

УДК 656.6

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА МАЛОМЕРНОГО СУДНА С ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЕМ

Тимофеев Виталий Никифорович¹, доктор технических наук, доцент

e-mail: timofeev.vitaly2010@yandex.ru

Салахов Ильяс Рахимзянович¹, кандидат педагогических наук, доцент

e-mail: vguvtkazan@yandex.ru

Кутепова Людмила Михайловна¹, кандидат педагогических наук, доцент

e-mail: masa_m@bk.ru

Пинчук Рауль Сергеевич¹, аспирант

e-mail: raul.raul99@list.ru

¹ Институт морского и речного флота имени Героя Советского Союза М.П. Девятаева – Казанский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Казань, Республика Татарстан, Россия

Аннотация. Заявляемая статья решает задачу создания устройства энергетической установки маломерного судна с электродвижением. Основными элементами устройства являются электродвигатель постоянного тока, установленный на гребном валу судна, винт фиксированного шага, тепловой насос (ТН) на основе высокотемпературного компрессора и органический цикл Ренкина (ОЦР), дизель-генератор и аккумуляторные батареи. Управление работой электродвигателя производится через контроллер управления, главный распределительный щит (ГРЩ) и пульт управления.

Ключевые слова: дизель-генератор, тепловой насос, органический цикл Ренкина, тепловая энергия, теплообменник, низкокипящее вещество, электроэнергия.

POWER PLANT OF A SMALL VESSEL WITH ELECTRIC PROPULATION

Timofeev Vitaly Nikiforovich¹, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: timofeev.vitaly2010@yandex.ru

Salakhov Ilyas Rakhimzyanovich¹, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

e-mail: vguvtkazan@yandex.ru

Kutepova Liudmila Mikhailovna¹, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

e-mail: masa_m@bk.ru

Pinchuck Raul Sergeevich¹, Doctoral Student

e-mail: raul.raul99@list.ru

¹ Institute of Maritime and Inland Shipping named after Hero of the Soviet Union M.P. Devyataev – Kazan branch of Volga State University of Water Transport Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

Abstract. The claimed article solves the problem of creating a power plant for a small vessel with electric propulsion. The main elements of the device are a DC electric motor mounted on the

ship's propeller shaft, a fixed-pitch propeller, a heat pump (HP) based on a high-temperature compressor and an organic Rankine cycle (ORC), a diesel generator and batteries. The operation of the electric motor is controlled through the control controller, the main distribution board and the control panel.

Keywords: diesel generator, heat pump, organic Rankine cycle, thermal energy, heat exchanger, low boiling point substance, electricity.

Статья относится к судостроению и может быть использована судостроительными проектными организациями для разработки эффективных маломерных судов.

На рис. 1 представлена принципиальная схема энергетической установки маломерного судна с электродвижением.

Тепловой насос (ТН) представляет собой замкнутый цикл, в котором циркулирует низкокипящее вещество (НВ), который включает в себя высокотемпературный двухступенчатый компрессор 3, канал 55, конденсатор ТН 13, канал 52, электрический насос 14, канал 53 испаритель 15, канал 54. Для ОЦР конденсатор ТН 13 является теплообменником, где забортная вода, поступающей по каналу 43 в результате теплообмена с НВ поднимает свою температуру и этот теплоноситель используется в ОЦР как тепловая энергия, поэтому в устройстве использовано выражение «теплообменник 13 ОЦР–конденсатор 13 ТН». По замкнутому контуру ТН циркулирует низкокипящее вещество (НВ). 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. ТН позволяет переносить тепло от более холодного тела забортной воды к более горячему посредством испарения и конденсации, использовать эту теплоту. ТН передает потребителю в 3–5 раз больше энергии, чем затрачивают сами на ее передачу. Двухступенчатый компрессор 3 в процессе его эксплуатации температуру рабочего вещества поддерживает в пределах 100–111 °С.

Полученный пар НВ ТН в конденсаторе 13 с температурой 111 °С в результате теплообмена забортной водой, поступающей по каналу 43 поднимает ее температуру до 96 °С, которая в виде теплоносителя подается через канал 44 в испаритель 19 ОЦР, а НВ конденсируется и в виде насыщенной жидкости по каналу 52 поступает в электрический насос 14, который передает рабочему телу энергию сжатия при неизменной энтропии (адиабатическое сжатие), а далее НВ подается в испаритель 15, где в результате теплообмена с поступающей забортной водой происходит кипение НВ и превращение его в пар и процесс повторяется.

Теплоноситель, поступающий в испаритель 19 по каналу 44, является источником тепловой энергии и становится элементом ОЦР. При этом ОЦР тоже представляет замкнутый контур и включает в себя испаритель 19, канал 60, ПТГ4-5, канал 61, регенератор 18, канал 56, конденсатор 16, канал 57, электрический насос 17, канал 58, регенератор 18, канал 59 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.



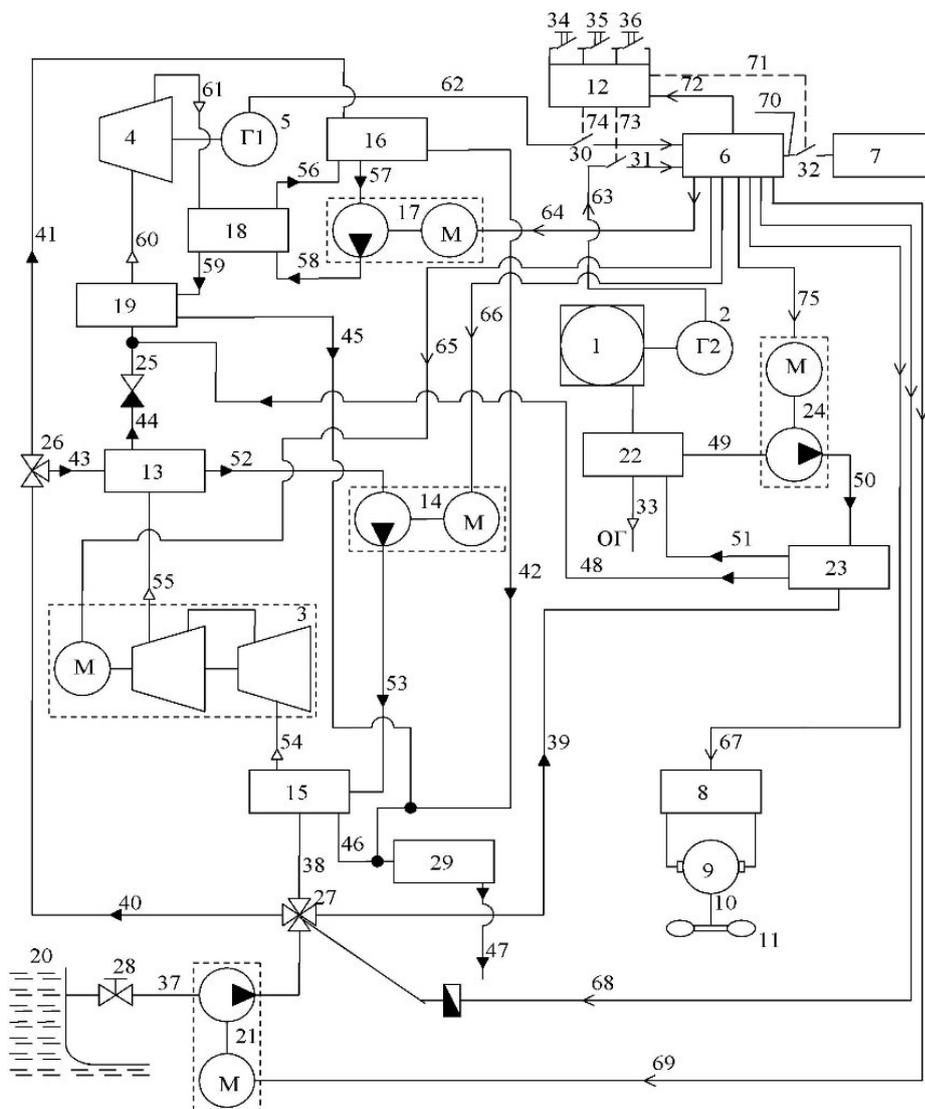


Рисунок 1 – Принципиальная схема энергетической установки маломерного судна с электродвижением: 1, 2 – дизель с генератором; 3 – двухступенчатый компрессор; 4,5 – паровая турбина с генератором; 6 – главный распределительный щит; 7 – аккумуляторные батареи; 8 – пульт управления; 9 – гребной электродвигатель; 10 – гребной вал; 11 – гребной винт; 12 – контроллер управления; 13 – теплообменник ОЦР – конденсатор ТН; 14 – электрический насос; 15 – испаритель ТН; 16 – конденсатор ОЦР; 17 – электрический насос; 18 – регенератор; 19 – испаритель ОЦР; 20 – заборный ящик; 21 – электрический насос; 22 – теплообменник; 23 – дополнительный теплообменник; 24 – электрический насос; 25 – невозвратный клапан; 26 – трехходовойкран; 27 – электрический четырехходовой кран; 28 – запорный вентиль; 29 – потребитель тепловой энергии; 30 – 32 – пусковые контакторы; 33 – выхлопной трубопровод; 34 – 35 – пусковые кнопки; 36 – кнопка «Стоп»; 37 – 48 – каналы заборной воды; 49 – 51 – каналы термомасла; 52 – 55 – каналы низкокипящего вещества теплового насоса; 56 – 61 – каналы НВ ОЦР; 62 – 75 – каналы электрической энергии

Из рис. 1 следует, что рабочее тело на выходе из турбины по каналу 61 поступает в регенератор 18, где тепловая энергия НВ используется в виде пара для подогрева охлажденного рабочего тела в жидком состоянии. Этот процесс происходит при постоянном давлении. Благодаря регенератору 18 происходит, нагрев охлажденного рабочего тела перед тем, как оно попадет в испаритель 19, при этом мощность, требуемая от источника тепла, уменьшается, а эффективность повышается.

В предлагаемой схеме предусмотрен ДГ1-2, вырабатываемая электроэнергия служит для запуска высокотемпературного компрессора 3 теплового насоса и зарядки аккумуляторных батарей 7.

При работе температура отработавших газов в ДГ1-2 колеблется от 450°С 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. Тепловая энергия ОГ ДГ1-2 может переноситься от источника теплоты к рабочему телу с использованием промежуточного теплоносителя, в качестве которого применяется термальное масло. Использование промежуточного теплоносителя позволяет избежать локального перегрева рабочего тела.

Поэтому на выхлопном трубопроводе ОГ 33 ДГ1-2 предусмотрен теплообменник 22, в котором циркулирует термальное масло, которое циркулирует по замкнутому контуру: теплообменник 22, канал 49, электрический насос 24, канал 50, дополнительный теплообменник 23, канал 51 и цикл замыкается. В теплообменнике 22 происходит теплообмен между термальным маслом и тепловой энергией ОГ ДГ1-2, затем нагретое масло электрическим насосом 24 подается в дополнительный теплообменник 23, где происходит теплообмен между термальным маслом и забортной водой, поступающей по каналу 39, затем нагретая забортная вода в виде теплоносителя по каналу 48 через канал 44 подается в испаритель 19 ОРЦ. При этом, в канале 44 происходит смешение нагретой забортной воды с потоком воды, поступающего из конденсатора 13, и получение общего потока теплоносителя с повышенной температурой. Далее этот поток теплоносителя поступает в испаритель 19, куда одновременно поступает НВ ОЦР, то есть рабочее тело, которое находится в состоянии насыщенной жидкости. В результате теплообмена между теплоносителем с повышенной температурой и НВ–рабочее тело начинает испаряться в виде влажного пара, постепенно достигая состояния насыщенного пара. Этот процесс происходит при постоянной температуре и давлении. При добавлении дополнительного тепла в испаритель 19 при постоянном давлении достигается состояние перегретого пара; далее рабочее тело в виде пара по каналу 60 поступает в турбину 4, где путем адиабатического расширения приводит в действие турбину 4 с генератором 5, который преобразует механическую работу в электрическую энергию; после турбины 4 рабочее тело в виде пара по каналу 61 поступает в регенератор 18, где тепловая энергия НВ используется в виде пара для подогрева, охлажденного рабочего тела в жидком состоянии в конденсаторе 16. Этот процесс происходит при постоянном давлении; далее рабочее тело (НВ) по каналу 56 поступает в конденсатор 16, где происходит изобарический и изотермический отвод тепла забортной водой, поступающей по каналу 41. Влажность повышается, тело переходит из состояния влажного пара в насыщенную жидкость; и по каналу 57 поступает в электрический насос 17, который передает рабочему телу энергию сжатия при неизменной энтропии (адиабатическое сжатие); жидкое рабочее тело после сжатия сначала подогревается в регенераторе 18, затем достигает состояния насыщенной жидкости, затем в виде жидкости по каналу 59 поступает в испаритель 19 и цикл повторяется. А теплоноситель после теплообмена с НВ в испарителе 19 через каналы 45, 42, 46 поступает в ПТЭ29, затем отработанный теплоноситель по каналу 47 сливается за борт.

Поскольку турбина 4, работающая на базе ОЦР, является тепловой машиной, ее эффективность определяется разностью температур теплого и холодного контуров. На теплой стороне температура зависит от входной температуры рабочего тела: таким образом, чем ниже температура на входе, тем меньше эффективность машины. На практике при низкой температуре на входе электрический КПД составляет 6...8%. При более высоких температурах, в зависимости от размера машины, КПД может достигать 16% и выше.



Вторым показателем, влияющим на эффективность ОЦР является температура холодного контура. Процесс ОЦР должен быть охлаждаемым, чтобы конденсировались пары рабочего тела. В результате температура рабочего тела после охлаждения является относительно низкой, со слабой перспективой дальнейшего использования этого тепла.

Подогретая в результате теплообмена забортная вода, после конденсатора 16 по каналу 42 поступает в канал 46, происходит смешение с потоком воды, поступающим из испарителя 15, далее этот поток теплоносителя поступает в потребитель тепловой энергии 29, и после обработки этот поток теплоносителя по каналу 47 сливается за борт.

Электрическая энергия, выработанная генератором 5 по каналу 62, поступает в ГРЩ6.

Контроллер управления 12 — это управляющее устройство, которое служит для автоматического управления данного устройства по заданному алгоритму.

Главный распределительный щит 6 - центральный пункт, куда поступает электрическая энергия от источников (с генераторов 2, 5) и где она распределяется между различными группами потребителей на судне. ГРЩ6 выполняется в виде панели со смонтированной пусковой и регулировочной аппаратурой - реостатами, регуляторами, защитной аппаратурой и автоматами, предохранителями, реле, контрольно-измерительными приборами, сигнальными устройствами и т. п.

В энергетической установке с электродвижением полезной модели используется электродвигатель 9 постоянного тока марки 100 МВО-ЗСР 100 кВт, который является очень маневренным приводом, простым регулированием электрических параметров позволяет получать малые скорости хода судна, осуществлять удобное регулирование скорости хода и автоматическое регулирование мощности. Аккумуляторные батареи 7 обеспечивают работу гребного электродвигателя 9. На судне могут быть использованы аккумуляторы на основе титаната лития. При этом ЛТО аккумуляторы имеют меньшую плотность хранения энергии, но заряжаются быстрее, служат дольше и выдерживают более низкие температуры.

Тепловой насос и органический цикл Ренкина при совместной работе вырабатывают электрическую энергию, которая позволяет обслуживать генераторный электродвигатель и зарядку аккумуляторов.

В предлагаемой заявке к устройству отнесены изделия, являющиеся совокупностью конструктивных элементов, находящихся в функционально-конструктивном единстве.

Устройство объекта функционально соединены между собой таким образом, чтобы обеспечить электродвижение судна. Отсюда следует, что реализация назначения и достижения технического результата обеспечивается за счет функциональных связей между компонентами.

Энергетическая установка маломерного судна с электродвижением работает следующим образом.

При стоянке судна на якоре или у пирса данная установка не работает, пульт управления 8 находится в отключенном состоянии.

Для выполнения требуемого рейса судна энергетическая установка начинает работать следующим образом. Открывается запорный клапан 28, запускается ДГ1-2, который подключается через канал 63 пусковым контактором 31 к ГРЩ6, пусковым контактором 32 к аккумуляторным батареям 7, при этом начинается выработка электрической энергии ДГ1-2. Контроллер управления 12 осуществляет сбор и обработку дискретных сигналов состояния ГРЩ6 и аналоговых сигналов: тока и напряжения электрогенератора 2, тока и напряжения аккумуляторной батареи 7.

ГРЩ6, подачей электроэнергии запускает двухступенчатый компрессор 3; электрические насосы 17, 14, 21, 24; электрический четырехходовой кран 27 начинает подавать забортную воду через каналы 37, 38, 39, 40.



Начинают работать тепловой насос, органический цикл Ренкина: электрический насос 21 начинает подавать забортную воду по следующим каналам: по патрубкам 1, 2 ЭЧК27 через канал 40; по патрубкам 1,2 ТК26 через канал 41, конденсатор 16, каналы 42, 46; ПТЭ29, канал 47; по патрубкам 1, 2 ТК26, канал 43, конденсатор–теплообменник 13, канал 44, испаритель 19, каналы 45, 42, 46, ПТЭ29, канал 47; по патрубкам 1, 3 ЭЧК27 канал 38, испаритель 15, канал 46, ПТЭ29, канал 47; по патрубкам 1, 4 ЭЧК27, канал 39, ДТ23, канал 48, канал 44, испаритель 19, каналы 45, 42, 46, ПТЭ29, канал 47.

Энергетическая установка маломерного судна с электродвижением работает следующим образом. Первоначально энергетическая установка работает от ДГ1-2 (см. фиг. 1). Заводится ДГ1-2, который начинает вырабатывать электрическую энергию, через КУ12 и ГРЩ6 начинает заряжать аккумуляторные батареи 6, а через пульт управления 8 начинается подача электроэнергии на гребной электродвигатель 9, гребной вал с гребным винтом начинают работать.

Одновременно начинает работать тепловой насос и органический цикл Ренкина. При этом электрический ГРЩ6, подачей электроэнергии запускаются двухступенчатый компрессор 3; электрические насосы 17, 14, 21, 24; электрический четырехходовой кран ЭЧК27.

Генератор 5 подключается к ГРЩ6 пусковым контактором 30. Оператор включает в работу генераторы 2, 5 нажатием пусковых кнопок 34, 35, кнопкой 36 осуществляется при необходимости остановка генераторов 2, 5.

Контроллер управления 12 осуществляет сбор и обработку дискретных сигналов ТС состояния ГРЩ6 и аналоговых сигналов, тока и напряжения аккумуляторных батарей.

По заданному алгоритму работы при наличии команд контроллер управления 12 с пусковых кнопок 34, 35, осуществляет управление контакторами 34, 35, 36.

После зарядки аккумуляторов 7 кнопкой 36 осуществляется остановка ДГ1-2. Г5 продолжает вырабатывать электрическую энергию, гребной электродвигатель 9 продолжает работать от аккумуляторов 7. Так как ДГ1-2 находится в нерабочем состоянии, происходит экономия дизельного топлива, при этом по заданным уставкам контроллер управления 12 осуществляет включение в режиме отдельной работы, либо в режиме совместной работы генераторов 2, 5.

Таким образом, энергетическая установка маломерного судна позволяет осуществить электродвижение используя источники электрической энергии на основе ТН, ОЦР и ДГ1-2, что позволяет повысить ее эффективность.

Список литературы:

1. Павленко, И.В. Разработка электроэнергетической установки маломерного судна с электродвижением / И.В. Павленко, В.А. Никитенко, Б.А. Авдеев // Образование, наука и молодежь – 2018: Сборник трудов по материалам научно-практических конференций ФГБОУ ВО «КГМУ» 2018г. – Керчь: ФГБОУ ВО «КГМУ», 2018. – С. 156 – 160.
2. Патент № 214993 МПК Устройство энергетической установки речного трамвая с электродвижением / Тимофеев В.Н., Салахов И.Р., Харисова Н.Р., Кутепова Л.М., Каюмова Г.Г., Юнусова А.Р, Тимербулатова И.Р., Гиззатов А.А. /Опубл. 23.11.2022. Бюл. № 33

