

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕПЛОЙ ПОДГОТОВКИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В. И. Кочергин^{1,2}

¹ *Сибирский государственный университет водного транспорта,
Новосибирск, Российская Федерация*

² *Сибирский государственный университет путей сообщения,
Новосибирск, Российская Федерация*

В условиях низких температур окружающей среды происходит отрицательное влияние на эксплуатационные показатели энергетических установок – увеличение нагрузки на подвижные части вследствие увеличения уровня неравномерности вращения валов и валопроводов судовых энергетических установок. Обогрев энергетической установки в холодное время года особенно актуален для режимов горячего простоя, характерных для любого вида транспортных средств. Отрицательное влияние низких температур окружающей среды наиболее заметно проявляется в период пуска двигателей внутреннего сгорания. Нормативные документы не определяют величины выбросов вредных веществ при работе двигателей в режиме тепловой подготовки. Для поддержания оптимального теплового состояния судовых энергетических установок с целью обеспечения их экономичности, безотказности и ресурсных показателей необходимо широкое использование и совершенствование методов тепловой подготовки. В качестве основных критериев такого совершенствования можно использовать следующие показатели: эффективность тепловой подготовки, величину затрат энергии, трудоёмкость монтажа, мобильность, экологическую и пожарную безопасность. Устройства предпускового подогрева на основе каталитических нагревательных элементов отвечают предъявляемым критериям качества тепловой подготовки энергетических установок, особенно в части обеспечения экологичности процесса. Решена задача предварительного испарения жидкого топлива. Экспериментальные исследования каталитических нагревательных устройств, работающих на газовом или дизельном топливе с предварительным испарением, определили перспективность реализации технологий каталитического окисления. Полученные результаты создают возможность разработки экологически безопасных и эффективных предпусковых подогревателей, использующих в качестве источника тепловой энергии дизельное топливо как одно из наиболее распространённых видов топлива судовых энергетических установок.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, тепловая подготовка, предпусковой подогреватель, каталитическое окисление, дизельное топливо.

Для цитирования: *Кочергин В. И.* Совершенствование методов тепловой подготовки судовых энергетических установок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 85–92. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-85-92.

Введение

Эксплуатация судовых энергетических установок (СЭУ) в условиях низких температур окружающего воздуха приводит к увеличению динамических нагрузок на подвижные части вследствие увеличения степени неравномерности вращения валов и валопроводов СЭУ и к ухудшению качества рабочих процессов. Температура наружного воздуха оказывает влияние и на иные технико-экономические показатели. Например, в зависимости от её величины, пропорционально изменению плотности поступающего в цилиндры воздуха изменяется и мощность СЭУ, оснащенных дизельными двигателями внутреннего сгорания (ДВС), а расход топлива может оказаться на 12,7 % меньше или же на 33 % больше по отношению к значениям расхода при нормальных условиях. Аналогично при изменении температуры в течение рейса может изменяться и расход масла дизельных ДВС в пределах уменьшения до 22,4 % и увеличения до 35,5 % [1]. Температура атмосферного воздуха при её понижении оказывает отрицательное влияние и на энергетическую эффективность газотурбинных и паротурбинных энергетических установок [2].

При эксплуатации судов в холодное время года одной из важнейших задач становится обогрев энергетической установки, особенно в режиме горячего отстоя, характерного и неизбежного для любого вида транспортных средств. На речном транспорте проблема нахождения СЭУ в режиме горячего отстоя возникает в связи с технологическими причинами, условиями работы во льдах и необходимостью исполнения графика движения, особенно в период продления навигации. Этот период может составлять значительную часть валового времени рейса. При этом суда у причалов, на рейдах, равно как и тепловозы на железнодорожных станциях или автомобили на парковках, тратят практически вхолостую топливные ресурсы, загрязняя атмосферу вредными веществами отработавших газов. Аналогичные проблемы существуют и на ледокольном флоте, а также при нахождении караванов транспортных судов в ожидании разгрузки, при эксплуатации плавучих кранов и технических судов [3, 4]. Кроме того, оседание на льду сажи от выбросов судовых двигателей приводит к снижению его отражающей способности и, как следствие, к ускорению таяния ледового покрова [5].

Отрицательное влияние низких температур окружающей среды наиболее заметно проявляется в период пуска ДВС. В первую очередь, это проявляется в изменении зазоров по причине воздействия температурных деформаций. Изменение рабочих зазоров оказывает влияние на характер смазывания, трения и износа деталей. Кроме того, при пуске холодного двигателя смазка деталей некоторое время может осуществляться только за счёт остаточной масляной плёнки. Пригодность ДВС к режиму пуска можно оценить, например, используя показатели реального смазочного процесса на основании параметра «суммарная протяжённость контактов в подшипниках коленчатого вала». При увеличении частоты вращения величина суммарной протяжённости зазоров в подшипниках увеличивается, но растёт также и интенсивность их износа [6].

Следовательно, для поддержания оптимального теплового состояния энергетических установок с целью обеспечения их экономичности, безотказности и ресурсных показателей необходимо широкое использование и совершенствование методов тепловой подготовки СЭУ [4, 7]. Тепловая подготовка, как правило, осуществляется в виде предпускового подогрева либо работы СЭУ без нагрузки в режиме прогрева. В качестве основных критериев выбора метода тепловой подготовки можно использовать следующие показатели: эффективность тепловой подготовки, оцениваемую по достигаемому температурному режиму или по величине потерь эффективности функционирования; величину энергозатрат; трудоёмкость монтажа и стоимость дополнительного оборудования; мобильность, определяющую необходимость использования стационарных источников тепловой энергии; экологичность и пожаробезопасность.

Использование каталитических источников тепла

В наибольшей степени удовлетворяют всем предъявляемым критериям устройства, использующие каталитические источники тепла. Каталитические технологии, ввиду явных преимуществ беспламенного и, следовательно, безопасного окисления топлива, могут послужить основой для совершенствования различных технологических процессов, связанных с тепловой подготовкой СЭУ. Показатели тепловой эффективности у каталитических нагревательных элементов с температурой излучения 300–450 °С выше, чем при использовании традиционного пламенного горения, и при этом в полной мере обеспечивается пожарная безопасность. Кроме того, при замене традиционных предпусковых подогревателей энергетических установок с ДВС на устройства с каталитическими источниками тепла появляется возможность в значительной степени повысить экологическую безопасность эксплуатации СЭУ.

Существуют достаточно жёсткие требования к соблюдению экологических показателей судовых двигателей, в том числе при нахождении судов в портах. Но нормативными документами, регламентирующими требования к энергетическим установкам в части выброса вредных веществ в атмосферу, не нормируется состав отходящих газов при работе энергетических установок в режиме тепловой подготовки. Известные системы предпускового подогрева в большинстве случаев характеризуются достаточной эффективностью, но при этом отсутствуют достоверные данные о величине выбросов вредных веществ в атмосферу, образующихся в процессе их работы.

Для реализации перспективной схемы предпускового подогрева был изготовлен действующий макетный образец универсального предпускового подогревателя, работающего на газовом топливе [8–10]. В конструкции макетного образца использованы четыре цилиндрических каталитических нагревательных элемента с целью равномерного распределения пропан-

бутановой воздушной газовой смеси, для которых предусмотрено компактное газораспределительное устройство. Испытания устройства подтвердили его эффективность, в частности установлено, что по сравнению с серийными предпусковыми устройствами содержание СН уменьшается в 5,8 раза, а содержание СО и показатели дымности близки к нулю.

Поскольку одним из наиболее распространённых типов СЭУ являются дизельные ДВС, дальнейшие исследования были направлены на изучение возможности каталитического окисления дизельного топлива. Каталитическое горение жидких углеводородов является более сложным процессом по сравнению со сжиганием газообразного топлива. Прежде всего, это связано с тем, что в случае применения жидкого топлива появляется дополнительный физический процесс – предварительное испарение. Ключевыми задачами в этом случае являются разработка конструкции испарительного устройства, выбор химического состава катализатора и организация процессов теплопередачи.

Дизельное топливо представляет собой многокомпонентную смесь, включающую в себя нафты, парафиновые, ароматические углеводороды. Эти соединения характеризуются различными физическими свойствами (вязкость, температура самовоспламенения, температура кипения и др.). Кроме того, наличие серы в дизельном топливе относится к неблагоприятным факторам, поскольку сера может снизить активность катализатора за относительно короткий промежуток времени. Поэтому при испытаниях макетного образца каталитического нагревательного элемента, работающего на жидком топливе, отработка конструкции проводилась на топливе, содержащем в своём составе один углеводород – н-декан. Далее макетный образец испытывался уже на стандартном дизельном топливе с низким содержанием серы. Температуру поверхности катализатора с целью контроля равномерности распределения топлива определяли с помощью закрепленных на поверхности нагревательного элемента термомпар.

Конструкция действующего макетного образца такого устройства представлена на рис. 1.

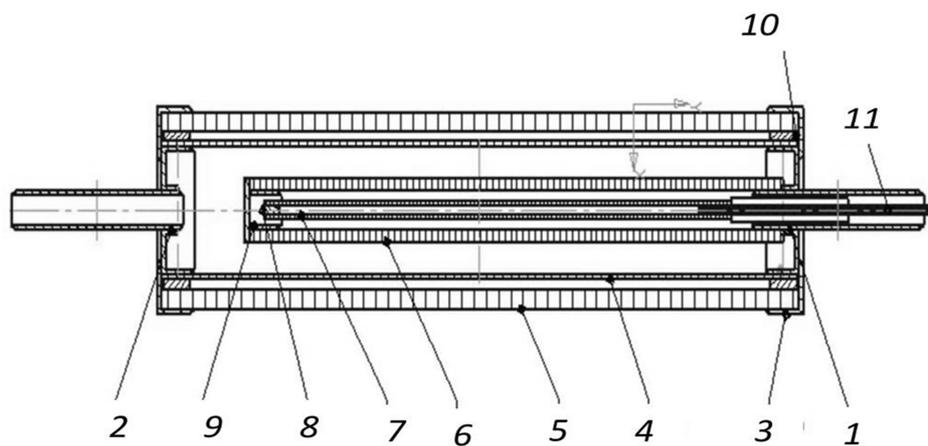


Рис. 1. Устройство каталитического нагревательного элемента:

- 1 – втулка с патрубком жидкостная; 2 – втулка с патрубком газовая; 3 – колпачок;
- 4 – распределительный блок; 5 – каталитический блок; 6 – испарительный блок;
- 7 – капиллярный блок; 8 – пробка капиллярного блока; 9 – пробка испарительного блока;
- 10 – дистанцирующая вставка; 11 – капилляр ввода жидкого топлива

В устройстве имеются детали для ввода газообразного топлива, поскольку работа данного каталитического нагревательного элемента состоит из двух режимов – пускового и штатного. Во время пускового режима в патрубок для подачи газа подаётся и воспламеняется пропан-бутановая газовая смесь. В реальных условиях эксплуатации воспламенение может производиться от электрической запальной свечи либо по принципу самовоспламенения с помощью каталитического окислительного устройства. Затем, после достижения рабочей температуры, обеспечивающей испарение и окисление жидкого топлива, подача газа отключается и устройство переходит в штатный режим.

Используемый при этом каталитический блок представляет собой многослойную трубчатую конструкцию, выполненную из сетки с нанесённым на неё слоем катализатора, в качестве которого использовалась платина. Носителем катализатора является отожженная сетка из жаро-

прочной стали. При высокотемпературной обработке жаропрочных сталей, содержащих алюминий, на их поверхностях образуется плотная плёнка из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, позволяющая значительно увеличить площадь контактной поверхности и выполняющая защитные антикоррозионные функции. Для формирования слоя оксида алюминия использовался процесс Байера, основанный на образовании гидроксида алюминия из растворов алюмината натрия [11–13]. Такой способ позволяет получать слои Al_2O_3 толщиной от нескольких микрон до нескольких десятков микрон с удельной поверхностью оксида алюминия 150–200 м²/г.

Результаты исследований

Результаты испытаний определили, что наибольшая температура при работе на н-декане достигается в центре нагревательного элемента и составляет 519–540 °С при выходе устройства на стационарный режим, а при работе устройства на дизельном топливе класса Euro 5 с содержанием серы 50 ppm температура в центре нагревательного элемента изменялась от 493 до 449 °С. Кроме того, в процессе проведения ресурсных испытаний проводились замеры концентраций вредных выбросов в отходящих газах каталитического нагревательного элемента и анализировались данные о содержании вредных веществ при работе каталитического элемента при различных уровнях расхода топлива. Полученные данные позволяют с уверенностью утверждать, что по сравнению с показателями вредных выбросов предпусковых подогревателей известных марок с пламенным горением каталитические нагревательные элементы имеют лучшие показатели экологичности.

Результаты испытаний каталитического нагревательного элемента, использующего жидкое топливо, при работе на н-декане в штатном режиме представлены на рис. 2.

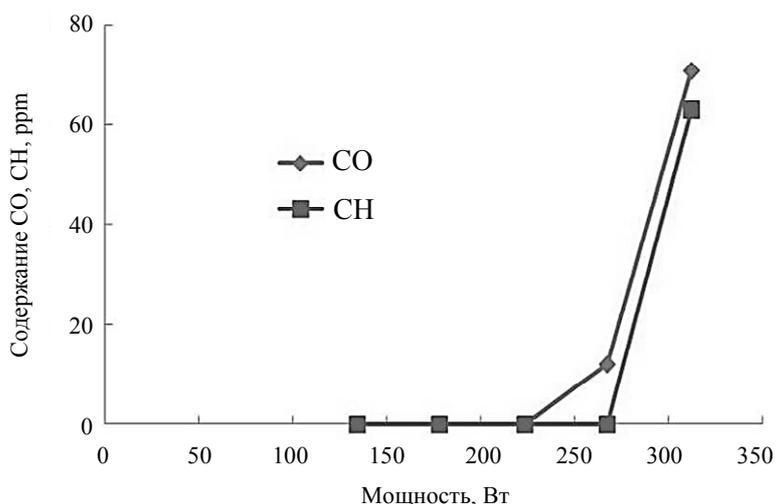


Рис. 2. Зависимости содержания вредных веществ в отходящих газах каталитической нагревательной установки от мощности при работе на н-декане

Важным результатом проведённых экспериментов является тот факт, что температура во внутренней полости испарителя во всём исследуемом диапазоне мощности была выше 400 °С. Это означает, что разработанная конструкция позволяет обеспечить необходимый теплоперенос в испарительную часть устройства при использовании дизельного топлива и испарение его тяжёлых фракций, максимальная температура кипения которых составляет приблизительно 360 °С. Мощность нагревательного элемента при этом изменялась в диапазоне 135–355 Вт, или в единицах удельной мощности – в диапазоне 7–19 кВт/м². Диапазон мощности разработанного нагревательного устройства ограничен в максимальном значении достижением значений содержания несгоревших CO и CH в отходящих газах более 100 ppm, контролируемых у внешней поверхности каталитического блока, а в минимальном значении – температурой внутри слоев каталитического блока, определяющей нижнюю границу процесса каталитического горения. В данном случае нижней температурной границей, ниже которой возможно прекращение каталитической реакции, является значение 200 °С. Таким образом, диапазон мощности, в котором исследуемый макетный образец устойчиво работает с минимальными выбросами CO и CH, составляет 135–355 Вт.

Результаты испытаний на дизельном топливе в штатном режиме представлены на рис. 3.

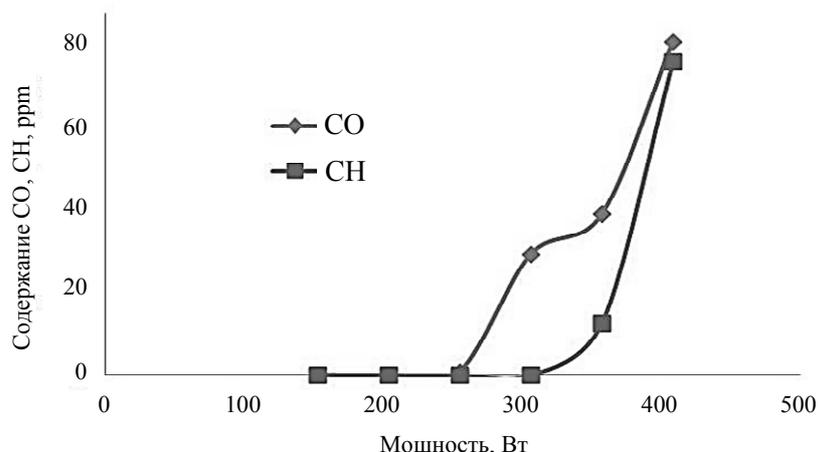


Рис. 3. Зависимости содержания вредных веществ в отходящих газах каталитической нагревательной установки от мощности при работе на дизельном топливе

При выполнении ресурсных испытаний макетный образец работал на дизельном топливе. В течение всей наработки каталитического нагревательного элемента производился контроль содержания CO и CH в отходящих газах при постоянной мощности 306 Вт. Результаты испытаний представлены на рис. 4.

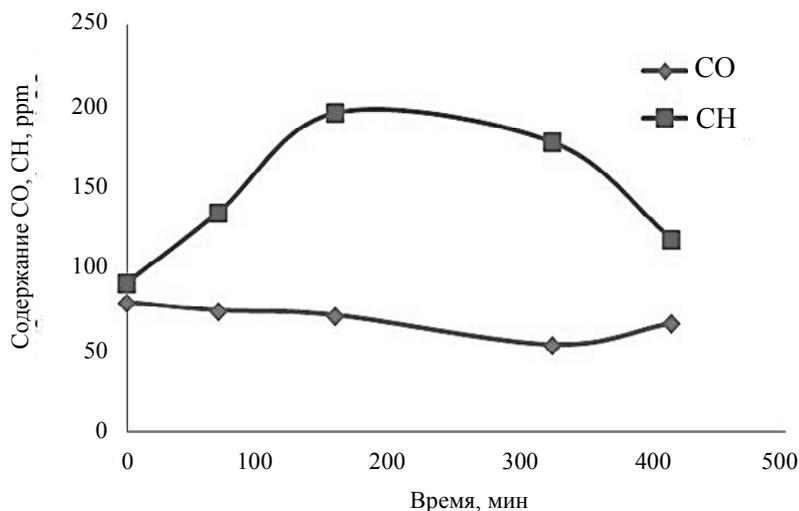


Рис. 4. Изменение содержания CO, CH в отходящих газах при продолжительной работе каталитического обогревателя на дизельном топливе в штатном режиме

Для оценки экономической эффективности массового использования каталитических способов тепловой подготовки энергетических установок была разработана методика теплового расчёта каталитических обогревателей и произведено сравнение укомплектования парка локомотивов станции «Инская» автономными каталитическими подогревателями, работающими на газовом топливе, и использована в практике работы маневровых локомотивов в режиме так называемого «горячего простоя». Выбор в качестве базового предприятия железнодорожного транспорта объясняется отсутствием доступного аналога на речном либо морском флоте. Результаты оценки экономической эффективности определили, что в этом случае экономия от разницы эксплуатационных расходов парка локомотивов составляет 13 671 264 руб. при суммарных капитальных вложениях на приобретение и установку каталитических предпусковых подогревателей для 85 депо станции «Инская» – 12 750 000 руб. со сроком окупаемости 11 мес.

При этом основным положительным эффектом от внедрения каталитических технологий тепловой подготовки следует считать отсутствие вредных выбросов. В противном случае, принимая во внимание, что время работы двигателей локомотивов на холостом ходу с учётом стоянок в пути следования, преимущественно происходящих на территории населённых пунктов, колеблется в пределах от 40 до 78 %, существующая технология прогрева дизельных двигателей на холостом ходу в значительной степени способствует отрицательному воздействию на окружающую среду. Данный вывод справедлив и для СЭУ, применение каталитических технологий на которых аналогичным образом может способствовать снижению вредных выбросов СЭУ при стоянке судов на рейде и в портах.

Выводы

1. Низкие температуры окружающего воздуха оказывают отрицательное влияние на эксплуатационные показатели энергетических установок. Основным фактором, вызывающим изменение характера неравномерности вращения, является повышенный уровень трения в сопряжениях вследствие повышения уровня масла и уменьшения текущего значения диаметрального зазора в подшипниках коленчатого вала.

2. Нормативные документы, регламентирующие требования к содержанию вредных веществ в отработавших газах энергетических установок, целесообразно дополнить требованиями к величинам выбросов при различных режимах тепловой подготовки в условиях низких температур.

3. Предъявляемым критериям качества тепловой подготовки энергетических установок в полной мере, особенно в части обеспечения экологичности процесса, отвечают устройства предпускового подогрева на основе каталитических нагревательных элементов.

4. Экспериментальные исследования каталитического нагревательного устройства, работающего на дизельном топливе с предварительным испарением, показали перспективность использования дизельного топлива для реализации технологий каталитического окисления. Полученные результаты создают возможность разработки экологически безопасных и эффективных предпусковых подогревателей, использующих в качестве источника тепловой энергии дизельное топливо как одно из наиболее распространённых видов топлива для СЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соболенко А. Н., Симашов Р. Р., Глазюк Д. К., Маницын В. В.* Определение расхода топлива и моторного масла судовыми дизелями с учётом изменения внешних условий эксплуатации // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2017. № 3. С. 62–73.
2. *Борейко Р. М.* Расчёт энергетической эффективности парогазовых установок при отрицательной температуре атмосферного воздуха // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. 2017. № 3–4. С. 109–111.
3. *Атлас Б. А., Морозов А. И., Назаров Н. Н., Тинкельман И. А.* Организация перевозок в период продления навигации. М.: Транспорт, 1989. 127 с.
4. *Сычушкин И. В.* Регулирование теплового состояния судовой энергетической установки в режиме горячего отстоя транспортного средства: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2006. 28 с.
5. *Osama H. G.* Performance and combustion characteristic of CI engine fueled with hydrogen enriched diesel // International Journal of Hydrogen Energy. 2013. N. 38. P. 15469–15476.
6. *Калимуллин Р. Ф.* Научные основы поддержания работоспособности автомобильных двигателей методами трибодиагностики: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Оренбург, 2016. 34 с.
7. *Тимофеев В. Н.* Методы и средства автоматического регулирования теплового состояния судовых ДВС: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2015. 49 с.
8. *Кочергин В. И., Далюк И. К., Порсин А. В., Куликов А. В., Рогожников В. Н.* Перспективные направления обеспечения экологичности предпускового подогрева транспортных средств в условиях эксплуатации // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 3. С. 156–160.
9. *Кочергин В. И., Далюк И. К., Красников В. В.* Перспективные направления использования газомоторного топлива на железнодорожном транспорте // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщения. 2015. № 1. С. 19–21.
10. *Пат. РФ № 150092.* Каталитический обогреватель / Далюк И. К., Кочергин В. И., Порсин А. В., Куликов А. В.; опубл. 27.01.15.
11. *Porsin A., Kulikov A., Daljuk I., Rogozhnikov V., Kochergin V.* Catalytic reactor with metal gauze catalysts for combustion of liquid fuel // Chemical Engineering Journal. 2015. N. 282. P. 233–240.

12. Рогожников В. Н. Разработка способа формирования слоя Al_2O_3 на структурированном металлическом носителе для каталитических применений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2017. 23 с.

13. Li H., Addai-Mensaha J., Thomas J. C., Gerson A. R. The crystallization mechanism of $Al(OH)_3$ from sodium aluminate solutions // Journal of Crystal Growth. 2005. Vol. 279. P. 508–520.

Статья поступила в редакцию 10.01.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кочергин Виктор Иванович – Россия, 630099, Новосибирск; Сибирский государственный университет водного транспорта; канд. техн. наук, доцент; докторант кафедры судовых энергетических установок; Россия, 630049, Новосибирск; Сибирский государственный университет путей сообщения; зав. кафедрой технологии транспортного машиностроения и эксплуатации машин; vkplus2011@yandex.ru.



IMPROVING METHODS OF THERMAL PREPARATION OF SHIP POWER PLANTS

V. I. Kochergin^{1,2}

¹ *Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation*

² *Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract. Low ambient temperatures negatively impact the performance criteria of the ship power plants: increasing load onto the moving parts due to the growing irregularity of the shaft rotation speed in the power plants. Heating of a power plant in cold seasons is especially important for the modes of hot idle time, which are typical for all kinds of transport. Negative impact of low ambient temperatures most notably becomes apparent at starting the internal combustion engines. Normative documents do not determine the size of harmful substance discharge during the engine operation in the reset mode. To maintain the optimum thermal condition of the ship power plants for the purpose of ensuring their profitability, non-failure operation and resource indicators it is necessary to develop and widely use the thermal preparation methods. As the main criteria of such improvement it is possible to use the following indicators: efficiency of thermal preparation, amount of power inputs, labor intensiveness during installation, mobility, environment protection and fire safety. Pre-start heating units on the base of catalytic heating elements meet the required quality criteria of thermal preparation of power plants, especially regarding the environmental friendliness of the process. The problem of preliminary evaporation of liquid fuel has been solved. Pilot studies of the catalytic heating elements operating on gas or diesel fuel with preliminary evaporation have defined the potential of catalytic oxidation technologies. The results obtained allow further development of ecologically safe and effective pre-starting preheaters that use diesel fuel as a source of thermal energy and the most widespread type of fuel for ship power plants.

Key words: ship power plant, thermal preparation, pre-starting preheater, catalytic oxidation, diesel fuel.

For citation: Kochergin V. I. Improving methods of thermal preparation of ship power plants. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2019;2:85-92. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-85-92.

REFERENCES

1. Sobolenko A. N., Simashov R. R., Glaziuk D. K., Manitsyn V. V. Opredelenie raskhoda topliva i motor-nogo masla sudovymi dizeliami s uchetom izmeneniia vneshnikh uslovii ekspluatatsii [Defining fuel and motor oil consumption by ship diesels in terms of external conditions of operation]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2017, no. 3, pp. 62-73.

2. Boreiko R. M. Raschet energeticheskoi effektivnosti parogazovykh ustanovok pri otritsatel'noi temperature atmosfernogo vozdukha [Analysis of power efficiency of steam-gas plants under atmospheric temperatures below zero]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*, 2017, no. 3-4, pp. 109-111.
3. Atlas B. A., Morozov A. I., Nazarov N. N., Tinkel'man I. A. *Organizatsiia perezovok v period prodleniia navigatsii* [Organization of transportation in the period of prolonged navigation]. Moscow, Transport Publ., 1989. 127 p.
4. Sychushkin I. V. *Regulirovanie teplovogo sostoiianiia sudovoi energeticheskoi ustanovki v rezhime goriachego otstoia transportnogo sredstva: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Regulating the thermal condition of a ship power plant in the hot idling mode: abstr. diss. cand. tech. sci.]. Nizhnii Novgorod, 2006. 28 p.
5. Osama H. G. Performance and combustion characteristic of CI engine fueled with hydrogen enriched diesel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2013, no. 38, pp. 15469–15476.
6. Kalimullin R. F. *Nauchnye osnovy podderzhaniia rabotosposobnosti avtomobil'nykh dvigatelei metodami tribodiagnostiki: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Scientific principles of keeping work capacity of the car engines using tribomonitoring methods: abstr. diss. ... Doc. tech. sci.]. Orenburg, 2016. 34 p.
7. Timofeev V. N. *Metody i sredstva avtomaticheskogo regulirovaniia teplovogo sostoiianiia sudovykh DVS: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Methods and means of automatic regulating of thermal state of ship ICEs: abstr. diss. Doc. tech. sci.]. Saint-Petersburg, 2015. 49 p.
8. Kochergin V. I., Daliuk I. K., Porsin A. V., Kulikov A. V., Rogozhnikov V. N. Perspektivnye napravleniia obespecheniia ekologichnosti predpuskovogo podogreva transportnykh sredstv v usloviakh ekspluatatsii [Promising trends in providing environmentally friendly pre-start heating of vehicles under operation]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*, 2014, no. 3, pp. 156-160.
9. Kochergin V. I., Daliuk I. K., Krasnikov V. V. Perspektivnye napravleniia ispol'zovaniia gazomotornogo topliva na zheleznodorozhnom transporte [Promising trends in using gas-motor fuel in the railway transport]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia*, 2015, no. 1, pp. 19-21.
10. Daliuk I. K., Kochergin V. I., Porsin A. V., Kulikov A. V. *Kataliticheskii obogrevatel'* [Catalytic heater]. Patent RF, no. 150092, 27.01.15.
11. Porsin A., Kulikov A., Dalyuk I., Rogozhnikov V., Kochergin V. Catalytic reactor with metal gauze catalysts for combustion of liquid fuel. *Chemical Engineering Journal*, 2015, no. 282, pp. 233-240.
12. Rogozhnikov V. N. *Razrabotka sposoba formirovaniia sloia Al₂O₃ na strukturirovannom metallich-eskom nositele dlia kataliticheskikh primenenii: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Developing the technique of forming the layer of Al₂O₃ on structured metallic carrier for catalytic use: abstr. diss. cand. tech. sci.]. Novosibirsk, 2017. 23 p.
13. Li H., Addai-Mensaha J., Thomas J. C., Gerson A. R. The crystallization mechanism of Al(OH)₃ from sodium aluminate solutions. *Journal of Crystal Growth*, 2005, vol. 279, pp. 508-520.

The article submitted to the editors 10.01.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kochergin Victor Ivanovich — Russia, 630099, Novosibirsk; Siberian State University of Water Transport; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Doctoral Candidate of the Department of Ship Power Plants; Russia, 630049, Novosibirsk; Siberian State Transport University; Head of the Department of Technology of Transport Mechanical Engineering and Machine Operation; vkplus2011@yandex.ru.

