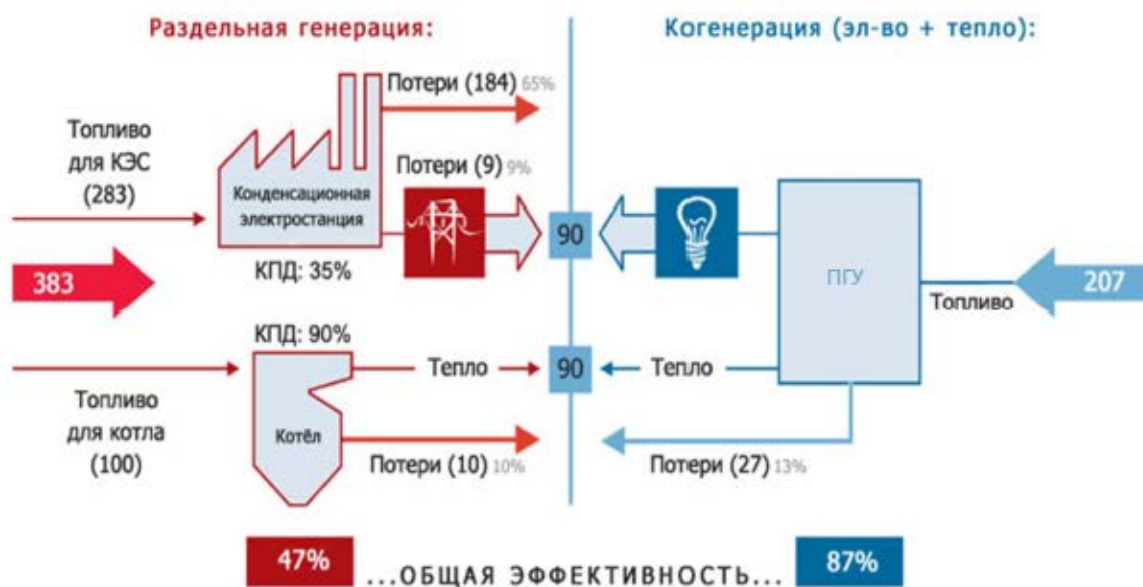


Рисунок 4 – Сравнение эффективности использования топлива при раздельной выработке и когенерации на ПГУ

Использование газовых турбин может быть целесообразно при выполнении следующих условий: предполагается довести до максимума отношение производимой электрической энергии к тепловой; потребность в электроэнергии является постоянной и превышает 3 МВт (на данный момент газовые турбины меньшей мощности лишь начинают выходить на рынок); доступность природного газа (однако его отсутствие не является лимитирующим фактором); существует значительная потребность в паре среднего/высокого давления или в горячей воде, в частности, с температурой, превышающей 500°C; наличие применения для горячих дымовых газов с температурой 450°C или выше – газы могут разбавляться холодным атмосферным воздухом или пропускаться через газоздушный теплообменник. Кроме того, целесообразно рассмотреть возможность добавления паровой турбины и создания парогазовой системы комбинированного цикла.

Парогазовая установка (установка комбинированного цикла) состоит из одной или нескольких газовых турбин, соединенных с одной или несколькими паровыми турбинами (рисунок 5). Во многих случаях такие установки используются для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Тепло выхлопных газов газовой турбины утилизируется и используется для производства пара, приводящего в действие паровые турбины. Как правило, тепло, полученное в результате утилизации, используется для производства дополнительной электроэнергии, а не для отопления или нагрева.

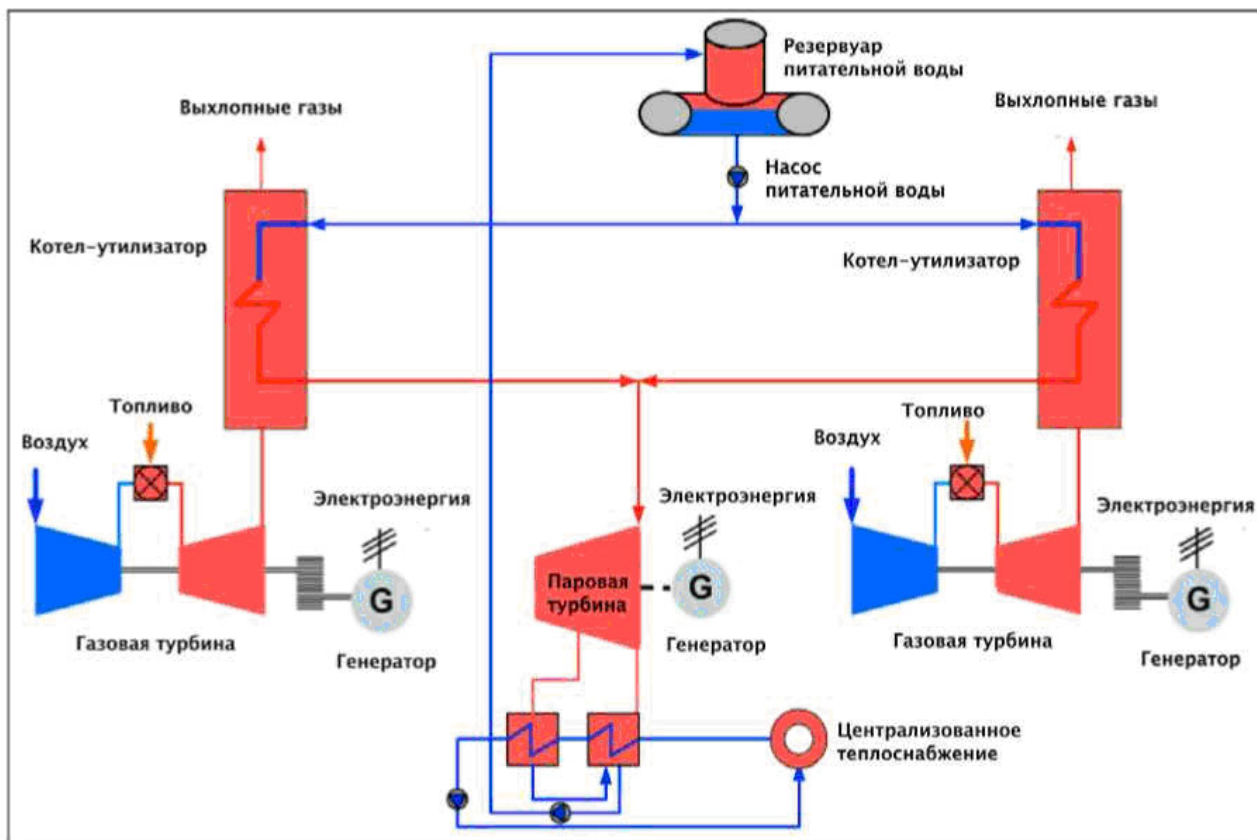


Рисунок 5 – Парогазовая когенерационная установка

Преимуществами подобных систем являются высокое отношение электрической к тепловой энергии, высокий КПД (достигающий 60% по сравнению с паросиловыми установками 33–45% и газотурбинными установками 28–42%), низкая себестоимость единицы мощности и др. Одно из перспективных направлений развития технологий сжигания, которое также используется в сочетании с парогазовыми системами и когенерацией, – газификация твердого топлива. Газификация топлива позволяет значительно снизить выбросы оксидов серы и азота по сравнению с традиционным сжиганием твердого топлива благодаря очистке газа после газификации, но до сжигания в турбине.

В последнее время в самых высокоэффективных парогазовых установках (ПГУ) используются трехконтурные ПГУ с использованием водяного пара с довольно усложненной схемой (рисунок 6).

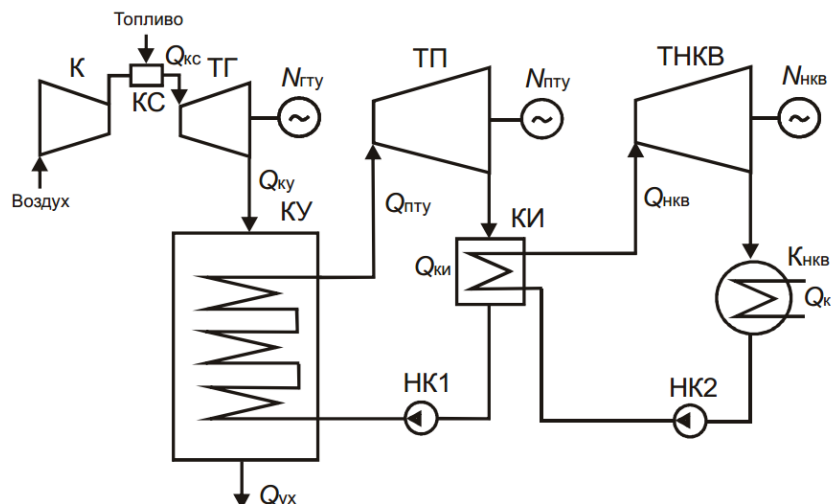


Рисунок 6 – Упрощенная схема ПГУ тринарного типа

Под трёхконтурной (тринарной) ПГУ подразумевается утилизационная парогазовая установка, в которой комбинированы три цикла: газотурбинный и два паротурбинных. Верхний – паротурбинный цикл, основанный на воде и водяном паре, и нижний цикл турбоустановки, основанный на низкокипящем веществе (НКВ). Высоких показатели КПД существующих ПГУ можно достичь в основном при помощи повышения начальных температур газа перед входом пара в газовые турбины до 1300–1500°C, с перспективой создания газовых турбин, работающих при начальных температурах газа, равных 1600°C. При столь высоких температурах КПД газотурбинных установок (ГТУ) составляет всего 39–41%, а высокий КПД ПГУ (58–61%) определяется глубиной утилизации теплоты газов, покидающих газовую турбину, в паротурбинном цикле с начальной температурой пара на уровне 540–560°C [3].

Одним из важных компонентов определяющих КПД ПГУ является котел-утилизатор. Котлы-утилизаторы бывают двух типов: с горизонтальной и вертикальной компоновкой поверхностей нагрева. Наилучшим является котел-утилизатор вертикального типа. Так как это позволяет уменьшить потери мощности ГТУ, а, следовательно, повысить КПД всего цикла ПГУ, также снижается металлоёмкость котла вследствие более высоких значений коэффициентов теплопередачи.

В настоящее время существует огромное количество различных типов применяемых ГТУ, а также схем применяемой паротурбинной части ПГУ. Установки можно классифицировать по числу ГТУ (одна, две, три), по числу контуров котлов-утилизаторов (КУ) (одноконтурные, двухконтурные, трехконтурные), отсутствию или наличию промежуточного перегрева пара в ПТУ и т.п., а также по типу топлива, используемого данной установкой (газ, жидкое топливо, биомасса и т.д.).

Внедрение парогазовых установок в энергетику является очень перспективным направлением. ПГУ имеют большую экономическую и инвестиционную эффективность. Также использование ПГУ на биотопливе может помочь решить проблему, связанную с нехваткой топливно-энергетических ресурсов.

Таким образом, внедрение и эксплуатация энергоэффективных технологий на ТЭС помогает существенно снизить потребление ископаемых видов топлива, значительно сократить затраты на их приобретение, а также уменьшить выбросы вредных веществ в окружающую среду. Однако, хотя данные технологии имеют ряд неоспоримых преимуществ, нельзя забывать о том, что они лишь уменьшают потребление ископаемых топлив, запасы которых истощаются, поэтому в долгосрочной перспективе необходимо также широко внедрять возобновляемые источники энергии.

Литература

1. Березин, С.Р. Паровая винтовая машина как средство энергосбережения / С.Р. Березин [и др.] // Новости теплоснабжения. – 2009. – № 7. – С. 23–26.
2. Бушуев, В.В. Применение технологии интенсификации горения на объектах теплоэнергетики / В.В. Бушуев // Новости теплоснабжения. – 2015. – № 5. – С. 39–40.
3. Галашов, Н.Н. Анализ Эффективности парогазовых установок тринарного типа / Н.Н. Галашов, С.А. Цибульский // Известия томского политематического университета. – 2014. – № 4. – С. 33–38.