

Варшамов А. В.,
старший преподаватель,
Черноморский национальный университет
им. Петра Могилы, г. Николаев, Украина

Голеншин В. В.,
ведущий научный сотрудник,
Нацональный университет кораблестроения
им. адмирала Макарова, г. Николаев, Украина

Харитонов М. Ю.,
ведущий сотрудник, Центр прикладных исследований в энергетике,
Нацональный университет кораблестроения
им. адмирала Макарова, г. Николаев, Украина

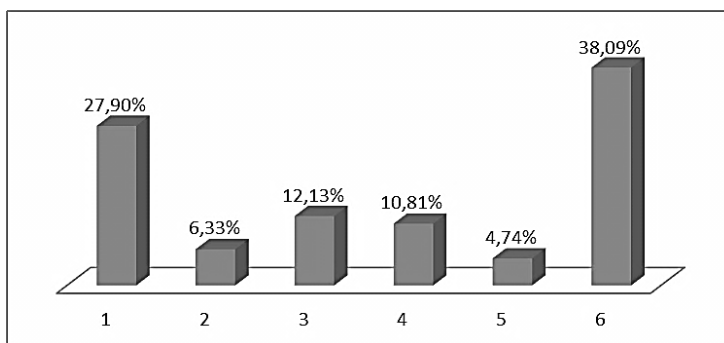
ВЫБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ПРЕДПУСКОВОГО ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Выполнен анализ существующих схем теплоаккумулирующих систем, обеспечивающих предпусковой прогрев судовых двигателей внутреннего сгорания. На основе принятых критериев выполнен выбор перспективных теплоаккумулирующих систем.

Ключевые слова: портфель; двигатели внутреннего сгорания; тепловой аккумулятор.

Постановка проблемы. В настоящее время на акваториях портов Украины эксплуатируется значительное количество судов портового флота [1], обеспечивающих решение разнообразных целевых задач:

обеспечение ледовых проводок, бонирование, сбор мусора и нефтесодержащих вод, обеспечение функций снабжения и многое другое.



1 – буксиры; 2 – плавкраны; 3 – баржи; 4 – специализированные суда (нефтемусоросборщики и сборщики льяльных вод); 5 – нефтеналивные суда; 6 – другие
Рис. 1. Количественный состав судов и плавсредств портофлотов Украины:

При этом большинство судовых энергетических установок судов портофлота (СЭУ СП) в настоящее время по своим технико-экономическим показателям не отвечают предъявляемым современным требованиям к их топливной экономичности и экологическим показателям. Это обстоятельство делает проблему повышения эффективности энергетических установок судов портофлота актуальной, имеющей важное прикладное значение.

Анализ последних исследований и публикаций
Выполненный анализ научных исследований показал, что одним из путей повышения эффективности СЭУ СП является использование в их составе теплоаккумулирующих комплексов, представляющих собой

совокупность элементов энергетического оборудования и теплового аккумулятора (ТА) [2–5; 7–11].

Исследования в данной области сконцентрированы на получении эффективных теплоаккумулирующих материалов (ТАМ), решении вопросов их коррозионной совместимости с имеющимися конструкционными материалами, определении критического числа термических циклов «зарядка – разрядка», разработки схем теплоаккумулирующих систем в составе стационарных и транспортных энергетических установок, многое другое.

При значительном многообразии публикаций, посвященных вопросам аккумуляции тепловой энергии в составе транспортных средств, к настоящей

му времени не решены вопросы выбора рациональных схем судовых теплоаккумулирующих систем предпускового прогрева ДВС для энергетических установок судов портафлота с учетом особенностей режимов их эксплуатации, габаритных размеров машинно-котельных отделений и др.

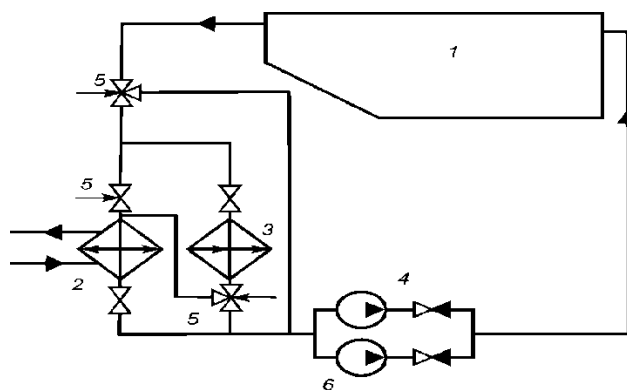
Целью работы является выбор перспективных схем систем предпускового прогрева ДВС СЭУ СП.

Результаты исследований. В реальных условиях, при эксплуатации СЭУ СП имеются значительные тепловые потери от работающего энергетического оборудования в окружающую среду, использование которых, с целью повышения эффективности ЭУ, возможно путем применения теплоаккумулирующих систем (ТАС) утилизации тепла, обеспечивающих, в том числе, и предпусковой прогрев ДВС [6].

Выбор перспективных схем систем предпускового прогрева ДВС СЭУ СП производился на основе принятых нормативных требований, предъявляемых к

таким системам, а также экспертным путем, на основе оценок себестоимости системы, конструктивной и технологической простоты, ее надежности и безопасности при эксплуатации.

На рис. 2 представлен вариант схемы системы предпускового прогрева ДВС СЭУ СП, сформированной на основе обобщения многочисленных принципиальных схем (патенты № RU2190121, RU2096654, RU2156701, DE19746672, DE4105199 и др.) и публикаций [2...4]. Особенностью данной схемы системы является то, что для предпускового прогрева ДВС в его систему охлаждения встраивается ТА, а другие штатные системы ДВС (смазки, наддува, газовойпуска) остаются неизменными. Также, в систему охлаждения добавлен насос с электроприводом для прокачки охлаждающей жидкости при прогреве (поскольку у большинства ДВС циркуляционные насосы навешены на двигатель) и регулирующая арматура.



1 – ДВС; 2 – водоводяной охладитель; 3 – тепловой аккумулятор; 4 – насос пресной воды ДВС; 5 – управляющая арматура; и прогревом ДВС; 6 – электронасос пресной воды

Рис. 2. Схема предпускового прогрева ДВС с ТА, который встроен в систему охлаждения

Значительное количество подобных схем отличаются друг от друга следующими конструктивными особенностями: подключением ТА параллельно или последовательно с охладителем охлаждающей жидкости; применением различных конструктивных типов ТА; применением различных ТАМ; наличием в схеме дополнительных потребителей тепловой энергии (помимо целей прогрева ДВС); различными алгоритмами и системами управления прогревом ДВС и зарядкой ТА (патенты № RU2096654, RU2156701, JP20033138940, EP1172538); принудительной или термосифонной циркуляцией (RU2200872) теплоносителя в процессе прогрева или использованием тепловых труб (SU1008481); источниками энергии для зарядки ТА.

В качестве ТА в этих схемах наиболее часто предлагается использовать: ТА с теплоаккумулирующим материалом фазового перехода (ТАФП) в основном кожухотрубной конструкции (патенты № RU2117881, RU2150020, RU2075626) или с капсулированным ТАМ (патенты № RU2187049, RU2052734, RU2121631, RU214046, DE4100193, DE4036392); ТА теплоемкостного типа с жидким ТАМ. В качестве ТАМ обычно используется охлаждающая жидкость, циркулирующая в системе охлаждения ДВС (патенты № RU2190121, RU2193737, RU2136952, RU2143649).

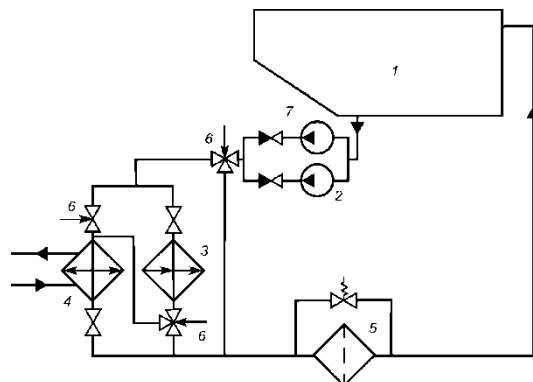
Зарядку ТА в вариантах данной схемы предлагается осуществлять: от циркулирующей охлаждающей жидкости при прогревом ДВС; электрической энергией от навешенного на ДВС генератора при работе на режимах с малой нагрузкой, от внесудовых источников электрической энергии во время стоянки.

Встречаются также схемы, в которых предлагается в систему охлаждения ДВС встраивать параллельно друг другу два ТА, один с ТАФП, а другой теплоемкостного типа с охлаждающей жидкостью в качестве ТАМ (EP0593928). Считается, что в этом случае достигается лучшая динамика прогрева ДВС при приемлемых массогабаритных показателях.

Наиболее распространены схемы с охлаждающей жидкостью в качестве ТАМ и с капсулированным ТАФП. Для теплоемкостных ТА с жидким ТАМ обычно применяется конструкция ТА вытеснительного типа (RU2193737 и др.), а емкость ТА определяется либо из условия полного замещения остывшей охлаждающей жидкости ДВС на теплую из ТА, либо прогревом ДВС до заданной температуры при принятых условиях окружающей среды. Если в первом случае работа вспомогательного насоса длится до 2 мин., то во втором случае требуется более длительная прокачка теплоносителя и, следовательно, потребление электрической энергии больше.

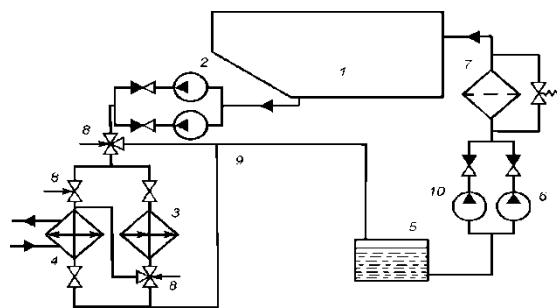
На рис. 3–5 представлены отобранные перспективные схемы систем предпускового прогрева ДВС СЭУ СП, когда для предпускового прогрева ДВС ТА встраивается в масляную систему, а другие штатные системы ДВС (охлаждения, наддува, газовыпуска) остаются неизменными (RU2151906 и др.). Данные схемы отличаются между собой особенностью конструкции масляной системы ДВС. Так на рис. 3 пред-

ставлена схема для ДВС с мокрым картером, а на рис. 4 – с сухим картером. Различия в вариантах подобных схем аналогичны для схемы, приведенной на рис. 1. В этих схемах в качестве жидкого ТАМ обычно используется смазочное масло, циркулирующее в ДВС, и его тепло, чаще всего, используется для зарядки ТА.



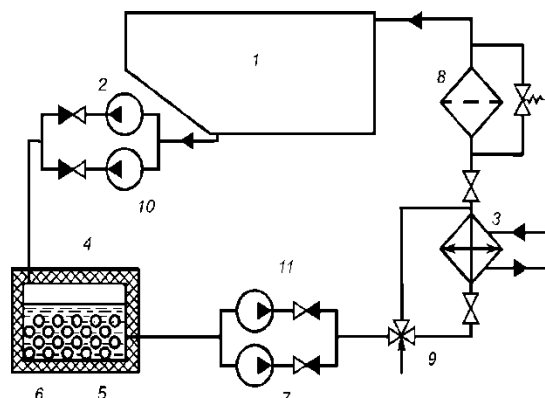
1 – ДВС; 2 – циркуляционный масляный насос ДВС; 3 – тепловой аккумулятор; 4 – охладитель масла; 5 – фильтрующее устройство; 6 – управляющая арматура; 7 – циркуляционный масляный электронасос

Рис. 3. Схема предпускового прогрева масла ДВС с мокрым картером и отдельным ТА, заряжаемым теплом масла



1 – ДВС; 2 – откачивающий масляный насос ДВС; 3 – ТА; 4 – охладитель масла; 5 – маслосборник (циркуляционная масляная цистерна); 6 – нагнетающий масляный насос ДВС; 7 – фильтрующее устройство; 8 – управляющая арматура; 9 – откачивающий масляный электронасос; 10 – нагнетающий масляный электронасос

Рис. 4. Схема предпускового прогрева масла ДВС с сухим картером и отдельным ТА, заряжаемым теплом от масла



1 – ДВС; 2 – откачивающий масляный насос ДВС; 3 – охладитель масла; 4 – маслосборник (циркуляционная масляная цистерна); 5 – тепловая изоляция маслосборника; 6 – капсулированный ТАМ (может отсутствовать); 7 – нагнетающий масляный насос ДВС; 8 – фильтр; 9 – управляющая арматура; 10 – откачивающий масляный электронасос; 11 – нагнетающий масляный электронасос

Рис. 5. Схема предпускового прогрева масла ДВС с сухим картером и использованием в качестве ТА маслосборника

На рис. 5 приведена схема, отличающаяся от схемы на рис. 4 тем, что роль теплового аккумулятора

выполняет циркуляционная масляная цистерна. В этом случае ее объем рассчитывается под требуемую

энергоёмкость и она покрывается снаружи тепловой изоляцией. Внутри цистерна может иметь капсулированный ТАМ либо, если в качестве ТАМ используется только циркулирующее масло, внутренняя конструкция цистерны изменяется так, чтобы не происходило интенсивного перемешивания теплого и холодного масла при его циркуляции на режиме предпускового прогрева ДВС.

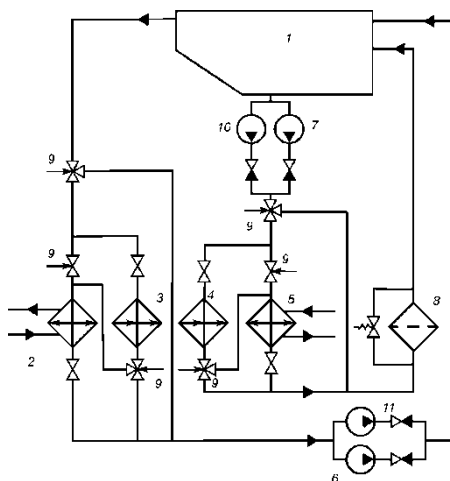
Одним из недостатков выше приведенных схем, является то, что в процессе прогрева ДВС интенсивно нагревается или смазочное масло или охлаждающая жидкость, а также часть деталей ДВС, с которыми контактирует данная жидкость. Темп нагрева остальных деталей ДВС и других технологических жидкостей остается низким.

Для устранения данного недостатка применяют два ТА, один из которых встраивается в систему смазки, а другой в систему охлаждения ДВС (рис. 6, 7) (RU2200872, DE3215342), либо используют дополнительный теплообменник, в котором охлаждающая вода греет масло, а ТА встраивается только в систему охлаждения ДВС (рис. 7). Отличие в схемах 6, 7 со-

стоит в том, что если в схеме на рис. 6 нагрев ТА, встроенного в масляную систему, осуществляется от теплоты циркулирующего при работе ДВС смазочного масла, то в схеме на рис. 7 – от теплоты циркулирующей охлаждающей жидкости. Другие варианты подобных схем также широко представлены в публикациях, а отличия между ними подобны описанному для схемы, представленной на рис. 2.

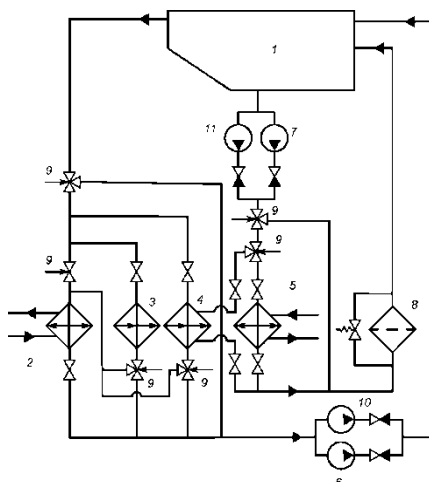
Дополнительный теплообменник для нагрева масла в схеме на рис. 8 может располагаться в картере ДВС, циркуляционной масляной цистерне или быть отдельным элементом.

Недостатком всех выше приведенных схем является то, что, при использовании для зарядки ТА тепловой энергии переносимой смазочным маслом или охлаждающей жидкостью, максимальная температура для нагрева ТАМ в зависимости от типа ДВС не превышает 70...105 °С. Это является препятствием для применения ряда более энергоёмких высокотемпературных ТАМ. При этом использование для зарядки ТА электрической энергии является менее экономично по сравнению с использованием бросового тепла.



1 – ДВС; 2 – водоводяной охладитель; 3 – ТА для нагрева пресной воды; 4 – ТА для нагрева масла; 5 – охладитель масла; 6 – насос пресной воды ДВС; 7 – циркуляционный масляный насос ДВС; 8 – фильтрующее масло устройство; 9 – управляющая арматура; 10 – циркуляционный масляный насос; 11 – электронасос пресной воды

Рис. 6. Схема предпускового прогрева ДВС с ТА для нагрева масла



1 – ДВС; 2 – водоводяной охладитель; 3 – ТА для нагрева пресной воды; 4 – ТА для нагрева масла; 5 – охладитель масла; 6 – насос пресной воды ДВС; 7 – циркуляционный масляный насос ДВС; 8 – фильтрующее масло устройство; 9 – управляющая арматура; 10 – электронасос пресной воды; 11 – циркуляционный масляный насос

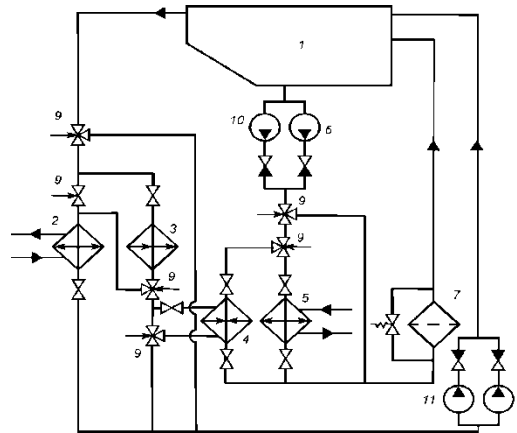
Рис. 7. Схема предпускового прогрева ДВС с ТА для нагрева пресной воды и с ТА для нагрева масла, заряжаемых теплотой охлаждающей воды ДВС

Более высокие температуры для нагрева ТАМ имеют системы предпускового прогрева, в которых ТА заражается теплом отходящих газов.

На рис. 8 представлена рациональная схема предпускового прогрева ДВС с ТА, заряжаемым от тепла отходящих газов двигателя. В приведенной схеме используются два ТА: один для нагрева масла, другой для нагрева охлаждающей жидкости. Оба они нагреваются от тепла отходящих газов и используют в своей конструкции ТАФП. Для предупреждения кипения охлаждающей жидкости и термического разложения масла в процессе нагрева ТАМ в системе предусмотрено их удаление из ТА после режима прогрева ДВС. Применяют также байпасирование отходящих газов в обход ТА после его нагрева (патенты

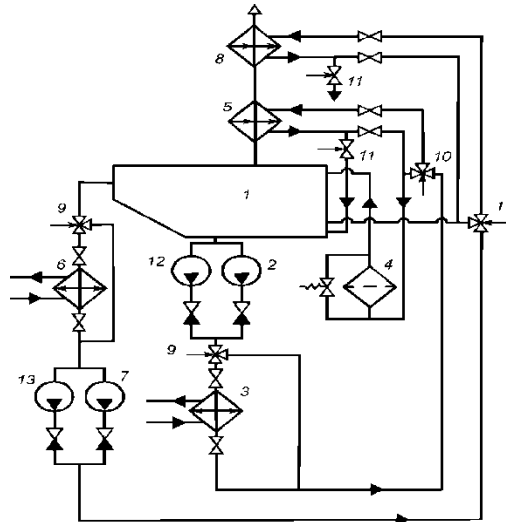
№ SU1002654, RU2117780). Наиболее безопасную конструкцию, с точки зрения возможного контакта горячих отходящих газов ДВС и смазочного масла в ТА, можно обеспечить, применяя ТА, в котором передача тепла от ТАМ к маслу осуществляется посредством тепловых труб (SU1008481).

Известны варианты схемы (рис. 9) отличающиеся тем, что применяется один ТА вместо двух (патенты № RU2117780, RU2153098) [4]. В этом случае в ТА нагревается или смазочное масло или охлаждающая жидкость. Некоторые из них содержат дополнительный теплообменник (подобно в схеме на рис. 8) в котором одна технологическая жидкость, нагретая в ТА, греет другую (патенты № RU2075626, RU2077639, RU2043532).



1 – ДВС; 2 – водоводяной охладитель; 3 – ТА; 4 – подогреватель масла; 5 – охладитель масла; 6 – циркуляционный масляный насос ДВС; 7 – фильтрующее масло устройство; 8 – насос пресной воды ДВС; 9 – управляющая арматура; 10 – циркуляционный масляный электронасос; 11 – электронасос пресной воды

Рис. 8. Схема предпускового прогрева ДВС с ТА для прогрева пресной воды и масла в водомасляном подогревателе



1 – ДВС; 2 – циркуляционный масляный насос ДВС; 3 – охладитель масла; 4 – фильтрующее масло устройство; 5 – ТА для нагрева масла; 6 – водоводяной охладитель; 7 – насос пресной воды ДВС; 8 – ТА для нагрева пресной воды; 9 – термостаты; 10 – клапаны, управляющие прогревом ДВС; 11 – управляющая арматура; 12 – циркуляционный масляный электронасос; 13 – электронасос пресной воды

Рис. 9. Схема предпускового прогрева ДВС с ТА, заряжаемым теплом отходящих газов

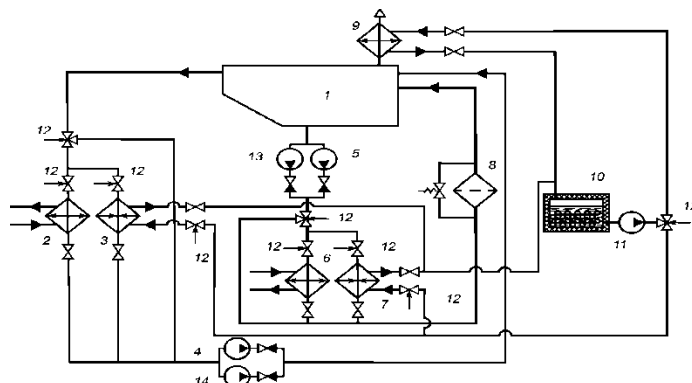
В ряде публикаций для передачи тепловой энергии от ТА к технологическим жидкостям используется промежуточный теплоноситель (SU1002654). Это позволяет решить проблему температурной совместимости для ряда материалов, но требует дополнительных теплообменников и насоса для организации циркуля-

ции промежуточного теплоносителя. Проблему с дополнительными теплообменниками обходят, используя в качестве промежуточного теплоносителя воздух, который вентилятором подается в ТА, нагревается, а затем поступает в картерное пространство двигателя, где подогревает смазочное масло, коренные, шатун-

ные подшипники, конструкции ДВС окружающие картерное пространство (RU2170851, RU2153098).

На рис. 10 представлена перспективная схема предпускового прогрева ДВС с ТА, заряжаемым от тепла промежуточного теплоносителя, который в свою очередь нагревается от отходящих газов ДВС в теплообменнике (JP60013980). Использование промежуточного теплоносителя позволяет обойти проблемы температурной совместимости, нагреваемых технологических жидкостей и ряда ТАМ, с высокой температурой газового потока, которые присутствуют в принципиальной схеме, представленной на рис. 9. Конструкция ТА, применяемого в данной схеме (на

рис. 10 показан ТА с капсулированным ТАМ), может быть теплоемкостного типа с твердым либо жидким ТАМ или с ТАФП. В ряде вариантов подобных схем промежуточный теплоноситель выполняет роль ТАМ. Конструкция ТА при этом наиболее простая. Имеются также схемы, похожие на представленную, в которых роль ТАМ в ТА выполняет смазочное масло. В этом случае ТА имеет внутри теплообменник для передачи тепла от промежуточного теплоносителя к маслу. Преимущество в этом случае состоит в том, что в схеме будет отсутствовать теплообменник с развитой поверхностью для нагрева масла.



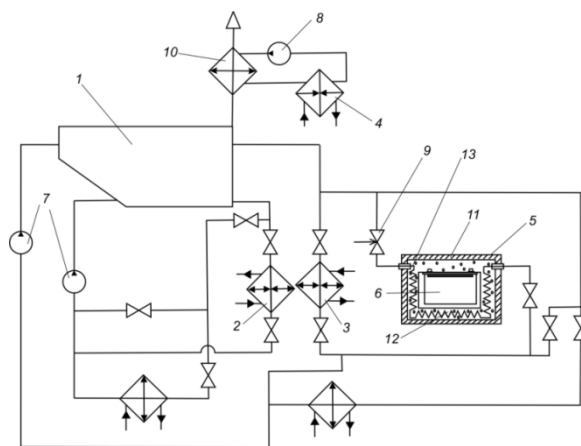
1 – ДВС; 2 – водоводяной охладитель; 3 – подогреватель пресной воды; 4 – насос пресной воды ДВС; 5 – циркуляционный масляный насос ДВС; 6 – охладитель масла; 7 – подогреватель масла;

8 – фильтрующее масло устройство; 9 – подогреватель промежуточного теплоносителя; 10 – ТА; 11 – насос промежуточного теплоносителя; 12 – управляющая арматура; 13 – циркуляционный масляный электронасос; 14 – электронасос пресной воды

Рис. 10. Схема предпускового прогрева ДВС с ТА, заряжаемым теплом отходящих газов

Помимо прогрева перед началом работы непосредственно ДВС имеющего электростартерный пуск желателен также прогрев электростартерных аккумуляторных батарей, энергоемкость которых существенно зависит от температуры электролита. При снижении температуры энергоемкость уменьшается, что связано с уменьшением подвижности и скорости взаимодействия ионов в электролите, ростом внутреннего электрического сопротивления. В ряде схем аккумуляторную батарею помещают в теплоизолированный кожух, внутри которого расположен змеевик для ее подогрева перед пуском ДВС. Греющей средой является одна из технологических жидкостей которая, проходя ТА встроенный в ее систему, нагревается и поступает в змеевик теплоизолированного кожуха,

где отдает часть тепла аккумуляторной батарее, а затем направляется в двигатель. Однако скорость прогрева аккумуляторной батареи при такой конструкции недостаточна. На рис. 11 представлена рациональная схема предпускового прогрева ДВС с ТА для электрической аккумуляторной батареи (UA60016A). Особенностью данной схемы является то, что она имеет дополнительный ТА, внутри которого располагается аккумуляторная батарея. Зарядка данного ТА осуществляется от тепла циркулирующей охлаждающей жидкости. Конструкция системы позволяет снизить темп остывания аккумуляторной батареи и сохранить приемлемые температурные условия электрической батареи для пуска ДВС.



1 – ДВС; 2, 3, 4, 10 – теплообменные аппараты; 6 – аккумуляторная батарея; 7, 8 – насосы; 9 – клапан; 11 – прочный корпус; 12 – теплоаккумулирующий материал; 13 – нагреватель

Рис. 11. Принципиальная схема системы предпускового прогрева ДВС с ТА для аккумуляторной батареи

Выбор схемы предпускового прогрева ДВС СЭУ СП существенно зависит от режимов работы судна, конструкции и комплектации его энергетической установки, принятого ТАМ и конструктивных особенностей ТА, что требует учета данных особенностей при моделировании систем.

Выводы. 1. Выполненные исследования позволили определить перспективные схемы систем предпус-

кового прогрева ДВС СЭУ СП, которые удовлетворяют критериям принятых нормативных требований, а также себестоимости системы, конструктивной и технологической простоты, ее надежности и безопасности при эксплуатации. 2. Выбранные перспективные схемы систем предпускового прогрева ДВС СЭУ СП являются основой для дальнейшего моделирования и определения их оптимальных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харитонов Ю. Н. Объекты портовой инфраструктуры Украины: состав судов и плавсредств портофлота [Текст] / Ю. Н. Харитонов, В. И. Шалухин – Судостроение и морская инфраструктура – Николаїв : НУК № 1(1), 2014. – С. 23–27.
2. Ahlvik P. «Thermostore – Field tests in Luleå and Stockholm», Thermostore, 1999.
3. Vasiliev L. L. Latent heat storage modules for preheating internal combustion engines: application to a bus petrol engine [Text] / L. L. Vasiliev, V. S. Burak, A. G. Kulakov, D. A. Mishkinis, P. V. Bohan // Appl. Therm. Eng. – 2000. – Vol. 20 – P. 913–923.
4. Vasiliev L. L. Heat storage device for pre-heating of the internal combustion engine for starting [Text] / L. L. Vasiliev, V. S. Burak, A. G. Kulakov, D. A. Mishkinis, P. V. Bohan // Int. J. Therm. Sci. – 1999 – Vol. 38 – P. 98–104.
5. Гулин С. Д. Система разогрева двигателя с помощью теплового аккумулятора [Текст] / С. Д. Гулин, В. В. Шульгин, С. А. Яковлев // Лесная промышленность. – № 3. – 1996. – С. 20–21.
6. Голеншин В. В. Экспериментальные исследования температурного состояния оборудования и корпусных конструкций в машинном отделении малотоннажного судна [Текст] / В. В. Голеншин, В. И. Шалухин, А. В. Варшамов – Вісник Інженерної академії України. – К. : КНАУ–2011. – № 2. – С. 159–162.
7. Дружинин П. В. Предпусковая подготовка двигателей внутреннего сгорания при технической эксплуатации транспортных машин [Текст] / П. В. Дружинин, А. А. Коричев, И. А. Косенков, Е. Ю. Юрчик – Техніко-технологічні проблеми сервісу. – 2009. – Том 1. – № 10. – С. 6–12.
8. Шульгин В. А. Теория и практика применение в автотранспортных средствах тепловых аккумуляторов фазового перехода : дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Шульгин. – СПб, 2004. – 501 с.
9. Обзор конструкций тепловых аккумуляторов фазового перехода для системы предпускового подогрева двигателя легкового автомобиля / И. Г. Леванов, А. А. Дойкин // Наука ЮУРГУ. Материалы 66-й научной конференции профессорско-педагогического состава, аспирантов и сотрудников. – 2014. – С. 235–240.
10. Ildikó Hunyadi-Kiss. Engine pre-warming heat storage systems as solutions to cold-starting problems of diesel engines [Text] // Period. Polytech. Transp. Eng., Vol. 26, No. 1–2, 1998. – P. 115–130.
11. Pertti Kauranen Tuomo Elonen. Temperature optimization of a diesel engine using exhaust gas heat recovery and thermal energy storage (Diesel engine with thermal energy storage) [Text] / Pertti Kauranen Tuomo Elonen, Lisa Wikstrom, Jorma Heikkinen, Juhani Laurikko – Applied Thermal Engineering, Elsevier, 2009, 30 (6–7). – P. 631.

А. В. Варшамов,

ЧНУ ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

В. В. Голеншин, М. Ю. Христов,

*Миколаївський університет кораблебудування
ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

ВИБІР ПЕРСПЕКТИВНИХ СХЕМ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ ПЕРЕДПУСКОВОГО ПРОГРІВУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Виконано аналіз існуючих схем теплоакумулюючих систем, які забезпечують передпусковий прогрів двигунів внутрішнього згоряння. На підставі прийнятих критеріїв виконано вибір перспективних теплоакумулюючих систем.

Ключові слова: портофлот; двигуни внутрішнього згоряння; тепловий акумулятор.

A. Varshamov,

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolayiv, Ukraine

V. Holenshyn, M. Hprytonov,

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

SELECTION OF PROMISING SCHEMES OF HEAT STORAGE SYSTEMS FOR PRE-HEATING OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

The analysis of existing systems heat energy storage, which provide the pre-heating of ship internal combustion engines was performed. On the basis of accepted criteria was made the selection of promising schemes of systems of heat storage for of pre-heating of ship internal combustion engines

Key words: fleet; internal combustion engines; heat storage.