

ный метод позволяет отказаться от демонтажа форсунок с двигателя и использования горючих жидкостей при проверке, что повышает экологическую и пожарную безопасность проведения работ и снижает их себестоимость.

Стенд дает возможность подбирать комплекты новых форсунок по сходству характеристик, например, для формирования комплектов форсунок при продаже и установке на двигатель.

Анализ приведенных графиков показывает, что выбранный способ оценки и сравнения производительности форсунок позволяет достаточно уверенно различать качество форсунок. Точность оценки производительности форсунок достижима менее 1%, что позволяет видеть различие между новыми, не бывшими в употреблении, форсунками.

Анализируя режимы работы форсунок, приходим к выводу, что проверку производительности целесообразно проводить при подаче коротких (длительностью 1...20 мс) открывающих импульсов. При

этом уменьшается вероятность перегрева обмоток форсунок.

Список литературы:

1. Система управления двигателем ВАЗ-2112 с распределенным последовательным впрыском топлива. – СПб: ПетерГранд, 2002. – 112 с.
2. Патент України № 47908 А. Спосіб відновлення продуктивності електромагнітних форсунок двигунів внутрішнього згоряння / В.В. Трусеньов // Бюл. винах. – 2002. – № 8, 15.07.
3. Патент России № 2189488. Способ и устройство для регулировки и/или контроля клапанов / Э. Шеффель, И. Зайдель // Бюл. изобрет. – 2002. – №28, 20.09.
4. А.с. СССР № 92016028. Способ испытания и комплектования распылителя форсунки по эффективному проходному сечению / В.И. Хавкин и др. // Бюл. изобрет. – 1995. – №5, 27.01.
5. Критерий балансировки электромагнитных форсунок в ДВС / В.И. Шевченко, А.С. Кулик, В.В. Лопатин // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т. 43. Вип. 30. Техногенна безпека. - Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2005. – с 102-104.

УДК 662.614.2.002.8:621.431.74

А.А. Андреев, канд техн. наук

УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ СУДОВЫХ ДВС

Введение

Одним из основных направлений энергосбережения на водном транспорте является утилизация вторичных тепловых ресурсов судовых главных двигателей, преобладающее большинство которых являются двигателями внутреннего сгорания.

На сегодняшний день отработаны технические решения по использованию теплоты отходящих газов судовых ДВС для получения в котле-утилизаторе (КУ) водяного пара или нагрева в утилизационном

теплообменнике специального масла (термальной жидкости). В дальнейшем ими подогревают топливо, груз и т.д., а водяной пар также расширяют в турбогенераторе для выработки электроэнергии. Другой же источник вторичной теплоты – система водяного охлаждения ДВС – практически не используется. Это вызвано тем, что низкий тепловой потенциал этой системы делает неэффективными утилизационные установки (УУ) с водой как рабочим телом.

1. Формулирование проблемы

Перспективным является применение низкокипящих рабочих тел (НРТ), имеющих, как правило, органическую основу [1, 2 и др.]. Кроме отсутствия вакуума в УУ, меньших габаритов и более высоких значений КПД турбомашин, преимуществами НРТ являются: возможность использования прямоточного котла, упрощающего УУ; отсутствие коррозии элементов УУ и эрозии лопаток турбины; низкая частота вращения турбины. Если для водяного пара из-за вакуума температура конденсации поддерживается не ниже 30 С, то для НРТ возможно снижение этой температуры (в холодное время года; при плавании в высоких широтах), что увеличивает полезную работу цикла. Большое количество природных и синтезированных НРТ, термодинамические и теплофизические свойства, которых в зависимости от химической формулы изменяются в значительных диапазонах, позволяет подобрать вещество, обладающее наиболее подходящими эксплуатационными характеристиками для любой теплоэнергетической установки.

Целью данной работы является обоснование и анализ основных перспективных направлений утилизации низкопотенциальных вторичных тепловых ресурсов судовых ДВС, комплексная оценка их энергоэффективности, а также формулирование задач дальнейших исследований.

2. Решение проблемы

Для оценки перспективности реализации в судовых условиях УУ на НРТ были просчитаны их показатели. Свойства НРТ в узловых точках циклов определялись с помощью информационно-вычислительного комплекса "Tersvo", позволяющего моделировать свойства 70 различных веществ во всех фазовых состояниях. В его основе лежит ряд теоретических и аналитических зависимостей, в первую очередь уравнение состояния вещества Лидера-Эдмистера.

Рассматривался среднеоборотный дизель марки 6L46-B фирмы "Wartsila-NSD" мощностью $N_e=5850$

кВт [3]. Источником теплоты для УУ предусматривался высокотемпературный контур системы охлаждения пресной водой. Тепловая нагрузка на КУ (1630 кВт) и температуры воды системы охлаждения на входе и выходе из КУ (соответственно 91 С и 74°C) принимались по данным фирменных каталогов. Температура кипения НРТ в КУ задавалась равной 70 С, а температура перегретых паров хладона на выходе из КУ 80°C. Здесь и далее расчет производился для работы дизеля на номинальных режимах нагрузки. Принимались следующие допущения: не учитываются гидравлические потери как в теплообменных аппаратах, так и в соединительных трубопроводах; отсутствуют потери теплоты в окружающую среду в теплообменных аппаратах, трубопроводах и других элементах УУ; рабочий агент является абсолютно чистым веществом без примесей. Задавались следующие внешние и внутренние параметры работы УУ: температура забортной воды 30 С (летний режим для неограниченного района плавания судна как самый неблагоприятный в отношении утилизации вторичных тепловых ресурсов); температура конденсации НРТ 35 С; КПД насоса НРТ 0,6; внутренний КПД турбины 0,82.

Расчет показал, что УУ обеспечивает выработку полезной мощности до 150 кВт. КПД установки для хладона R143a составляет 0,100 по сравнению с 0,08 для водяного пара. Комплексная утилизация вторичной теплоты ДВС, обоснованные выбор схемы УУ и НРТ, а также оптимизация ее режимных параметров позволяют увеличить этот показатель.

Возможно также использование теплоты, отводимой от ДВС системой водяного охлаждения, для генерирования водяного пара необходимого давления в теплонасосных паропроизводящих установках (ТНПУ). Это направление утилизации низкопотенциальных вторичных тепловых ресурсов ДВС привлекало внимание специалистов и ранее [4, 5], но на сегодняшний день наиболее подробно рассмотрено в

работе [6], подтверждающей техническую возможность и целесообразность внедрения ТНПУ в судовой энергетике. Расчет такой установки для танкера водоизмещением 35970т с малооборотным дизелем марки 5RTA58Г–В фирмы "Wartsila-NSD" мощностью 10625 кВт (см. рис. 1) показал, что ТНПУ обеспечивает водяным паром необходимых параметров всех потребителей на ходовом режиме в теплой зоне плавания.

УУ работает следующим образом. Рабочий агент ТНПУ кипит в испарителе *И*, отбирая низкопотенциальную теплоту системы охлаждения двигателя. Далее он сжимается до промежуточного давления в компрессоре первой ступени *Км1* и разделяется на два потока. Первый поток конденсируется в конденсаторе *Кд1*, который является генератором водяного пара давлением 0,3 МПа, и в жидком состоянии поступает в промежуточный сосуд *ПС*. Туда же подается второй поток пара НРТ промежуточного давления после компрессора *Км1*. Из промежуточного сосуда *ПС* пар поступает на всасывание в компрессор второй ступени *Км2*. После сжатия в нем НРТ конденсируется в конденсаторе *Кд2*, который является генератором водяного пара давлением 0,5 МПа. Далее жидкий НРТ высокого давления охлаждается в змеевике промежуточного сосуда *ПС*, дросселируется в дроссельном клапане *ДК* и снова при низком давлении подается в испаритель *И*.

Согласно выполненным расчетам при утилизации в испарителе ТНПУ 3605 кВт теплоты охлаждающей пресной воды, имеющей температуру на входе и выходе из испарителя 85 и 70 С соответственно, расходы водяного пара составят 364 кг/ч (0,3 МПа) и более 7200 кг/ч (0,5 МПа). Коэффициент преобразования цикла, равный отношению суммарной затраченной на генерацию водяного пара теплоты к общей мощности приводов компрессоров, для хладагона R30 составляет 2,70 [6].

Для этого НРТ были выполнены конструктивные проработки основных элементов ТНПУ: кожухотрубного испарителя, конденсатора специальной компоновки, центробежного компрессора и промежуточного сосуда. Были получены приемлемые массогабаритные показатели этих машин и аппаратов, позволяющие смонтировать их в машинно-котельном отделении судна с соблюдением требований морских классификационных обществ.

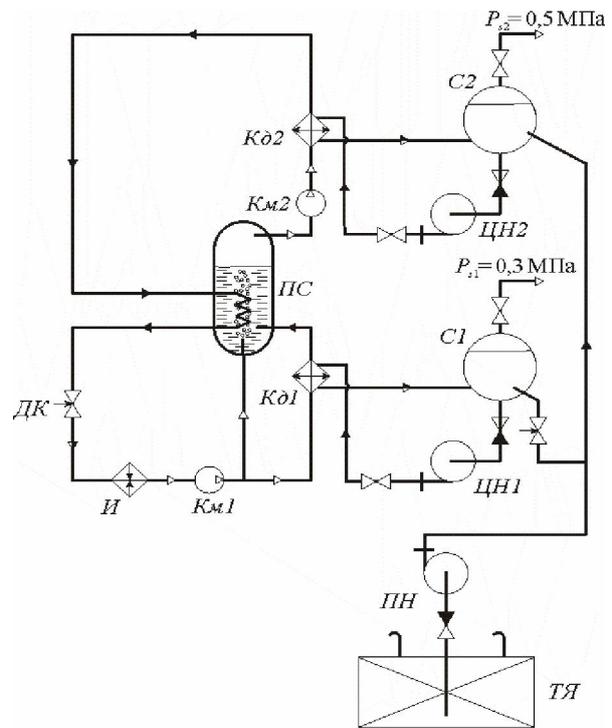


Рис. 1. Принципиальная схема теплонасосной паропроизводящей установки двух давлений (цифры 1 и 2 в конце обозначений соответствуют аппаратам первой и второй ступеней)

Кроме выработки водяного пара тепловой насос может использоваться как дополнительный контур к силовой УУ для возврата части теплоты, отдаваемой ранее НРТ забортной воде в конденсаторе, но уже на более высоком температурном уровне (см. рис. 2). В такой схеме парожидкостная смесь рабочего агента силового контура *I* УУ доиспаряется и перегревается в утилизационном теплообменнике *УТ*, откуда пар поступает на расширение в турбину *Т*. Вырабаты-

ваемая турбиной мощность расходуется на производство электроэнергии в электрогенераторе ЭГ. После турбины пар охлаждается и частично конденсируется в регенеративном теплообменнике *PTO1*, отдавая свою теплоту НРТ теплонасосного контура *II*. Далее рабочий агент силовой части установки полностью конденсируется в конденсаторе *Кд* и нагнетается насосом *ХН* в регенеративный теплообменник *PTO2*, где частично выкипает за счет теплоты, подводимой к нему от рабочего агента теплонасосного контура. НРТ теплонасосной части участвует в следующих процессах: сжимается в компрессоре *Км*, конденсируется в регенеративном теплообменнике *PTO2*, дросселируется в дроссельном клапане *ДК*, испаряется в регенеративном теплообменнике *PTO1* и снова поступает в компрессор *Км*. Целесообразна идентичность НРТ силового и теплонасосного контуров установки, хотя это и не обязательно.

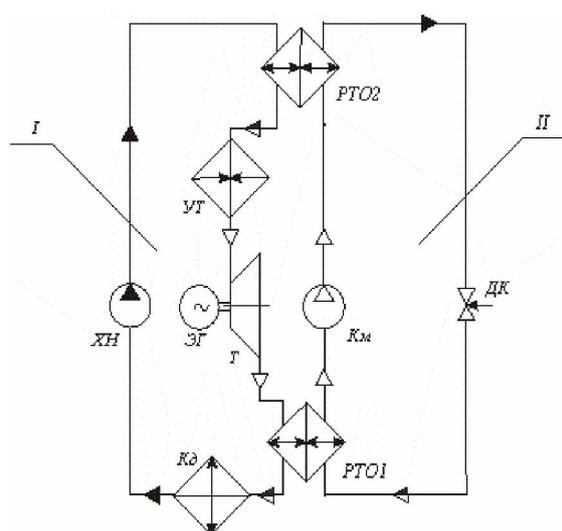


Рис. 2. Принципиальная схема совмещенных силовой и теплонасосной установок утилизации низкопотенциальной теплоты ДВС

Анализ этой схемы совместной работы силовой УУ и теплового насоса показал, что общий КПД процесса утилизации низкопотенциальной теплоты ДВС может быть повышен в 1,4...1,5 раз [7]. Это

указывает на перспективность более детального изучения такой схемы работы УУ, проведения многовариантных оптимизационных расчетов, тем более, что возможны дальнейшие пути улучшения ее термодинамических показателей: выбор НРТ с наиболее благоприятными термодинамическими свойствами как для силового, так и для теплонасосного контуров установки; нахождение оптимальных значений отношения расходов в обоих контурах и, как следствие, теплового потенциала рабочего агента силового контура установки на выходе из регенеративного теплообменника *PTO2*; использование внутренней регенерации теплоты как в силовом, так и теплонасосном контурах УУ.

Рассмотренные направления утилизации вторичных тепловых ресурсов ДВС перспективны для крупных судов, на которых установлены главные двигатели повышенной мощности. Использование таких установок на малотоннажных судах нецелесообразно вследствие малых количеств вторичной теплоты, ограничений массогабаритного характера, невозможности обеспечить необходимое обслуживание и профилактический ремонт. Для таких потребителей целесообразно применять термоэлектрические преобразователи тепловой энергии в электрическую – термоэлектрические генераторы (ТЭГ), которые обладают преимуществами перед другими источниками электропитания: высокая надежность, длительный срок службы и неограниченный срок хранения при полной готовности к работе в любое время; просты в эксплуатации и не требуют специального обслуживания; устойчивы в работе; дают стабильное напряжение; не боятся короткого замыкания и режима холостого хода. Они экологически безопасны, так как не содержат никаких рабочих (химических) агентов. Ввиду отсутствия движущихся частей, ТЭГ полностью бесшумны в работе. Характеристики термоэлектрических генераторов наиболее полно удовлетворяют особенностям конструкции и эксплуатации

малотоннажных судов, составу их энергетической установки: термоэлектрические батареи вырабатывают постоянный ток, что соответствует основному питающему току для большинства маломерных судов и яхт (нет необходимости в установке преобразователя тока); поскольку ТЭГ не имеют движущихся частей, они работают при любой ориентации в пространстве, т.е. не подвержены влиянию качки; так как все элементы термоэлектрической установки расположены в тесной близости, то ее конструкция получается достаточно компактной, что крайне важно для маломерного судостроения с его массогабаритными ограничениями.

ТЭГ на судне могут быть источниками зарядки аккумуляторов, служить для электропитания широкого спектра радионавигационного оборудования и бытовых приборов, использоваться для освещения (в том числе аварийного). Наиболее перспективно использовать ТЭГ в комплексе с термоэлектрическими охлаждающими устройствами (кондиционерами, холодильниками), которые на данный момент находят все более широкое применение в малотоннажном судостроении.

Технология производства ТЭГ на современном этапе достаточно отработана. Созданы и подтвердили свою эффективность термоэлектрические преобразователи для температур, характерных для вторичных тепловых ресурсов ДВС, например, трубчатые термоэлектрические модули в геотермальных электростанциях малой мощности [9].

Основным препятствием внедрения ТЭГ является невысокие значения КПД (не более 2,5 % при температуре горячего спая 150°C). Перспективы в этой области связывают с созданием более эффективных материалов. Так, по сообщениям сотрудников Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе при РАН создан термоэлектрический преобразователь на основе редкоземельных полупроводников SmS (сульфид самария), экспериментально определенный

КПД которого был равен 47 % при рабочей температуре 150 С.

Наряду с поисками высокоэффективных термоэлектриков следует тщательно проанализировать возможности ТЭГ судового исполнения, уточнить области их использования, определить оптимальные режимные и конструктивные параметры.

Заключение

Проведенный анализ основных направлений утилизации низкопотенциальной вторичной теплоты ДВС позволил сформулировать следующие выводы:

повышение энергоэффективности судовых дизельных установок невозможно без комплексной утилизации их вторичных тепловых ресурсов;

в утилизационных установках целесообразно применять низкокипящие рабочие тела, имеющие для рассматриваемого диапазона температур лучшие энергетические и эксплуатационные показатели;

для выработки водяного пара требуемых давлений эффективными являются теплоиспользующие-тепло насосные паропроизводящие установки;

заслуживает внимания вариант совместного использования утилизационных силовой и теплонасосной установок, что повышает общий КПД использования вторичной теплоты в 1,5 раз;

для малотоннажных судов утилизация вторичной теплоты ДВС может быть реализована с помощью термоэлектрических преобразователей, которые для данного типа судов имеют неоспоримые преимущества перед другими типами источников электропитания; положительные качества таких генераторов особенно ярко проявляются при использовании их в комплексе с термоэлектрическим охлаждающими устройствами.

Список литературы:

1. Билека Б.Д., Васильев Е.П. Низкокипящие вещества для работы в качестве рабочих тел в тепло утилизирующих энергоустановках на ком-

прессорных станциях магистральных газопроводов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2003. – вип. 7(42). – С. 33-35. 2. Марченко А.П. Термодинамические основы повышения топливной экономичности транспортных дизелей за счет утилизации сбросной теплоты: Дисс. ... докт. техн. наук: 05.04.02 / Харьковский политехн. институт. – Харьков, 1994. – 328 с. 3. Смагин Д.Н. Перспективы применения низкокипящих жидкостей для глубокой утилизации теплоты в судовых дизельных энергетических установках // *Зб. наук. пр. УДМТУ*. – 2003 – №5 (391). – С.66-75. 4. Радченко Н.И. Использование тепла охлаждающей судовые ДВС воды для производства пара теплонасосными установками // *Зб. наук. пр. УДМТУ*. – 1999. – №6 (366). – С.144-149. 5. Селиверстов В.М. Утилизация тепла в судовых ди-

зельных установках. – Л.: Судостроение, 1973. – 256 с. 6. Оценка эффективности утилизации теплоты судовых главных дизелей теплонасосными паропроизводящими установками /Ю.В. Захаров, А.А. Андреев, И.В. Калинин, В.И. Максимов // *Зб. наук. пр. НУК*. – 2005. – №2 (401). – С.70-79. 7. Андреев А.А., Смагин Д.Н., Калинин И.В. Совершенствование схем утилизации низкопотенциальной теплоты судовых дизельных установок на основе низкокипящих жидкостей // *Зб. наук. пр. НУК*. – 2004. – №4 (397). – С.43- 48. 9. Карпов Г.А. Анализ применения термоэлектрических генераторов на геотермальных источниках // *Изучение и использование геотермальных ресурсов в вулканических областях*. – М.: Наука, 1979. – С.247-251.

УДК 621.43.068.4

П.М. Канило, д-р техн. наук, М.В. Шадрина, асп.

ЭКОЛОГОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВС С УЧЕТОМ КАНЦЕРОГЕННОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Введение

Автомобильный транспорт является основным потребителем нефтяных топлив и определяющим в экологохимическом загрязнении ОС, особенно атмосферы больших городов. Анализ уровней загрязненности атмосферы городов с интенсивным автомобильным движением показал, что наиболее опасными (по степени вредности для человека) являются: NO_x , КУ и особенно их производные – нитроканцерогенные вещества, обладающие мутагенными свойствами. При этом основными носителями канцерогенов и нитроканцерогенов, причем существенно усиливающих их агрессивность (промотирующее воздействие), являются мелкодисперсные ТЧ, выбрасываемые с ОГ автомобильных ДВС [1].

Следует особо отметить, что при дизелизации легковых автомобилей проблема экологохимического загрязнения городской среды может усугубляться, так как в дизелях образуются более высокие уровни ТЧ, на которых канцерогенные вещества в основном сорбируются, что усиливает их канцерогенно-мутагенное воздействие на человека. Причем, канцерогенно-мутагенная агрессивность ТЧ зависит от их дисперсности и в наибольшей степени проявляется при условном диаметре частиц в диапазоне 0,2 – 1,0 мкм. В США была исследована мутагенная активность ТЧ, выбрасываемых с ОГ дизелей. Она оказалась (в расчете на километр пробега) в 6 раз выше, чем с бензиновыми двигателями [2].