

УДК 629.5:621.436

Б.Г. Тимошевский, д-р техн. наук

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Постановка проблемы

Несмотря на высокую топливную экономичность тепловых электрических станций, достаточное количество тепловой энергии выбрасывается в окружающую среду и по ряду термодинамических и технических причин не может быть полезно использовано. Даже при работе по теплофикационным циклам коэффициент использования топлива на этих станциях не превышает 70 %. В большой энергетике предпочтение всегда отдавалось паротурбинным и, частично, газотурбинным установкам, агрегатные мощности которых соответствовали потребностям энергетиков. Одним из путей дальнейшего повышения эффективности тепловых электрических станций, на наш взгляд, является применение ДВС в качестве приводов электрогенераторов.

На рис. 1 представлено сравнение эффективности наиболее распространенных тепловых двигателей. Эти данные свидетельствуют о том, что малооборотные ДВС являются конкурентоспособными в области малых и средних генерирующих мощностей. На сегодняшний день коэффициент полезного действия (КПД) современного сверхдлинноходового турбопоршневого ДВС при эксплуатации на природном газе составляет 54%, агрегатная мощность достигает 100 МВт, а ресурс исчисляется 150 тыс. часов, что в определенных условиях дает основание для использования этих двигателей в составе электроэнергетических комплексов средней и большой мощности. Актуальность использования ДВС в составе таких комплексов целью повышения эффективности тепловых станций обусловлена неуклонным ростом цен на топливо, повышением эксплуатационных расходов и, в конечном итоге, ростом стоимости вырабатываемой энергии.

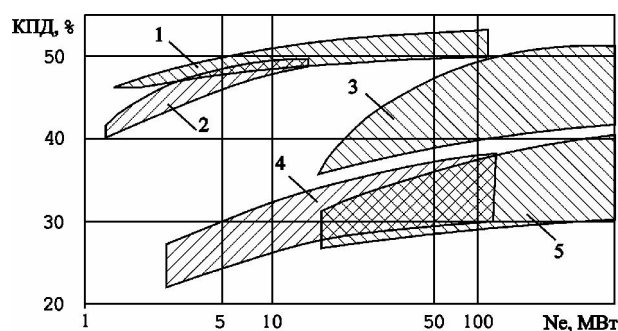


Рис. 1. Сравнительная эффективность тепловых двигателей, используемых для привода электрогенераторов

- 1 – малооборотные ДВС;
2 – среднеоборотные ДВС; 3 – газотурбины, работающие по сложным циклам;
4 – газотурбины; 5 – паровые турбины

Обзор публикаций и выделение нерешенных проблем

Паротурбинные установки эксплуатируемые ныне в Украине и странах СНГ тепловые электрических станций имеют КПД не превышающий 25 %, а общий коэффициент использования топлива в теплофикационных циклах реально не превышает 60 % [1, 2]. Мировой уровень этих показателей несколько выше, однако, также не превышает 36 % и 70 %, соответственно [3]. Стремление существенно повысить эффективность современных генерирующих мощностей привело к тому, что внимание специалистов привлекли малооборотные двухтактные ДВС большой мощности, которые ранее использовались исключительно в качестве главных двигателей на крупных транспортных судах. Одна из первых была введена в эксплуатацию такая электростанция в г. Чiba (Япония). На этой электростанции использовался двухтопливный двигатель MAN B&W 12K80MC-GI-S с частотой вращения $103,4 \text{ мин}^{-1}$, 30-полюсный электрогенератор фирмы Meidensha мощ-

ностью 40 МВт [4]. Эффективный КПД двигателя составил 49,3 %, определенный по электрической мощности, отдаваемой в сеть, – 42,6 %, а коэффициент использования топлива (КИТ) с введением комплексной системы глубокой утилизации тепла на теплофикацию составил 65,3 % [4].

На острове Гуам корпорацией ENRON (США) была построена электростанция мощностью 90 МВт, на которой установлены два двигателя 10K90MC-S с утилизацией энергии выпускных газов отдельной газовой турбиной, используемой для привода асинхронного электрогенератора. Теплофикационное оборудование не было установлено ввиду отсутствия потребителей тепла. В этом варианте эффективный КПД генерации электроэнергии дизельгенератором составил 49,2 %, а генерируемой турбогенератором – 1,2 %. Суммарный эффективный КПД – 50,4 % [5].

На Филиппинах в г. Минданао в 1999 – 2000 гг. введенные в эксплуатацию две плавучие электростанции мощностью 100 МВт. Каждая станция оборудована двумя двигателями 12K90MC-S по 50 МВт каждый работающих по турбокомпаундной схеме. Утилизация тепла для целей теплофикации не предусмотрена. Эффективный КПД по электроэнергии составляет 55,7 % [6].

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что КИТ электростанций на базе современных высокоэффективных ДВС остаются не достаточно высокими и значительно количество тепла выбрасывается в окружающую среду. Это объясняется, в первую очередь, тем, что существующая концепция рационального использования низкопотенциального тепла не предполагает утилизацию энергии надвучного воздуха, воды и масла на таких объектах. Было принято считать, что эти источники низкопотенциального тепла существенно малы и их утилизация не дает существенного эффекта, а лишь приводит к усложнению тепловой схемы и неоправданному увеличению капитальных вложений. Действительно, по-

вышение эффективности рабочего процесса ДВС привело к существенному снижению доли тепла, отводимого с охлаждающей водой и маслом, но в то же время существенно возросла доля тепла, отводимого от надвучного воздуха. При больших мощностях ДВС, характерных для стационарных генерирующих установок эти ресурсы низкопотенциального тепла становятся весьма заметными.

Цель исследований

Задачей данного исследования является разработка и оценка эффективности рациональной тепловой схемы электрической станции на базе ДВС высокой мощности, позволяющей получить высокие значения КИТ, существенно превышающие сегодняшний уровень.

Решение проблемы

Рассмотрим укрупненную тепловую схему электростанции на базе малооборотных сверхдлинноходовых ДВС с комплексной когенерацией, представленную на рис.2. Электростанция комплектуется четырьмя газовыми двигателями 18K108ME-S, которые обеспечивают электрическую мощность на клеммах генератора 105 МВт каждый. При разработке схемных и конструктивных решений энергетических объектов подобного рода следует учитывать тот факт, что даже в случае когенерации наиболее эффективным является получение максимальной электрической мощности, а тепловая мощность в этом случае является все же дополнительной, хотя и весьма важной составляющей энергетического баланса. Это объясняется, прежде всего, тем, что в случае необходимости тепловая энергия может быть получена в котельных установках, эффективность которых (КИТ) достигает 92 %. Таким образом, когенерацию все же следует рассматривать, как утилизационный процесс. Отличительной особенностью приведенной схемы является то, что двигатели работают

по турбокомпаундной схеме и выпускные газы разделяются на два потока: основной поток направляется в газовую турбину 4 привода компрессора турбонаддувочного агрегата, а оставшаяся часть газов поступает в свободную газовую турбину 5, нагружен-

ную на асинхронный генератор 6. Расчеты показывают, что электрическая мощность, снимаемая с этого генератора на номинальном режиме двигателя, составляет 12,4 МВт.

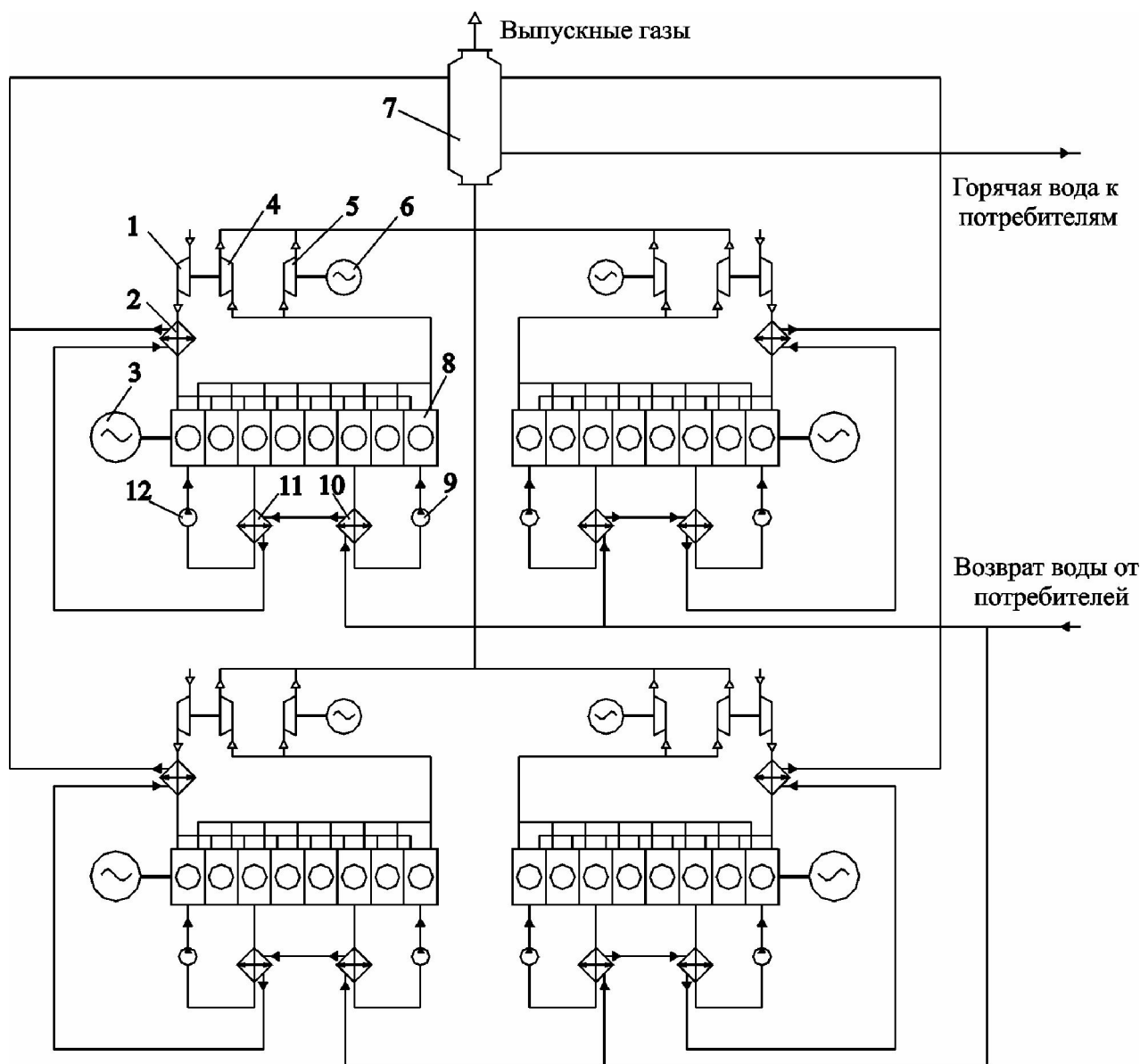


Рис. 2. Тепловая схема ТЭС на базе малооборотных ДВС:

1 – компрессор турбонаддувочного агрегата; 2 – охладитель наддувочного воздуха;
 3 – синхронный генератор; 4 – газовая турбина турбонаддувочного агрегата; 5 – свободная турбина привода асинхронного генератора; 6 – асинхронный генератор; 7 – комбинированный утилизационный водогрейный котел; 8 – главный двигатель 18K108ME-S; 9 – циркуляционный насос охлаждающей воды;
 10 – охладитель воды; 11 – охладитель масла; 12 – циркуляционный масляный насос

Такое схемное решение позволяет повысить суммарный КПД двигателя до 59,8 % и, соответственно, снизить приведенный удельный расход стандартного газового топлива до $0,188 \text{ нм}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ или $143 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ в пересчете на массовый расход.

С целью глубокой утилизации тепла для теплофикации предусмотрено использование тепла охлаждающей воды, циркуляционного масла и наддувочного воздуха. С этой целью оборотня вода сначала подается в теплообменник 10, где подогревается за счет тепла охлаждающей воды, затем в маслоохладитель 11 и далее в охладитель наддувочного воздуха. Подогретая вода поступает в комбинированный утилизационный котел 7, который оборудован дополнительной топкой для обеспечения потребностей в тепловой энергии в холодное время года, и далее к потребителям.

Учитывая, что в качестве топлива двигатели используют природный газ, в конструкция утилизационного котла 7 предусматривает установку конденсационной секции, которая позволяет осуществить глубокую утилизацию тепла выпускных газов и снизить их температуру до 358 К (85°С).

При работе двигателей на номинальном режиме такая электростанция обеспечивает электрическую мощность $469,4 \text{ МВт}$ и вырабатывает $149,2 \text{ МВт}$ тепла для целей теплофикации (без дожигания топлива в комбинированном котле). Таким образом, коэффициент использования топлива в данном варианте составляет 78,8 %, что представляется достаточно высокими показателями для тепловых станций.

С учетом потребления энергии на собственные нужды действительный КПД такой электростанции составит примерно 58,6 %, а КИТ – 74,9 % соответственно.

Использование четырех газовых двигателей в составе электростанции позволяет работать в широком диапазоне нагрузок при высоких показателях топливной экономичности путем исключения части

двигателей в случае снижении потребностей в электроэнергии. Такое техническое решение также позволяет проводить регламентные работы на двигателях и вспомогательном оборудовании без вывода станции из эксплуатации, а лишь при снижении номинальной мощности на 25 %.

Внедрение тепловых электростанций на базе ДВС в Украине существенно сдерживается отсутствием производителей мощных и высокоэкономичных ДВС. Однако при небольших мощностях могут быть использованы серийно выпускающиеся ГП "Завод имени Малышева" среднеоборотные газовые машины 10ГД100А. Если использовать эти машины по схеме, приведенной на рис. 2 и заменить систему наддува с использованием турбокомпаундной системы, то вполне возможно получить удовлетворительные результаты. Расчеты показывают, что суммарная электрическая мощность на клеммах синхронных генераторов в этом случае составит примерно 7900 кВт , а дополнительная мощность, которую можно снять с асинхронных генераторов – примерно 1030 кВт . Приведенный такой станции примерно КПД 49,5%, а удельный расход газа $0,227 \text{ нм}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ или $173 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ в пересчете на массовый расход. Благодаря когенерационному оборудованию можно получить дополнительно 4340 кВт тепловой мощности для теплофикации, что позволяет достигнут КИТ примерно 76,7 %. С учетом затрат энергии на собственные нужды действительные значения КПД по электроэнергии составит 47%, а КИТ – 72,8 %, соответственно.

Несмотря на несколько более низкие показатели электростанций на базе отечественных газовых ДВС, их тепловая эффективность оказывается выше, чем аналогичных тепловых станций с паротурбинными или газотурбинными агрегатами.

Электрические станции такой мощности представляются достаточно эффективными, особенно в связи с внедрением концепции децентрализованного

регионального энергоснабжения.

Известно, что эффективная когенерация выравнивает значения КИТ, который практически зависит только от совершенства утилизационного оборудования и почти не зависит от эффективности теплового двигателя. Однако при принятии решений всегда следует учитывать, что получение высокопотенциальной (электрической) энергии является наиболее эффективным.

Дальнейшие исследования должны определить пути совершенствования рабочих процессов в турбопоршневых газовых ДВС с целью перераспределения тепловых балансов в сторону снижения тепла, отводимого с охлаждающими жидкостями, наддувочным воздухом и выпускными газами и увеличение доли полезной работы в цикле турбокомпаундного ДВС. В этой связи представляются перспективными работы, связанные с совершенствованием систем охлаждения наддувочного воздуха, которые призваны обеспечить рациональные параметры рабочего цикла ДВС. Снижение температуры наддувочного воздуха ниже значений, которые обеспечиваются сегодня традиционными системами, позволяет не только положительно влиять на перераспределение теплового баланса, но и существенно снизить теплонапряженность наиболее нагруженных деталей ДВС, а также снизить выбросы окислов азота с выпускными газами [7, 8, 9].

Выводы

1. Применение турбопоршневых газовых ДВС в составе тепловых электрических станций позволяет повысить их тепловую эффективность до 75 % и увеличить долю производимой высокопотенциальной энергии до 47...58 % в зависимости от типа и совершенства используемых двигателей.

2. Целесообразным является применение турбокомпаундных газовых ДВС с развитой системой комплексной когенерации, в которых используются

все возможные источники вторичного тепла – охлаждающая вода, циркуляционное масло, наддувочный воздух и выпускные газы.

3. Резервом дальнейшего повышения эффективности является совершенствование систем воздухооборудования с целью снижения температуры наддувочного воздуха, перераспределения теплового баланса в сторону снижения количества тепла, отводимого двигателя и повышения доли энергии топлива, преобразованной в механическую работу.

Список литературы:

1. *Новости экономики и промышленности // Промышленные ведомости.* – 2003. – № 9 – 10. – С. 64 – 65.
2. Гильбо Е. *Экономика и энергетика России в условиях природных ограничений // Промышленные ведомости.* – 2003. – № 11 – 12. – С. 66 – 67.
3. Болдырев В. *Устойчивое развитие и экоэффективность мировой электроэнергетики // Промышленные ведомости.* – 2003. – №15 – 16. – С. 68 – 71.
4. *Project for Independent Power Supply 40 MW, Chibo, Japan. Project Guard. Tokyo, 2001.*
5. Herbert S., Winokur Jr. *Annual Report Pursuant for the Fiscal Year Ended December 31, 2003 of ENRON Corp., Pergamon Press, 2004.*
6. *Project for 2 x 100 MW barges with two 50 MW diesel engines in Mindanao, The Philippines. Project Guard. Manila, 2000.*
7. Мошенцев Ю.Л., Тимошевский Б.Г., Бао В.Д. *Охлаждение наддувочного воздуха с использованием воздушной холодильной машины // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць.* – Харків: ХАІ, 2001. – Вип. 23. – С. 90 – 92.
8. Мошенцев Ю.Л., Бао В.Д. *Влияние охлаждения наддувочного воздуха на рабочий цикл турбопоршневого двигателя // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць.* – Харків: ХАІ, 2002. – Вип. 30. – С. 33 – 36.
9. Тимошевский Б.Г., Мошенцев Ю.Л., Бао В.Д. *Повышение эффективности судового двигателя внутреннего сгорания путем совершенствования системы воздухооборудования // Український державний морський технічний університет: Зб. наук. праць.* – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – № 2 (388). – С. 67 – 75.