

**В. В. Виноградов, В. В. Кондратьев, А. Н. Орберг,  
Б. В. Сударев, В. Б. Сударев – ЗАО «ОРМА»**

Известно, что при внедрении утилизаторов теплоты в системы, обслуживающие приводы различных энергетических установок – электрогенераторов, нагнетателей природного газа и т. д. – необходимо минимизировать их негативное воздействие на сам привод. В статье приведены некоторые технические решения в этом направлении.

## Утилизаторы теплоты выпускных газов поршневых двигателей и газовых турбин

**Э**кономия энергетических ресурсов – главная задача энергетики России. Это связано с ростом дефицита энергии, резким сокращением инвестиций, износом действующего оборудования, существенным снижением его надежности [1]. В связи с этим основным направлением развития отрасли на ближайшие годы должно стать рациональное сочетание централизованного и автономного производства энергии. В отдельных регионах страны целе-

сообразно создавать местные энергогенерирующие объекты с использованием энергосберегающих технологий, которые обеспечат как автономную, так и параллельную работу с региональными энергосистемами [2].

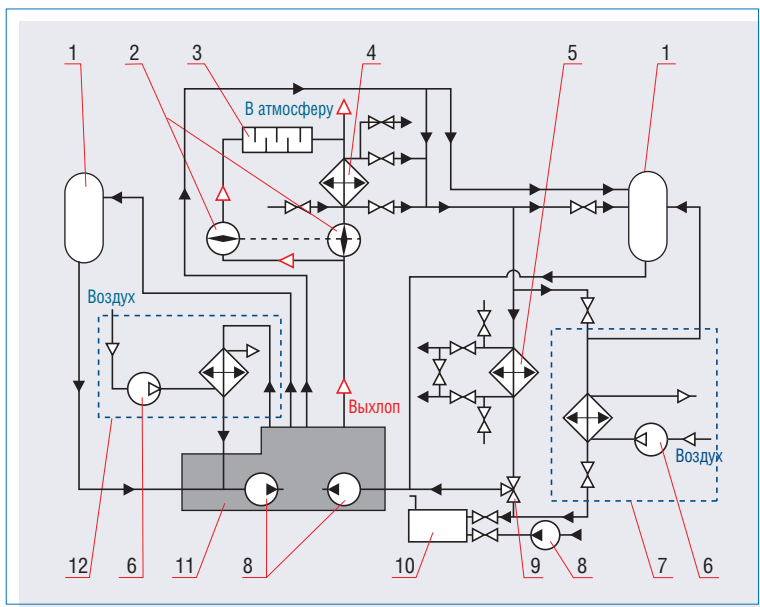
Согласно расчетам [3], применение малых энергетических объектов на базе ДВС, ГТУ и/или ПГУ экономически оправдано – они не требуют привлечения крупных инвестиций и имеют быструю окупаемость. Эта тенденция нашла, например, отражение в программе Газпрома по строительству собственных электростанций и энергоустановок [2, 7].

Выбор тепловых схем и состава оборудования объектов малой энергетики определяется не только термодинамическим анализом, но и экономическими показателями – величиной капитальных вложений, графиком нагрузок, удельным расходом теплоты на замещающих конденсационных электростанциях и т. д. [4].

Малая энергетика, по данным Минэнерго России, это более 50 тысяч различных, преимущественно дизельных электростанций суммарной мощностью 17...18 млн кВт, что составляет 8% общей мощности всех электростанций.

Единичная мощность малых источников тепловой энергии не превышает 5 Гкал/ч (4,3 МВт). Таких объектов около 200 тысяч, и на их долю приходится более четверти производства тепла. Они обеспечивают энергией более половины территории России, не имеющей централизованного теплоснабжения [5]. Несмотря на очевидное преимущество комбинированной выработки энергии на малых ТЭЦ, ее производство по-прежнему осуществляется раздельно. В результате потребность в топливе увеличивается в полтора раза [6].

Рис. 1.  
Принципиальная  
схема утилизации  
теплоты рабочих  
сред ДЭС



- 1 – бак расширительный;
- 2 – клапан регулировочный;
- 3 – глушитель;
- 4 – утилизатор-2 (ТА «газ-жидкость»);
- 5 – утилизатор-1 (ТА «жидкость-жидкость»);
- 6 – вентилятор;
- 7 – блок воздушного охлаждения (БВО) высокотемпературный;

- 8 – насос двигателя штатный;
- 9 – регулятор температуры охлаждающей жидкости;
- 10 – приемный бак тосола;
- 11 – ДВС;
- 12 – БВО низкотемпературный.

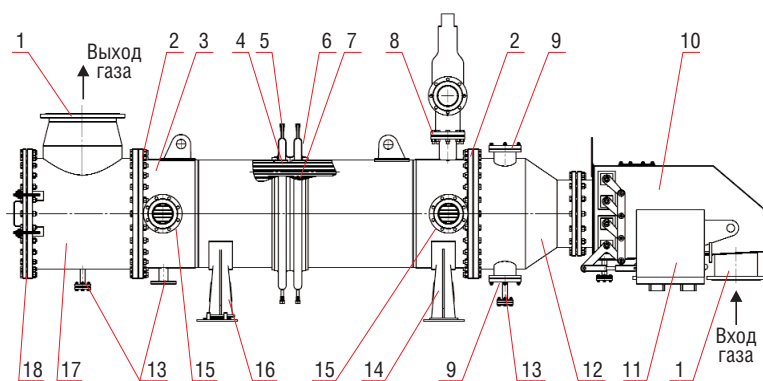
Во многих случаях теплоснабжение может быть обеспечено от утилизационных устройств ДЭС и ГТУ. Системы утилизации теплоты выпускных газов и воды, охлаждающей главный двигатель и дизель-генератор, давно применяются в энергоустановках на судах морского флота [8]. Этот опыт успешно используется при создании малых теплоэлектростанций, особенно в блочно-контейнерном исполнении, где необходимо обеспечить высокую компактность теплообменного оборудования. Дизельные и газопоршневые электростанции размещаются в контейнерах. Их можно использовать как в районах Крайнего Севера, так и в условиях пустыни. Такие электростанции готовы к эксплуатации и требуют лишь фундамента упрощенной конструкции.

При комбинированном производстве энергии (когенерации) в состав теплообменного оборудования электростанции входят дополнительные теплообменные аппараты (ТА), утилизирующие теплоту выпускных газов двигателя (ТА «газ-жидкость») и теплоту жидкости, охлаждающей двигатель (ТА «жидкость-жидкость»). Принципиальная тепловая схема утилизации теплоты рабочих сред ДЭС приведена на рис. 1.

Видно, что дополнительные ТА (п.п. 4, 5) внедрены в газоотводную и охлаждающую систему двигателя внутреннего сгорания. Поэтому их теплогидравлические характеристики должны быть так «увязаны» с основной функцией двигателя, чтобы при эксплуатации не оказывать негативного воздействия на его надежность. Условия работы теплообменных аппаратов существенно отличаются: первый ТА (5) эксплуатируется при сравнительно низких температурах теплоносителей; второй (4) – не только при их более высокой температуре, но и при условии возможного загрязнения поверхности теплообмена частицами сажи.

В связи с этим при создании утилизационных ТА учитываются тип и мощность двигателя, вид топлива, расход масла на угар, параметры рабочих сред, габаритные размеры газоходов, условия эксплуатации и т. д.

Газожидкостные теплообменные аппараты дизельных электростанций сравнительно небольшой мощности (до 1 МВт) могут выполняться кожухотрубчатыми (рис. 2). Несмотря на низкое избыточное давление, выхлопные газы направляются внутрь прямых гладких труб, а нагреваемый теплоноситель (тосол или техническая вода) движется продольно – поперечным потоком в межтрубном пространстве. При таком исполнении ТА для компенсации различия в термических расширениях труб матрицы (7) и корпуса (3) теплообменника используют линзовые (6) или сильфонные компенсато-



- |   |  |
|---|--|
| 1, 15 – газовые и жидкостные патрубки;  | 9, 18 – съемные крышки;  |
| 2 – трубные доски;  | 10 – газовая камера с регулирующими клапанами (заслонками) жалюзийного типа; |
| 3 – корпус;   | 11 – МЗО;  |
| 4 – защитный стакан;  | 12, 17 – приемная и выпускная газовые камеры;                                |
| 5, 8, 13 – патрубки для присоединения воздушных, предохранительного и дренажных клапанов; | 14, 16 – опоры неподвижная и подвижная.                                      |
| 6 – линзовый компенсатор;   |  |
| 7 – трубная матрица;  |  |

ры. Их размещают на корпусе теплообменника, защитный стакан (4) практически исключает изменение структуры потока жидкости в межтрубном пространстве.

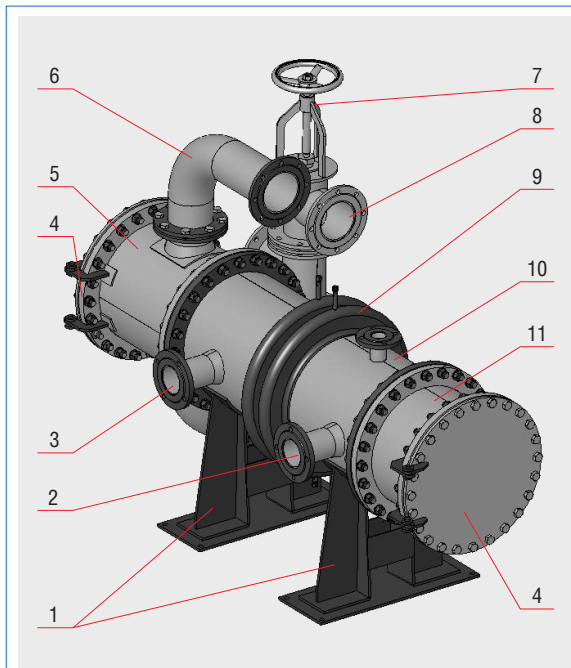
Выхлопные газы ДВС содержат липкие частицы сажи и/или несгоревшего смазочного масла. Они образуют на стенках труб пористые низкотеплопроводные отложения, существенно снижающие тепловую мощность утилизатора и увеличивающие аэродинамическое сопротивление его газового тракта. После механической очистки внутренней поверхности труб полностью восстанавливаются его исходные показатели. Наличие в конструкции ТА съемных крышек (9, 18) приемной и выпускной камер (12, 17) значительно упрощает процесс очистки. Необходимость периодической чистки определяется по показаниям термодатчиков, установленных на подводящих и отводящих жидкостных (15) и газовых (1) патрубках.

Газоводяные утилизаторы могут быть введены в действие и остановлены при работающем двигателе. Повышение давления в межтрубном пространстве в результате частичного парообразования устраняется сбросом пара через предохранительный клапан при повышении давления жидкости более чем на 5% от номинала. При использовании тосола предусматривается быстрое опорожнение и заполнение межтрубного пространства, что практически исключает нагарообразование, которое появляется при температуре стенки трубки более 170 °С.

Утилизатор через газовую камеру (10) присоединен к ДВС параллельно байпасному газовому трубопроводу. По общему газоходу газ сбрасывается в дымовую трубу. Регулирование тепловой мощности ТА осуществляется автома-

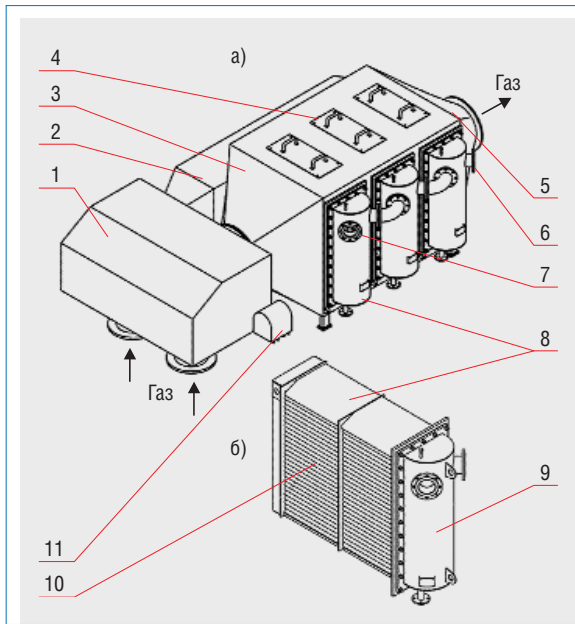
Рис. 2.  
Кожухотрубчатый ТА типа УТД-650 (для дизельной электростанции /двигатель марки 12V4000G21E/ – ОАО «Звезда - Энергетика»)

➤ Рис. 3.  
Кожухотрубчатый  
утилизатор  
со смешанной  
схемой течения  
газа тепловой  
мощностью  
200 кВт



- 1 – опоры;
- 2, 3 – патрубки подвода/отвода жидкости;
- 4 – откидные крышки камер;
- 5, 11 – приемная и поворотная газовые камеры;
- 6, 8 – отводящие газовые патрубки (к дымовой трубе и глушителю);
- 7 – регулирующий газовый клапан;
- 9 – линзовый компенсатор;
- 10 – теплообменная секция.

➤ Рис. 4.  
Общий вид  
модульного  
утилизатора (а)  
(ГПУ с ДВС типа  
16V-AT27GL)  
и типового  
теплообменного  
модуля (б)



- 1 – газовая камера с регулирующими шиберами;
- 2 – байпасный канал;
- 3, 5 / 6, 7 – газовые/ жидкостные патрубки (приемный и выпускной);
- 4 – модульная секция;
- 8 – типовый пакет;
- 9 – водяной коллектор;
- 10 – ребристые U-образные трубы;
- 11 – МЭО.

тически с помощью однооборотного электрического механизма (МЭО). Блокировка заслонок удобообтекаемой формы, установленных в газовой камере (10) перед ТА и байпасным каналом, исключает их одновременное закрытие. Опоры валов поворотных заслонок (шиберов), выполненные из антифрикционного материала, не требующего периодической смазки, вынесены из газохода и не омываются высокотемпературным газовым потоком.

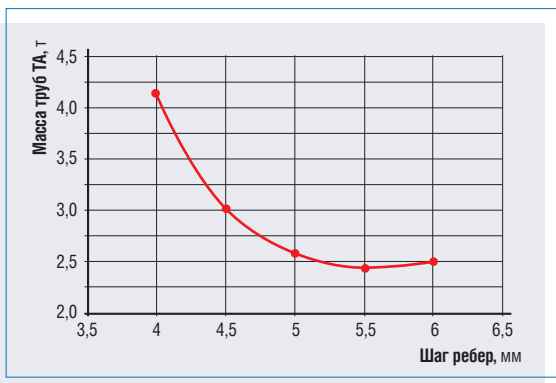
Существенно уменьшить продольный габарит утилизатора (если позволяет аэродинамическое сопротивление газового тракта двигателя) можно за счет применения двухходовой схемы течения выпускных газов в трубах теплообменника. Компактный утилизатор со смешанной схемой течения газа представлен на рис. 3.

Все эти технические решения направлены на повышение компактности ТА, реализации его компоновки в ограниченном пространстве контейнера или ангара, упрощение обслуживания при эксплуатации.

Утилизаторы, входящие в состав газотурбинных и/или газопоршневых установок, имеющих относительно «чистые» выпускные газы (с малым содержанием частиц сажи), выполняются по обращенной тепловой схеме. При этом жидкость высокого давления движется внутри труб, а выпускные газы обтекают их наружную поверхность. С целью повышения компактности и снижения металлоемкости теплообменных аппаратов (особенно при высокой тепловой мощности) внешнюю поверхность труб увеличивают за счет поперечного спирального оребрения [8, 9]. Такой теплообменник (тепловая мощность 2 200 кВт) представлен на рис. 4. Он предназначен для эксплуатации в составе мощной газопоршневой установки и выполнен из ряда типовых трубчатых компактных пакетов (модулей), размещенных в газовом тракте ДВС.

Модули ТА соединены последовательно по жидкостному тракту, в каждом из них осуществляется 4-ходовое течение нагреваемой среды. Модули – выкатные, имеют съемные крышки водяных коллекторов. Это позволяет осуществлять периодический осмотр, чистку как внутренней, так и наружной поверхности труб, а при необходимости – ремонт или замену модуля запасным.

Кроме того, с целью продления срока службы теплообменника возможна замена модулей в тракте газохода. Она является целесообразной, так как отдельные модули находятся в разных температурных условиях: первый – при высокой температуре газа; последний по газовому тракту – при низкой (особенно при работе на пониженных нагрузках двигателя или при низких температурах наружного воздуха). В этих условиях на наружной поверхности труб воз-



можно конденсация водяных паров, содержащихся в выхлопных газах, и как следствие — коррозионный износ труб. Своевременная перестановка «холодных» и «горячих» модулей будет способствовать увеличению ресурса ТА в целом.

Оребрение труб с газовой стороны повышает компактность ТА, но при этом затрудняет его периодическую чистку. Применяя при расчете параметров оребрения рекомендации нормативного метода [10], можно выбрать оптимальный («негустой») шаг ребер (рис. 5). Это обеспечит более длительный период между чистками и упростит процесс очистки внешней поверхности труб. Из расчетов видно, что повышение «густоты» оребрения не приводит к снижению общей массы труб, необходимых для изготовления теплообменной матрицы ТА. Существует оптимальное значение шага ребер: применительно к рассматриваемому теплообменному аппарату оно составляет 5,5 мм.

Утилизаторы (жидкость-жидкость) низкопотенциальной теплоты охлаждающих двигатель сред громоздки и металлоемки, несмотря на высокие коэффициенты теплоотдачи в трактах. Это обусловлено малым температурным напором между теплоносителями, обменивающимися теплотой. Повысить их компактность можно за счет использования теплообменных аппаратов пластинчатого типа с малыми гидравлическими диаметрами каналов обоих трактов. Такое техническое решение вполне приемлемо для относительно «чистых» теплоносителей. Если же в качестве нагреваемой среды используется техническая вода, то при эксплуатации неизбежны проблемы, связанные с загрязнением (химическая очистка и ремонт ТА). Поэтому и в этом случае целесообразно применение более надежных и ремонтпригодных рекуперативных теплообменников трубчатого типа.

В заключение можно сделать выводы:

1. Утилизаторы теплоты выпускных газов ДЭС мощностью до 1 МВт целесообразно выполнять в виде кожухотрубчатых ТА с одно- или двухходовым потоком газа, с матрицей из прямых гладких труб, со съёмными крышка-

ми газовых камер, которые позволяют производить механическую очистку внутренней поверхности труб от «сажистых» отложений.

- Для эксплуатации в составе ГТУ, ГПУ и ДЭС (мощностью более 1 МВт) применимы утилизаторы обращенной схемы модульной конструкции, типовые теплообменные пакеты которых выполнены из U-образных труб с наружным спиральным оребрением.
- Оптимизация параметров оребрения с целью снижения металлоемкости ТА может быть выполнена при использовании рекомендаций нормативного метода теплового расчета котлов [10]. ■

**ЗАО «ОРМА»**

**195274, Санкт-Петербург, пр. Просвещения, д. 53/1**

**Тел./факс +7 (812) 334-55-60**

**www.orma.ru**

#### Использованная литература

- Масленников В.М. Проблемы развития энергетики России./Теплоэнергетика (ТЭ). 2003, №9. С. 22-25.
- Фаворский О.Н., Леонтьев А. И., Федоров В.А., Мильман О.О. Эффективные технологии производства электрической и тепловой энергии с использованием органического топлива./ТЭ. 2003, №9. С. 19-21.
- Хрилев Л.С. Основные направления и эффективность развития теплофикации./ТЭ. 1998, №4. С. 2-11.
- Боровиков В.М., Зысин Л.В. Основные направления развития мини-ТЭЦ на основе современных парогазовых технологий./Известия АН «Энергетика». 2001, №1. С. 100-105.
- Кривов В.Г. Проблемы отечественной и мировой энергетики./Проблемы энергетики Северо-Западного региона./Инф. бюллетень. 2006, №1. С. 23-26.
- Хазова Е.В., Чистович С.А. Энергоэффективное пространственное развитие территории./Проблемы энергетики Северо-Западного региона./Инф. бюллетень. 2005, №3/4. С. 9-12
- Винниченко Н.В., Ларин Е. А., Долотовский И. В., Мигачева Л. А. Потенциал энергосбережения газоперерабатывающих предприятий./Газовая промышленность. 2006, №6. С. 77-80.
- Маслов В.В. Утилизация теплоты судовых дизелей. М.: Транспорт. 1990. 144 с.
- Виноградов В.В., Орберг А.Н., Сударев В.Б., Третьяков С.И. Утилизационные теплообменники приводов нагнетателей и электрогенераторов./Газотурбинные технологии. 2006, май-июнь. С. 29-31.
- Тепловой расчет котлов (нормативный метод)/Под редакцией Мочана С.И., Абрютин А.А., Каган Г.М., Назаренко В.С./3-е издание, 1998. 257 с.

**Рис. 5.**  
**Влияние шага ребер на металлоемкость компактного утилизатора тепловой мощностью 2,2 МВт**