

УДК 620.92

**Пересецкий Илья Леонидович**, старший эксперт, ФАУ «Российское Классификационное Общество», Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: ilya-paper@mail.ru

**Жуков Владимир Анатольевич**, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой судостроения и энергетических установок, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: kaf\_sdvs@gumrf.ru

## ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ТРАНСПОРТНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*Аннотация.* Обширные возможности использования тепловых насосов в силовых установках транспортных средств. В данной статье рассмотрены условия целесообразности применения тепловых насосов и возможные технические решения по их использованию. Так же варианты комбинированного применения комплекса систем и оборудования с участием тепловых насосов применяемых для повышения общего коэффициента энергоэффективности судна.

*Ключевые слова:* вторичные источники тепла, тепловой насос, суда.

Имея данные о мировом энергетическом обороте и стремление к сокращению выбросов парниковых газов при использовании углеводородов в центре внимания большинства судоходных организаций. В судоходстве преобладающим источником энергии является нефть и нефтепродукты, что делает энергосбережение и энергоэффективность одной из важных задач по снижению выбросов парниковых газов, что способствует достижению экономической выгоды. Большинство ведущих судоходных компаний имеющих инновационный взгляд на бедующее судоходство стремятся внедрить прогрессивные технологии в работу своего бизнеса и, в частности, непосредственно на свои суда для увеличения в дальнейшем маржинальности своей прибыли в конечном итоге. Другими словами, в процессе технического прогресса на пути человечества не раз возникали задачи необходимые в выборе правильных и быстрых решений по снижению затрат и получению наибольшей выгоды. Чем современной становились требования для их решений, тем меньше времени необходимо было для решения данных задач. Так и на примере применения установок, снижающих затраты и издержки на эксплуатацию судна в данном стечении времени, имеют место на свою реализацию. А в случае применения таких установок использованием тепловых насосов есть пути их развития.

Теоретические и организационные аспекты решения проблемы по повышению энергоэффективности уже существуют в какой-то степени и представлены в трудах Ерофеева В.Л., Жукова В.А. [1]. Термодинамические пределы повышения энергоэффективности тепловых двигателей определены в работах [2, 3].

На сегодняшний день следует отметить наиболее перспективным ресурсом повышения энергоэффективности использование вторичных энергетических ресурсов за счет рекуперации теплоты отработавших газов и охлаждающих жидкостей [4]. Однако допустимы ситуации, когда этот ресурс не может быть использован и в таком случае применимы ирные способы повышения энергоэффективности.

Простая оценка дизельного двигателя, где, например. 40-50 % энергии двигателя уходит на вал, примерно 25-30 % уйдет в виде тепла в выхлопных газах, а остальные (25-30 %) уйдут в виде тепла с охлаждающей водой, излучением и смазочным маслом.

Теоретически вся тепловая энергия, вырабатываемая на борту, может быть использована, но не все это может быть преобразовано в более пригодных для использования форм энергии, таких как механическая или электрическая, но ее можно использовать для увеличения механического или электрического усиления, или использовать для обогрева судовых помещений или получения горячей воды. Как показала практика по техническим и экономическим причинам – используется только тепло от выхлопных газов, и только в ограниченном количестве. Часть потока выхлопных газов двигателя может подаваться в турбину, которая, соединенная с коленчатым валом двигателя, обеспечивает некоторую дополнительную механическую мощность. В качестве альтернативы выхлопная турбина может быть подключена к электрическому генератору. Выхлопной газ также может быть направлен в котел, а пар из котла может быть использоваться в паровой турбине для выработки электроэнергии, а также может использоваться для других целей отопления. В некоторых случаях необходим дополнительный котел, который питается от сжигания топлива напрямую. В таком случае возможны к применению тепловые насосы, передающие тепло от забортной воды в котел для увеличения потенциального тепла перед котлом таким образом снижающее затраты на нагрев воды /пара в котле. Стоит отметить, что использование теплового насоса в большей степени вероятности приведет к отказу от применения в той или иной мере дополнительного или вспомогательного котла как на ходовом режиме и что особенно перспективно на стояночном режиме, каким образом указано в материалах [7]. Вследствие чего увеличивается потенциальная возможность снизить расход топлива и уменьшить карбоновый след оставляющие главные и вспомогательные установки СЭУ [5].

Известно, что при эксплуатации ДВС в условиях низких температур осложняется воспламенение топлива в цилиндрах, масло становится более вязким, что приводит к затрудненному пуску двигателя, продолжительному его прогреву до рабочей температуры, повышенному расходу топлива, интенсивному изнашиванию деталей двигателя, высокой токсичности и дымности отработавших газов ДВС.

Приведем обозначение самого теплового насоса. Это определенное устройство, которое переносит тепловую энергию от низкопотенциального источника тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю в данном случае, теплоносителю с более высокой температурой. Принято эффективность тепловых насосов описывать определенной величиной безразмерного коэффициента трансформации энергии  $K_{tr}$ , определяемого для идеального цикла Карно по следующей формуле:

$$K_{tr} = \frac{T_{out}}{T_{out} - T_{in}}$$

где  $T_{out}$  и  $T_{in}$  – температуры соответственно на выходе и на входе насоса;  $T_{out}$  – температурный потенциал тепла, отводимого в систему отопления или теплоснабжения;  $T_{in}$  – температурный потенциал источника;  $K_{tr}$  – коэффициент трансформации теплового насоса или теплонасосной системы теплоснабжения (ТСТ) [6].

Теорема Карно утверждает, что большие перепады температур - это потенциал высокой эффективности. Таким образом, источники горячей температуры весьма желательны в процессе превращения тепловой энергии в механическую энергию (работу).

В основном тепловые насосы, применяемые в транспортной энергетике, работают по принципу либо паровой компрессии, либо на основе абсорбционного цикла.

В теории, теплопередача осуществляется с помощью прочих термодинамических процессов и циклов. В основном эти циклы состоят из цикла Стирлинга и цикла Валмиера.

На практике тепловые насосы применяются в различных устройствах судна как в составе, так и как самостоятельное оборудование, генерирующее теплоту из разных низкопотенциальных источников.



На рисунке. 1 представлена схема внедрения теплового насоса совместно с аккумулятором тепла на судне проекта 82880 [7].

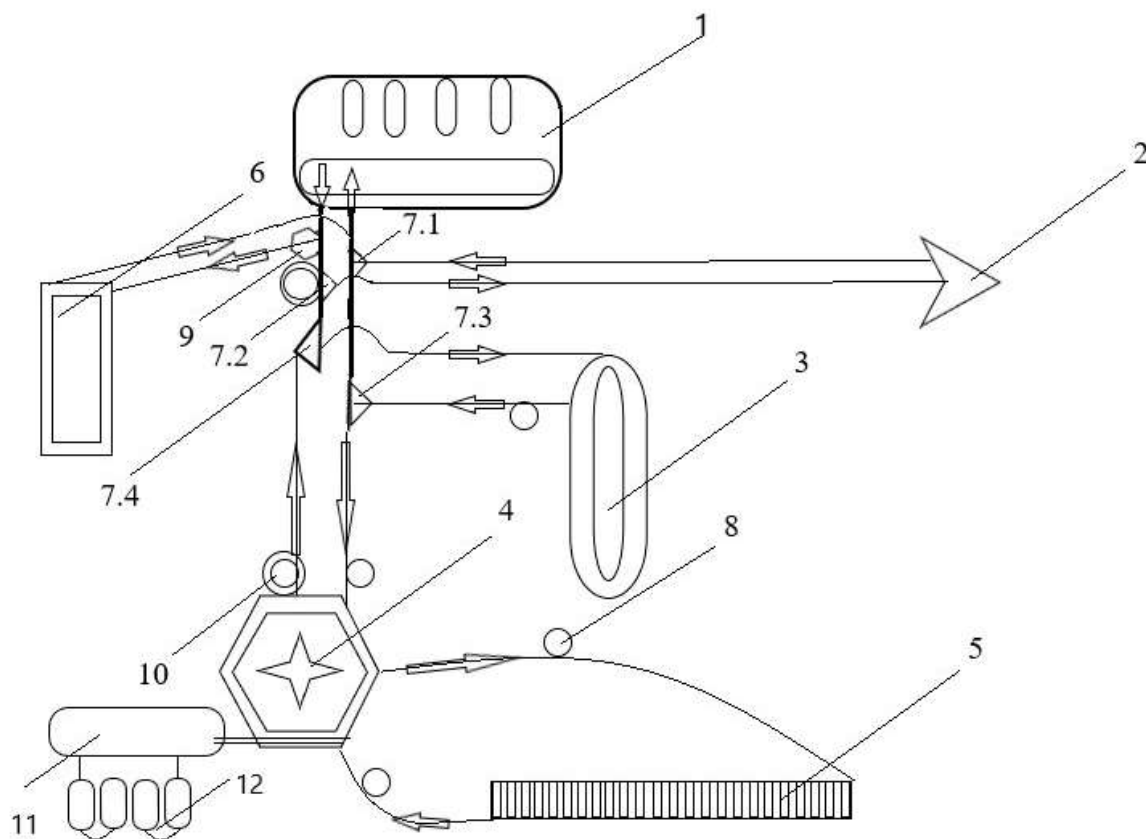


Рисунок 1 – Схема использования теплового насоса для генерирования теплоты на судне  
 1 – ДВС; 2 – судовые потребители тепловой энергии (отопление); 3 – аккумулятор теплоты; 4 – тепловой насос; 5 – теплообменный аппарат (бокскуллер); 6 – водо-водяной охладитель системы охлаждения ДВС; 7.1; 7.2; 7.3; 7.4 – трехходовые клапаны; 8 – термометр; 9 – термостат; 10 – дополнительный подкачивающий насос; 11 – инвертор 220/24; 12 – аккумуляторная группа 24В

Однако хочется отметить, что наибольший коэффициент полезного действия теплонасосной установки принесет именно использование ее в комплексе с оборудованием, позволяющимкратно увеличить его полезные свойства и сократить издержки на использование его.

К такому оборудованию можно отнести и систему, основанную на использовании теплоты, отводимой от двигателя через систему охлаждения в результате чего возможно ее аккумулировать, хранить и использовать в дальнейшем для нужд дизельного двигателя и судна в целом. Также рассматривается возможность использования дополнительно низкопотенциальной теплоты забортной воды, циркулирующей в системе охлаждения судового ДВС.

Обеспечить устойчивый запуск ДВС в условиях низких температур и поддержание заданного температурного режима с минимальными энергетическими затратами возможно с помощью теплового аккумулятора, который подключается последовательно в систему охлаждения ДВС и запаралелив его с тепловым насосом, питающий эту систему на стоянке либо при любой другой необходимости без привлечения для этого дополнительного сжигания топлива.

Устройство содержит три основных агрегата: тепловой насос, тепловой аккумулятор, теплообменный аппарат (бокскуллер). Тепловой насос представляет собой агрегат, предназначенный для выработки определенного количества теплоты в результате

совершаемой работы и имеющий собственный коэффициент полезного действия. Тепловой насос включается в замкнутую систему охлаждения двигателя и (или) в другую систему СЭУ (отопления, подогрева топлива, кондиционирования и т.д.). В результате происходит увеличение полезного использования теплового насоса для нужд судна без дополнительного сжигания топлива и без привлечения берегового источника питания [7]

Перспективы развития тепловых насосов и их в транспортную энергетику имеют большой потенциал в использовании на многих судах внутреннего плавания, а так же и на морских судах небольшого тоннажа.

#### Список литературы:

1. Ерофеев В.Л. Управление энергоэффективностью объектов морской техники и судовых двигателей внутреннего сгорания: монография / В.Л. Ерофеев, В.А. Жуков, О.В. Мельник и др. Под ред. В.Л. Ерофеева, В.А. Жукова. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. – 2018.–184 с.

2. Ерофеев В. Л., Ганин Н. Б., Пряхин А. С. Пределы повышения энергетической эффективности топливоиспользования поршневого ДВС // Двигателестроение. – 2015. – №2 (260). – С. 33 – 38.

3. Ерофеев В.Л., Жуков В.А., Пряхин А.С. Энергетический и эксергетический подходы к оценке повышения эффективности тепловых двигателей // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – № 5(45). – С. 1017-1026.

4. Жуков В.А., Ерофеев В.Л., Мельник О.В. О возможностях использования вторичных энергетических ресурсов в судовых ДВС // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – № 3(43). – С. 570-580.5. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом: Учеб. для студентов морских вузов. / Е.Н. Воевудский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко, И.П. Тарасова; под ред. Е.Н. Воевудского. - М.: Транспорт, 1988. - 384 с.

5. Волынцев А. В. Утилизация тепловых ресурсов главного судового двигателя посредством использования теплонасосной установки / Волынцев А. В., Соболенко А. Н. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – №5 (39). – С. 144-150

6. Медведева В. М. Тепловые насосы как ресурс энергосбережения на объектах железных дорог// Мир транспорта [Том 14, № 4 \(2016\)](#)

7. Жуков В.А. Пересецкий И. Л. Энергосберегающая система прогрева и поддержания температурного режима судового двигателя внутреннего сгорания.

## HEAT PUMPS IN TRANSPORT ENERGY

Peresetsky I. L., Zhukov V. A.

*Abstract.* Extensive possibilities of using heat pumps in power plants of vehicles. This article discusses the conditions for the expediency of using heat pumps and possible technical solutions for their use. There are also options for the combined use of a complex of systems and equipment with the participation of heat pumps used to increase the overall energy efficiency coefficient of the vessel.

*Key words:* secondary heat sources, heat pump.

