ISSN:3030-332X
Impact factor: 9,493
International journal of scientific researchers

РАЗДЕЛЬНАЯ И КОМБИНИРОВАННАЯ ВЫРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА КОГЕНЕРАЦИИ

Хидиров Мираббос Мирзаёр ўғли
Каршинский государственный технический университет,
старший преподаватель

Рахимов Нурбек Зокирович
Каршинского государственного технического университета,
Преподаватель
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20522271

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности раздельной и комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, а также анализируются термодинамические преимущества когенерационных установок. Проведено сравнение традиционных схем раздельного производства энергии с когенерационными технологиями, обеспечивающими одновременное получение электрической и тепловой энергии из одного источника топлива. Показано, что использование когенерации позволяет значительно повысить коэффициент использования топлива, снизить удельный расход энергоресурсов и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Особое внимание уделено вопросам энергетической эффективности, экономической целесообразности и экологической безопасности комбинированной генерации. Полученные результаты подтверждают перспективность внедрения когенерационных технологий на промышленных предприятиях и объектах коммунального хозяйства для повышения эффективности энергоснабжения и снижения эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: тепловая энергия, электрическая энергия, когенерация, комбинированная выработка энергии, энергетическая эффективность, термодинамический анализ, топливные ресурсы, энергосбережение.

Введение. В современных условиях стремительного роста потребления энергии особую актуальность приобретает повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Традиционные системы раздельного производства электрической и тепловой энергии характеризуются значительными потерями энергии на различных этапах преобразования и передачи. В связи с этим все большее внимание уделяется технологиям комбинированной выработки энергии, обеспечивающим более рациональное использование первичных энергоресурсов.

Когенерация представляет собой процесс одновременного производства электрической и тепловой энергии в рамках единого технологического цикла. В отличие от традиционных энергетических установок, где значительная часть тепловой энергии теряется в окружающую среду, когенерационные системы позволяют использовать эту энергию для теплоснабжения промышленных предприятий, жилых зданий и объектов коммунального хозяйства. Благодаря этому общий коэффициент полезного использования топлива может достигать 80–90 %, что значительно превышает показатели раздельного производства энергии.

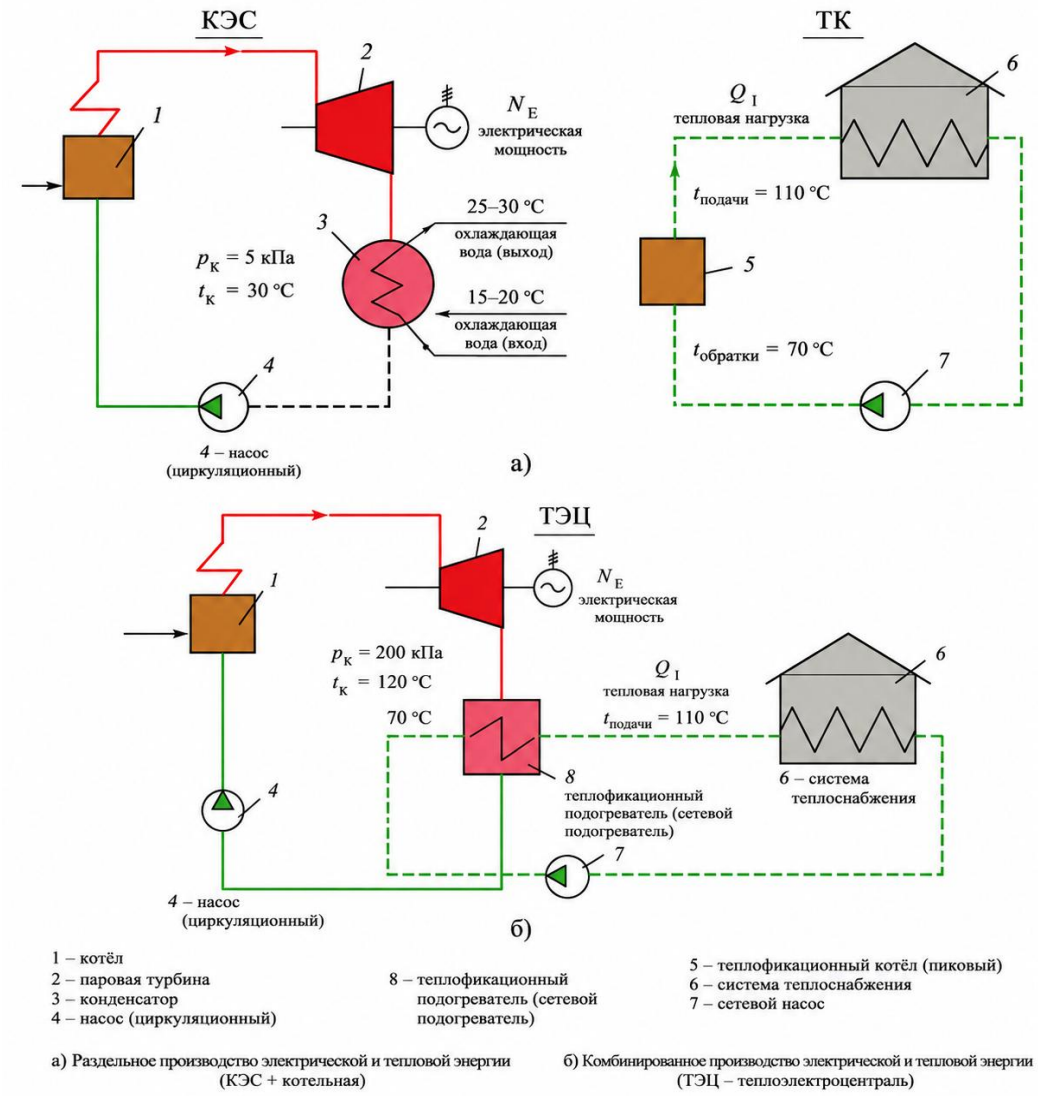
Результаты и анализ исследования. В последние годы когенерационные установки получили широкое распространение во многих странах мира благодаря их высокой энергетической эффективности, экономической привлекательности и экологическим преимуществам. Использование комбинированной генерации способствует снижению расхода топлива, уменьшению выбросов парниковых газов и повышению надежности энергоснабжения потребителей.

Особый интерес представляет термодинамический анализ когенерационных систем, позволяющий оценить эффективность преобразования энергии, определить основные источники потерь и выявить возможности дальнейшего совершенствования энергетических установок. Исследование термодинамических преимуществ комбинированной выработки энергии имеет важное значение для разработки современных энергоэффективных технологий и повышения конкурентоспособности энергетического сектора.

Целью данной работы является сравнительный анализ раздельной и комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, а также исследование термодинамических преимуществ когенерации с точки зрения энергетической, экономической и экологической эффективности.

Если для определённых потребителей, например городских потребителей, одновременно требуются электрическая энергия мощностью N_E и тепловая энергия в количестве Q_T за единицу времени, то технически наиболее простым решением является их раздельное производство.

Для этого может быть построена конденсационная паротурбинная установка (ПТУ), вырабатывающая электрическую мощность N_E , с глубоким вакуумом в конденсаторе, охлаждаемом циркуляционной водой. При температуре охлаждающей воды $t_{охл.вода}$=15-20 °С в конденсаторе можно получить давление p_k=0,03-0,04 атм (3-4 кПа), при



1-рис. Схемы раздельной (а) и комбинированной (б) выработки тепловой и электрической энергии.

котором температура конденсирующегося пара составляет t_k = 30-35 °С. Кроме того, для производства тепловой энергии Q_T может быть построена районная котельная (ТК), в которой

сетевая вода нагревается в водогрейном котле от 70 до 110 °C. В результате при раздельной выработке тепловой энергии Q_T и электрической энергии N_E общее количество теплоты, получаемой из топлива, определяется суммарными затратами энергии на оба процесса

$$Q_{отдельно}=Q_T/\eta_K+N_E/\eta_Q\eta_{ПТУ}, \quad (1.1)$$

здесь η_K - КПД котла, составляет 90–94%; $\eta_{ПТУ}$ - КПД конденсационной паротурбинной установки (ПТУ), примерно равен 45%.

Эту проблему производства электрической и тепловой энергии можно также решить другим способом (рис. 1. б). На КЭС вместо конденсатора устанавливается сетевой подогреватель, за счёт чего из него отбирается тепловая энергия Q_T.

Разумеется, поскольку температура сетевой воды, например, должна составлять 110 °C, давление в сетевом подогревателе (и за паровой турбиной) не должно быть 0,05 атм (как в конденсаторе турбины КЭС), а должно поддерживаться на уровне около 1,2 атм. При этом давлении конденсированный пар образует конденсат с температурой примерно 120 °C, что обеспечивает нагрев сетевой воды до 110 °C.

Таким образом, на одной электростанции одновременно производится необходимое количество электрической и тепловой энергии. Поэтому такой способ производства электрической и тепловой энергии называется комбинированным производством. В последние годы также широко используется эквивалентный термин «когенерация» (от англ. cogeneration). Термины «комбинированное производство», «теплофикация» и «когенерация» являются синонимами. На рис. 1. б показана простейшая ТЭЦ с противодавленной турбиной, поскольку давление за ней обычно выше атмосферного.

При одновременном комбинированном производстве электрической энергии N_E и тепла Q_T расход тепла определяется следующим образом:

$$Q_{комб}=(Q_T+N_E)/\eta_K. \quad (1.2)$$

Принимая $\eta_{ПТУ}=1$ (согласно формуле 1.1), в данной формуле учитывается, что теплота, уносимая паром из турбины, не передаётся в бесполезную охлаждающую воду конденсатора, а полностью передаётся потребителю тепла в сетевом подогревателе. Это означает отсутствие дополнительного сжигания топлива в водогрейном котле.

Разница между количеством теплоты, затраченной на производство электрической энергии N_E и тепла Q_T при раздельной и комбинированной выработке, определяется следующим образом:

$$\Delta Q=Q_{отдельно}-Q_{комб}=\left(\frac{1}{\eta_{ПТУ}}-1\right)\frac{1}{\eta_K}\chi Q_T, \quad (1.3)$$

Здесь $\chi=N_E/Q_T$ — это очень важная характеристика, называемая выработкой электрической энергии по отношению к тепловому потреблению.

Поскольку $\Delta Q=\Delta B_y Q_{то}$, где ΔB_y — экономия топлива, а $Q_{то}$ — теплота его сгорания, следовательно, при комбинированном производстве тепловой и электрической энергии достигается экономия топлива по сравнению с раздельным производством.

$$\Delta B_y=\frac{1}{Q_{то}}\left(\frac{1}{\eta_{ПТУ}}-1\right)\frac{1}{\eta_K}\chi Q_T. \quad (1.4)$$

Поскольку $\eta_{ПТУ} < 1$, то $\Delta B_y > 1$, то есть при теплоснабжении всегда достигается экономия топлива. Точная причина экономии топлива заключается в том, что теплота конденсации пара, выходящего из паровой турбины, передаётся не охлаждающей воде конденсатора, а потребителю тепла.

Из выражения (1.4) видно, что чем менее экономична конденсационная паротурбинная установка, то есть чем меньше КПД ПТУ $\eta_{ПТУ}$, тем более эффективным становится теплоснабжение, поскольку значительная часть теплоты, которая при раздельной выработке передаётся охлаждающей воде, используется для нагрева сетевой воды.

Экономия топлива ΔB_y непосредственно зависит от соотношения электрической и тепловой мощности $\chi=N_E/Q_T$. При заданном Q_T, чем больше N_E, тем более эффективно конденсационная мощность заменяется экономичной тепловой мощностью.

Преимущества комбинированной выработки с использованием простейшей теплофикационной паротурбинной установки, показанной на рис. 1, б, легко понять. Однако важным недостатком такой схемы является то, что с её помощью невозможно произвольно изменять соотношение между электрической мощностью N_E и тепловой мощностью Q_T. Изменение одной из этих мощностей приводит к автоматическому изменению другой, и это изменение не всегда соответствует требованиям потребителей. Часто такие установки используются тогда, когда необходимо изменять только один параметр по определённому графику, как правило, тепловую нагрузку Q_T, а второй параметр — электрическую мощность.

Для устранения этого недостатка теплофикационная турбина выполняется с регулируемым отбором пара и конденсацией пара в конце процесса расширения (рис. 2).

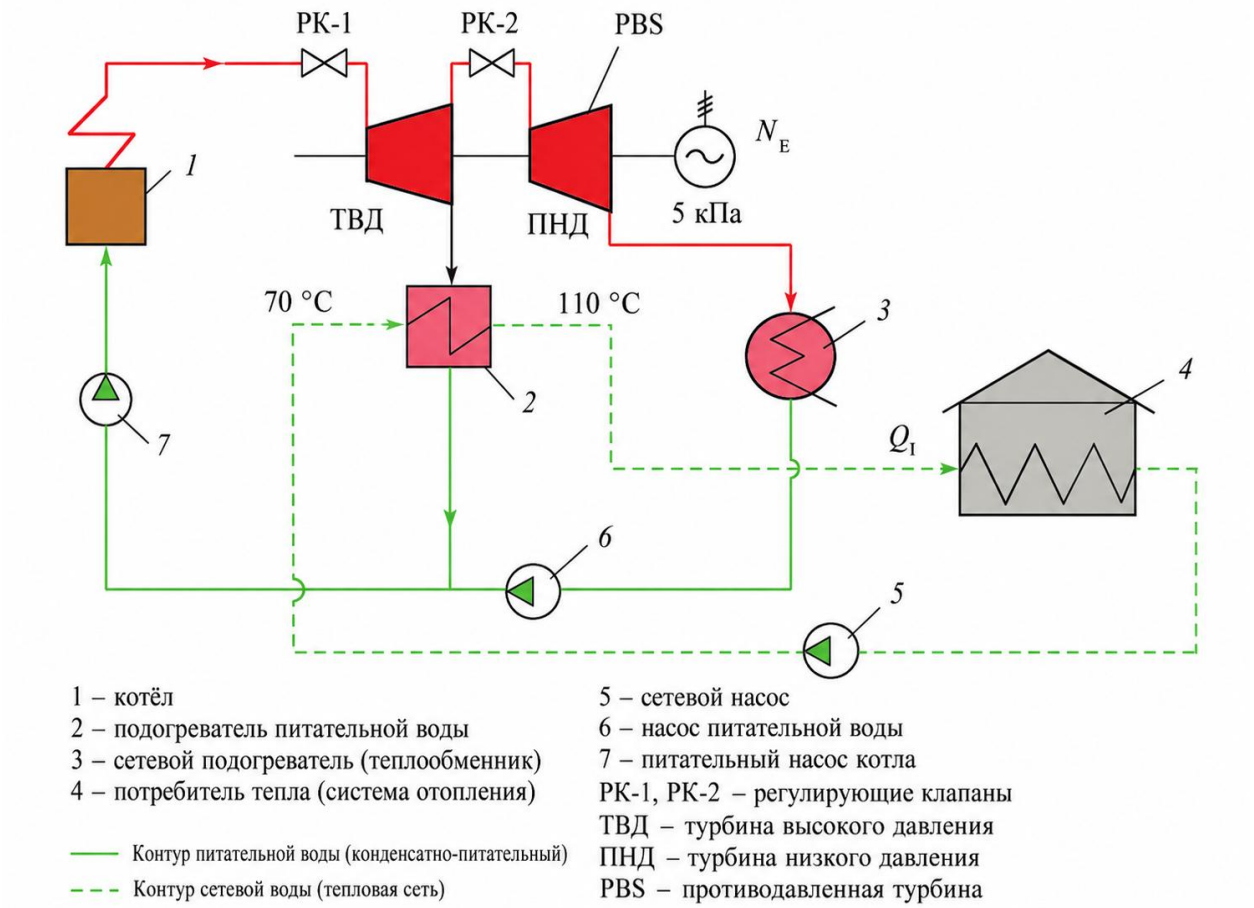


Рис. 2. Схема теплоснабжения ТЭЦ с теплофикационной турбиной.

Соответственно, с помощью регулирующих клапанов РК-1 и РК-2, установленных перед ЮБС и ПБС, можно в широких пределах независимо изменять выработку электрической мощности и тепловой энергии.

Если клапан РК-2 полностью закрыт и весь пар, поступающий в турбину, направляется в сетевой подогреватель, то турбина работает как противодавленческая, и полезный эффект от теплоснабжения достигает максимального значения. Теплофикационные турбины обычно работают таким образом зимой, когда требуется большое количество тепловой энергии.

Напротив, если РК-2 полностью открыт и поток сетевой воды через сетевой подогреватель перекрыт, турбина работает как конденсационная с максимальными потерями теплоты в конденсаторе. В таком режиме теплофикационные турбины обычно работают летом.

Очевидно, что эффективность работы теплофикационной турбинной станции зависит от соотношения расходов пара через сетевой подогреватель и конденсатор: чем оно больше, тем выше экономия топлива.

Таким образом, централизованное теплоснабжение всегда приводит к экономии топлива. Однако следует учитывать, что пар, поступающий в сетевой подогреватель, вырабатывается не

обычным водогрейным котлом, а энергетическим котлом. Для транспортировки пара требуются паропроводы большого диаметра для высоких, иногда сверхкритических параметров пара. Работа теплофикационной турбины и её эксплуатация значительно сложнее, чем у конденсационной турбины.

В конденсационном режиме теплофикационная турбина работает менее экономично по сравнению с конденсационной турбиной. Это означает, что с точки зрения экономической целесообразности электрическое и централизованное теплоснабжение, а также системы ТЭЦ и котельные являются взаимодополняющими. При этом следует учитывать, что структура этих систем исторически формировалась поэтапно, часто с предварительным вводом котельных, которые затем выполняют роль резервных источников теплоты.

Заключение

В данной работе рассмотрены основные принципы комбинированного производства электрической и тепловой энергии на теплофикационных паротурбинных установках (ТЭЦ). Показано, что переход от раздельной выработки электрической и тепловой энергии к комбинированной (когенерационной) схеме позволяет значительно повысить эффективность использования топлива и снизить общие энергетические потери.

Анализ схем теплофикационных турбин с регулируемыми отборами пара и конденсацией в конце процесса расширения показал, что такие установки обеспечивают гибкое управление соотношением электрической мощности и тепловой нагрузки в зависимости от сезонных и потребительских требований. При этом наиболее эффективный режим работы достигается при максимальном использовании тепловой энергии пара в сетевых подогревателях.

Установлено, что экономия топлива напрямую зависит от соотношения электрической и тепловой нагрузок, а также от режима работы турбинного оборудования. Несмотря на определённые технические и эксплуатационные сложности теплофикационных турбин, их применение является экономически целесообразным и способствует развитию централизованного теплоснабжения.

Таким образом, комбинированная выработка энергии является более эффективной по сравнению с раздельным производством и имеет важное значение для повышения энергоэффективности и рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

Список использованной литературы

1. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева. — 3-е изд. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
2. Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика. Под общ. ред. Е.В. Аметистова. – М.: МЭИ. 2004. – 376 с.
3. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 648 с.
4. Теплоэнергетика и теплотехника: Учебник для вузов / Под ред. В. Н. Бухмана. — М.: Энергоатомиздат, 2010.
5. Лукутин Б. В., Ситников А. П. Тепловые электрические станции. — М.: Энергия, 2008.
6. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. — М.: МЭИ, 2012.
7. Гаврилов А. И. Паротурбинные установки электростанций. — М.: Энергоиздат, 2009.
8. Кузнецов Ю. А. Основы когенерационных установок. — СПб.: Политехника, 2011.
9. Международное энергетическое агентство (IEA). Combined Heat and Power (CHP) / Cogeneration Systems Reports.
10. Буров В. Д. Котельные установки и парогенераторы. — М.: Энергоатомиздат, 2007.