

УДК 656.6

Тимофеев Виталий Никифорович¹, доцент, д.т.н., заведующий кафедрой
электромеханических объектов водного транспорта

e-mail: timofeev.vitaly2010@yandex.ru

Салахов Ильяс Рахимзянович¹, доцент, к.п.н., директор института

e-mail: vguvtkazan@yandex.ru

Кутепова Людмила Михайловна¹, к.п.н., доцент кафедры электромеханических
объектов водного транспорта

e-mail: masa_m@bk.ru

Гречко Николай Владимирович¹, к.т.н., доцент кафедры электромеханических объектов
водного транспорта

e-mail: nvg.vguvt@yandex.ru

¹Институт морского и речного флота имени Героя Советского Союза М.П. Деватаева – Казанский филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», г. Казань, Россия.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАВШЕЙ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ ДВУХВИНТОВЫХ РЕЧНЫХ СУДОВ

Аннотация. Статья относится к электроэнергетике и может быть использована дизельными проектными организациями, двухвинтовыми судами речного и морского транспорта. В статье рассмотрено устройство, позволяющее утилизировать тепловую энергию отработавших газов путем установки на выхлопном трубопроводе левого главного судового дизеля утилизационного котла и абсорбционной холодильной машины, а на выхлопном трубопроводе правого главного дизеля – термоэлектрического генератора и органического цикла Ренкина.

Ключевые слова: утилизация отработавшей тепловой энергии, двухвинтовые суда, речной транспорт.

Судовые энергетические установки, отработавшая тепловая энергия, теплоноситель, низкокипящее вещество, органический цикл Ренкина, источник холода холодильная установка, электроэнергия.

В настоящее время в судовых энергетических установках успешно применяются двигатели внутреннего сгорания, которые постоянно совершенствуются, например, в рабочих системах судовых дизелей внедряются элементы автоматики и микропроцессорной техники. Однако значительная часть тепловой энергии судовой энергетической установки (СЭУ) используется крайне неэффективно, зачастую просто рассеивается в окружающей среде. Анализ источников литературы показывает, что нами разработаны достаточное количество энергосберегающих установок, позволяющих существенным образом улучшить КПД СЭУ:

1) патент № 92247, Н01L 35/28 [1]. Судовой термоэлектрический генератор, установленный на выхлопном трубопроводе позволяет утилизировать тепловую энергию отработавших газов, в результате чего происходит прямое преобразование тепловой энергии в электрическую энергию;

2) патент № 217073, Россия [2]. Устройство для преобразования тепловой энергии системы охлаждения главного судового дизеля в электрическую энергию;

3) патент №209290, РФ [3]. Бромистолитиевая АБХМ устанавливается на выхлопной трубе главного дизеля. Хладагентом в АБХМ является вода, которая при работе главного судового дизеля охлаждается до температуры 5-8°C и циркулирует с помощью электрического насоса по замкнутому циклу.

При использовании приведенных патентов на судах как речного, так и морского флота можно получить совсем другую энергетическую установку, которая в состоянии конкурировать зарубежными судами.

В прилагаемой статье приводится устройство, позволяющее в условиях эксплуатации двухвинтовых судов утилизацией отработавшей тепловой энергии выхлопных газов выработать электрическую, тепловую энергию и источник холода, что существенно увеличивает эффективность СЭУ. Техническим результатом при этом является повышение эффективности КПД СЭУ.

На рис. 1 представлена принципиальная схема устройства для утилизации отработавших газов главного судового дизеля.

Утилизационный котел 3, установленный на выхлопном трубопроводе 25 левого двигателя 1 во время его работы обеспечивает потребителей членов команды и СЭУ горячей водой.

Абсорбционная холодильная машина (АБХМ) 4, установленная на выхлопном трубопроводе 25 левого двигателя 1 во время его работы обеспечивает потребителей членов команды и рабочие системы главных дизельных установок источником холода согласно патенту № 2780635 [4]. При этом, забортная вода по каналу 28 поступает в АБХМ 4, где эта вода охлаждается до 5°C и по каналу 48 поступает в распределитель источника холода 8, который производит распределение источника холода, например, по каналу 47.

Термоэлектрический генератор (ТЭГ) 5, установленный на выхлопном трубопроводе 26 правого двигателя 2 обеспечивает электроэнергией членов команды и СЭУ согласно патенту № 92247 [1]. Регулирование температурного режима между саями термоэлектрических генераторных модулей (на рисунке эти модули не показаны) контролируется забортной водой через входной канал 33, затем отработанная вода по каналам 34, 37 сливается за борт.

На выхлопном трубопроводе 26 установлен теплообменник-посредник 6, через который циркулирует термическое масло и служит в качестве теплоносителя в органическом цикле Ренкина (ОЦР). Это вызвано тем, что температура отработавших газов колеблется от 450°C и выше, поэтому теплообмен напрямую отработавших газов с низкокипящим веществом невозможен из-за высоких температур, так как в этом случае предлагаемая конструкция изделия может привести к пожару или возможен взрыв. Термомасло более устойчиво к высоким температурам и позволяет передать тепло низкокипящему веществу не выше заданной температуры. Таким образом, термомасло служит передаточным звеном, оставаясь жидкостью при высоких температурах, оно хорошо передает тепловую энергию, позволяет использовать на правом двигателе органический цикл Ренкина (ОЦР). Температура термического масла на выходе из теплообменника находится в пределах 280-310°C и циркулирует по замкнутому контуру: теплообменник 6, канал 40, испаритель 18, канал 38, электрический насос 15, канал 39, теплообменник 6 и контур замыкается. Замкнутый органический цикл Ренкина включает в себя испаритель 18, канал 43, турбину 19 с генератором 20, канал 44, конденсатор 21, канал 41, электрический насос 17, канал 42, испаритель 18 и цикл замыкается. Рабочим телом в ОЦР является вещество, имеющее более низкую, чем у воды, температуру кипения. Благодаря этому, испарение рабочего тела происходит при относительно низкой температуре, что и позволяет утилизировать низкопотенциальную энергию.



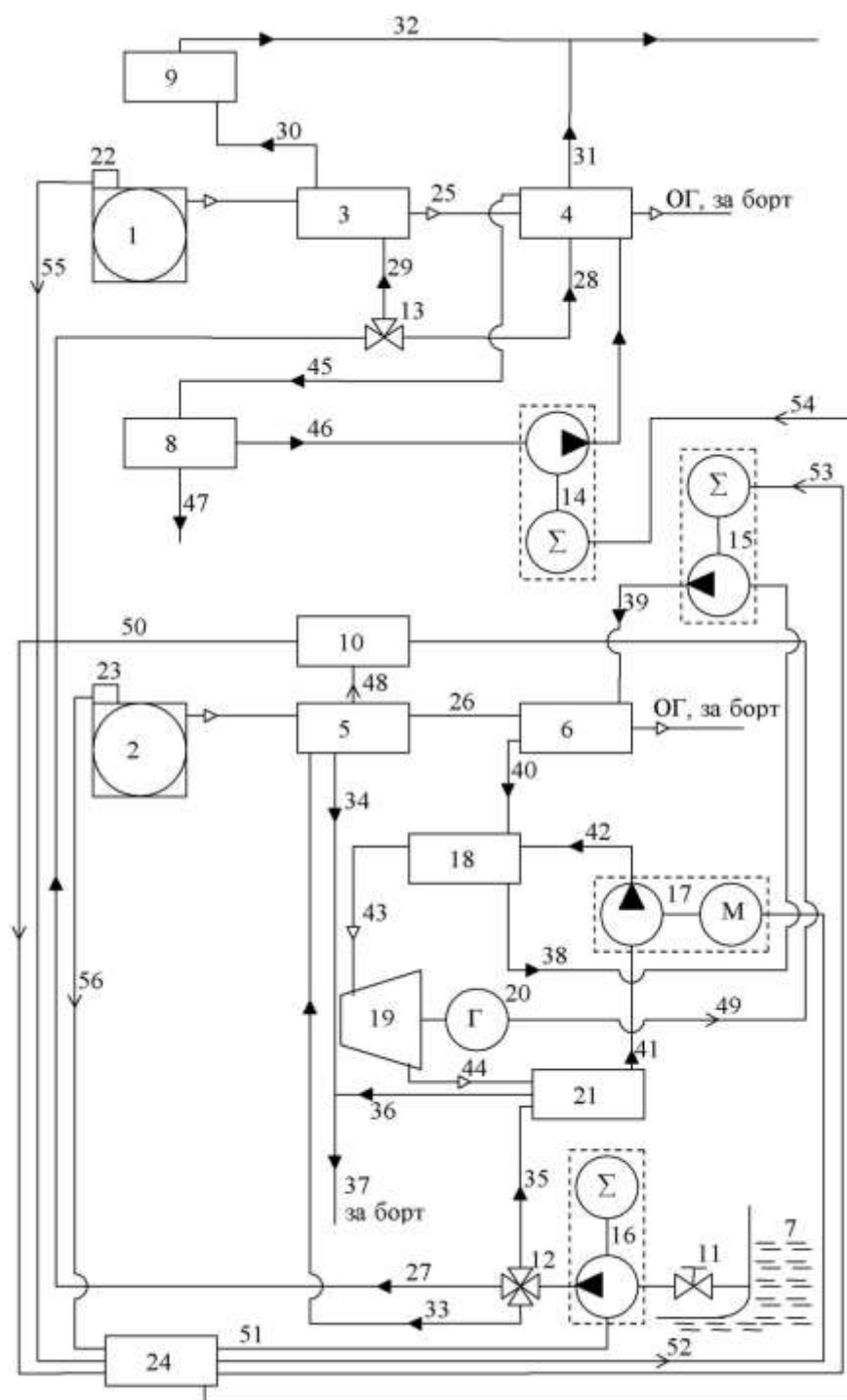


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства для утилизации отработавших газов главного судового дизеля: 1 – главный судовый дизель; 2 – правый главный судовый дизель; 3 – утилизационный котел (УК); 4 – абсорбционная холодильная машина (АБХМ); 5 – термоэлектрический генератор; 6 – теплообменник органического цикла Ренкина (ОЦР); 7 – ящик заборной воды; 8 – потребитель хладоносителя; 9 – потребитель тепловой энергии; 10 – потребитель электрической энергии; 11 – запорный клапан; 12 – четырехходовой кран; 13 – трехходовой кран; 14, 15, 16, 17 – электрические насосы; 18 – испаритель; 19 – турбина; 20 – генератор; 21 – конденсатор; 22, 23 – тахогенераторные датчики; 24 – контроллер управления; 25, 26 – выхлопные трубопроводы; 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 – каналы заборной воды; 38, 39, 40 – каналы термального масла; 41, 42, 43, 44 – каналы низкокипящего вещества; 47 – распределительный канал; 48, 49; 50, 51, 52, 53, 54 – каналы подачи электрической энергии; 55, 56 – каналы подачи электрических сигналов

Термическое масло циркулирует по замкнутому контуру: в теплообменнике 6 происходит теплообмен между отработавшими газами и термомаслом, далее нагретое масло по каналу 40 поступает в испаритель 18, где в результате теплообмена термомасла с низкокипящим веществом происходит кипение НВ и повышение его давления и температуры, затем по каналу 38 через насос 15 и канал 39 вновь поступает в теплообменник 6 и цикл повторяется.

При выборе НВ необходимо учитывать ряд, предъявляемых к ним требований: дешевизна; хорошие теплофизические свойства; не токсичность; отсутствие экологического воздействия на окружающую среду (озоновый слой, парниковый эффект); замерзание при достаточно низких отрицательных температурах, что важно для климатических условий северных регионов.

Контроллер управления 24 предназначен для запуска электрических объектов устройства по заранее прописанному алгоритму, содержание которого зависит от полученной при помощи информации.

Забортная вода через запорный вентиль 11, электрический насос 16, четырехходовой кран 12, второй патрубок по каналу 27 поступает в трехходовой кран 13, затем через второй патрубок трехходового крана 13, канал 29, УК 3, канал 30 поступает в потребитель тепловой энергии 9, после отработанная вода по каналу 32 сливается за борт; через третий патрубок трехходового крана 13, канал 28, АБХМ 4, каналы 31, 32 сливается за борт; а через третий патрубок четырехходового крана 12, канал 33 поступает в ТЭГ 5, где в происходит теплообмен с термоэлектрическими генераторными модулями ТЭГ 5, затем отработанная вода по каналам 34, 37 сливается за борт; через четвертый патрубок четырехходового крана 12, канал 35, конденсатор 21, где происходит теплообмен между НВ, затем отработанная вода по каналам 36, 37 сливается за борт.

Устройство для прямого преобразования тепловой энергии отработавших газов в электрическую энергию судовых дизелей работает следующим образом.

После запуска дизелей 1, 2 предлагаемое устройство начинает работать, при этом тахогенераторные датчики 22, 23 по каналам 55, 56 подают сигналы в контроллер управления 24, куда по каналу 50 подается из потребителя электроэнергии 10 и запускаются электрические насосы 14, 15, 16, 17. Отработавшие газы дизелей 1, 2 проходят по выхлопным трубопроводам 25, 26 и начинается работа УК 3, АБХМ 4, ТЭГ 5. А в теплообменнике 6 происходит теплообмен между термальным маслом отработавшими газами. Нагретое масло по каналу 40 подается в испаритель 18, где происходит теплообмен между термальным маслом и низкокипящим веществом, в результате чего происходит парообразование, повышение давления и температуры НВ.

Выходя из испарителя 18 полученный пар через канал 43 поступает в турбину 19 и расширяясь совершает работу, вал которой связан с электрогенератором 20. Происходит выработка электрической энергии в электрогенераторе 20, которая по каналу 47 поступает в потребитель электроэнергии 10. Из турбины 19 пар по каналу 44 поступает в конденсатор 21, где в результате теплообмена забортной водой пар превращается в жидкость, далее насосом 17 эта жидкость по каналу 48 подается в испаритель 18 и цикл повторяется.

Одновременно по мере увеличения нагрузки главных судовых дизелей в УК 3 принимает рабочее положение, АБХМ 4 начинает подавать в источник холода 8 холодную воду, а ТЭГЗ -электрическую энергию потребителю электроэнергии 10.

Таким образом, предлагаемое устройство для утилизации отработавших газов дизельных установок двухвинтовых судов во время работы главных судовых дизелей позволяет преобразовать тепловую энергию отработавших газов в источники теплоносителя, хладоносителя и электрической энергии. Эти источники будут использованы для создания комфортных температурных режимов в служебных, жилых помещениях и автоматического регулирования оптимального теплового состояния в



рабочих системах главных судовых дизелей, что позволит улучшить эффективность эксплуатации судовых энергетических установок.

Список литературы:

1. Патент № 92247, H01L 35/28. Судовой термоэлектрический генератор / В.Н. Тимофеев. Опубл. 10.03.2010. Бюл. № 7.

2. Патент № 217073 U1. Устройство для преобразования тепловой энергии системы охлаждения главного судового дизеля в электрическую энергию / В.Н.Тимофеев, И.Р.Салахов, Л.М.Кутепова, Н.Р.Харисова, Г.Г.Каюмова, Н.В.Гречко, А.Р.Юнусова, И.Р.Тимербулатова, А.Д.Шарафутдинов. Опубл. 16.03.2023.

3. Патент № 209290 U1. Терморегулирующее устройство системы охлаждения судового двигателя внутреннего сгорания / В.Н.Тимофеев, И.Р.Салахов, Н.Р.Харисова, Л.М.Кутепова, Г.Г.Каюмова, А.А.Киекбаев, А.Р.Юнусова, И.Р.Тимербулатова. Опубл. 14.03.2022.

4. Патент № 2780635 C1. Устройство для регулирования температуры судовых жилых, служебных помещений и главного судового дизеля / В.Н.Тимофеев, И.Р.Салахов, Н.Р.Харисова, Л.М.Кутепова, Г.Г.Каюмова, Т.М.Садыков, А.Р.Юнусова, И.Р.Тимербулатова. Опубл. 28.09.2022.

UTILIZATION OF THE SPENT HEAT ENERGY OF TWIN-PROPEL RIVER VESSELS

Vitaly N. Timofeev, Ilyas R. Salakhov, Liudmila M. Kutepova, Nikolay V. Grechko

Abstract. The article relates to the electric power industry and can be used by diesel design organizations, twin-screw vessels of river and sea transport. The article considers a device that makes it possible to utilize the thermal energy of exhaust gases by installing a utilization boiler and an absorption refrigeration machine on the exhaust pipeline of the left main marine diesel engine, and a thermoelectric generator and an organic Rankine cycle on the exhaust pipeline of the right main diesel engine.

Keywords: waste heat recovery, twin-screw ships, river transport.

