

УДК 62-242.3

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА СЕРНИСТЫХ СОРТАХ ТОПЛИВ

Матвеев Юрий Иванович¹, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации судовых энергетических установок

e-mail: matveeveseu@mail.ru

Курицын Сергей Юрьевич¹, аспирант

e-mail: kuritsynnsergey@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Большая часть морского и речного флота оборудована двигателями внутреннего сгорания, работающими на жидком топливе. Нефтеперерабатывающие заводы для потребителей предлагают разные виды топлива. Его стоимость зависит от концентрации в топливе серы. Сера является вредной примесью, и её наличие в топливе, приводит к уменьшению экологичности и ускоренному износу деталей цилиндропоршневой группы судового двигателя. Не смотря на запрет использования высокосернистого топлива, судовладельцы потребляют его, из-за низкой стоимости. Для этого суда оборудуют скрубберами, позволяющими отделять серу от выхлопных газов двигателя, тем самым предотвращая загрязнения окружающей среды. Высокосернистое топливо, сгорая в камере сгорания, образует сернистый газ и ангидрид серы, которые при взаимодействии с водой, образуют сернистую и серную кислоту, вызывая коррозию деталей цилиндропоршневой группы. Благоприятные условия для образования кислот происходят при низких температурах «зеркала» цилиндра. Соответственно, для исключения воздействия продуктов горения серы на детали цилиндропоршневой группы, необходимо эксплуатировать двигатель на режимах, исключающих низкие температуры «зеркала» цилиндра, а также использовать смазочное масло с присадками, нейтрализующие продукты горения серы.

Ключевые слова: Нефть, высокосернистое топливо, цилиндропоршневая группа, камера сгорания, электрохимическая коррозия.

FEATURES OF OPERATION OF CYLINDER PISTON PARTS GROUPS OF MARINE DIESEL ENGINES BASED ON SULFUR-BASED FUELS

Matveev Yuri Ivanovich¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Operation of Marine Power Plants

e-mail: matveeveseu@mail.ru

Kuritsyn Sergey Yurievich¹, Doctoral Student

e-mail: kuritsynnsergey@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Most of the marine and river fleet is equipped with internal combustion engines powered by liquid fuels. Refineries offer different types of fuel to consumers. Its cost depends on the concentration of sulfur in the fuel. Sulfur is a harmful impurity, and its presence in the fuel leads to a decrease in environmental friendliness and accelerated wear of parts of the cylinder piston group of a marine engine. Despite the ban on the use of high-sulfur fuel, shipowners consume it because of its low cost. For this purpose, vessels are equipped with scrubbers that allow separating sulfur from engine exhaust gases, thereby preventing environmental pollution. High-sulfur fuel, burning in the combustion chamber, forms sulfur dioxide and sulfur anhydrite, which, when interacting with water, form sulfurous and sulfuric acid, causing corrosion of the parts of the cylinder piston group. Favorable conditions for the formation of acids occur at low temperatures of the "mirror" of the cylinder. Accordingly, in order to exclude the effects of sulfur combustion products on the parts of the cylinder piston group, it is necessary to operate the engine in modes that exclude low temperatures of the "mirror" of the cylinder., as well as use lubricating oil with additives that neutralize sulfur combustion products.

Keywords: Oil, high-sulfur fuel, cylinder piston group, combustion chamber, electrochemical corrosion.

Основным видом топлив для двигателей внутреннего сгорания на сегодняшний день является жидкое топливо, получаемое из нефти путём его перегонки. Принцип перегонки нефти состоит в том, что при нагреве и прокачивании через соответствующее оборудование из неё испаряют, а потом конденсируют сначала лёгкие фракции такие как эфир, бензины, керосины, а затем более тяжёлые – дизельное топливо, моторное топливо и мазуты. По химическому составу все топлива нефтяного происхождения помимо основных элементов: углерода С (85 – 87%) водорода Н₂(12 – 14%) и кислорода О₂ (около 1%) могут содержать и вредные примеси в виде нефтяных смол, серы, воды и механических примесей. Сера несмотря на то, что хорошо горит является очень вредной составляющей топлива, оказывающая вредное воздействие, как на окружающую среду, так и на детали цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания. Поэтому с 1 января 2020 года действует письмо с постановлением МИНТРАНСА РФ № ЮЦ-Д5-26/19561 от 26.11.2019 г. – «В соответствии с требованиями Правила 14.1.3, Приложения VI, МК МАРПОЛ содержание серы в любом жидком топливе, используемом на судах, не должно превышать 0,5% по массе».

Не смотря на запрет использования высокосернистого топлива, информация по основным международным центрам бункеровки показывает, что на высокосернистый мазут HSFO приходилось 28% продаж бункерного топлива. Это всё объясняется стоимостью топлива (см. рисунок 1).

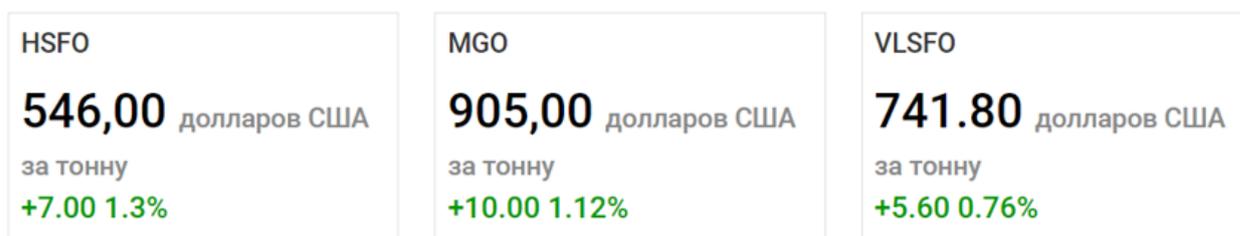


Рисунок 1 – Средние цены на топлива разных марок

На рисунке 1 показаны данные на наиболее распространённые виды топлив, используемые на флоте. Согласно котировкам, стоимость топлива напрямую зависит от количества находящейся в нём серы:

HSFO (High sulphur fuel oil) – мазут с высоким содержанием серы (содержание серы – не более 3,5%);

MGO (Marine Gas Oil) – морской газойль (содержание серы – 0,1%);

VLSFO (Very Low Sulphur Fuel Oil) – мазут с очень низким содержанием серы (содержание серы не более 0,5%)

Для возможности работы на высокосернистом топливе судовладельцы должны решить две задачи. Первая связана с защитой окружающей среды от воздействия серы. Вторая задача связана с уменьшением влияния серы на детали цилиндропоршневой группы. Для решения первой задачи суда оборудуют системами (см. рисунок 2), которые, несмотря на высокую стоимость, делают выгодным использование высокосернистого топлива из-за большой разницы в цене между высокосернистым (HSFO) и топливом с очень низким содержанием серы (MGO и VLSFO). Основным элементом системы, позволяющим отделить серу от отработавших газов называется скруббер. В данный агрегат под давлением подаётся вода в противоположном направлении движению выхлопных газов. При движении отработанных газов от двигателя внутреннего сгорания через водяной туман в скруббере, частицы серы, взаимодействуя с водой, переходят из газообразного агрегатного состояния в жидкость – серную кислоту. Далее вода с серной кислотой попадает в циркуляционный танк, куда дозирующим устройством подаётся гидроксид натрия (NaOH), нейтрализующий серную кислоту (H_2SO_4). После нейтрализации, вода с помощью циркуляционного насоса через водоводяной холодильник попадает опять в скруббер, и так по замкнутому контуру. Циркулируя, техническая вода загрязняется, и со временем её заменяют. Отработанную воду при помощи станции очистки воды очищают, удаляя из неё весь шлам, с дальнейшей перекачкой его в шламовую цистерну. Очищенную воду сбрасывают за борт. Шлам из шламовой цистерны сдаётся на береговые очистные сооружения.

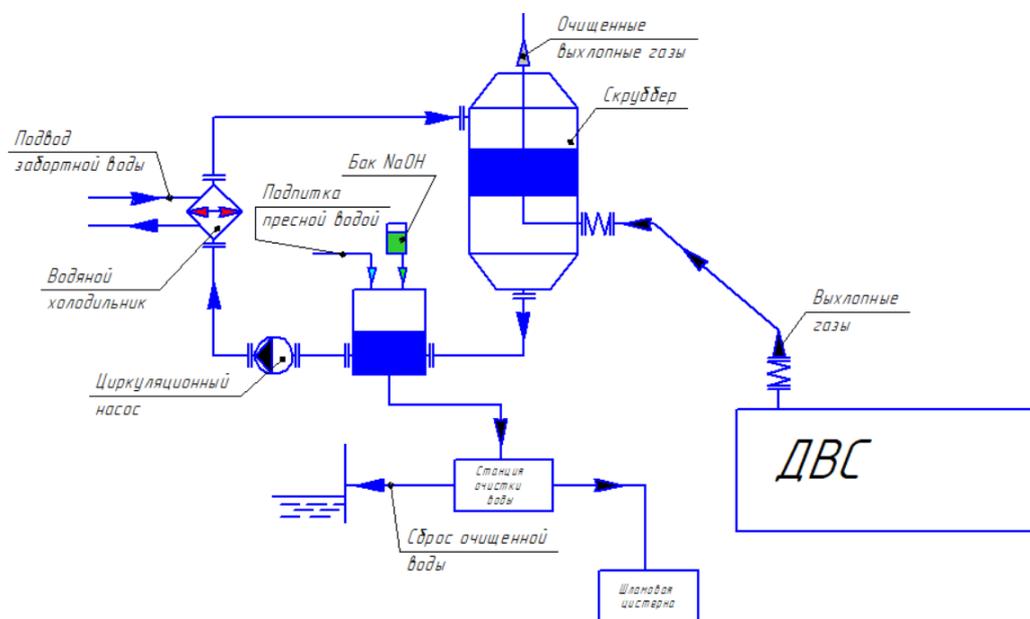
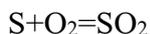


Рисунок 2 – Система очистки выхлопных газов от серы

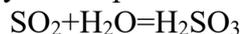
Для решения второй задачи необходимо знать природу возникновения вредного влияния серы на детали цилиндропоршневой группы. Использование топлив с высоким содержанием серы приводит к коррозионному износу элементов двигателя. Процессу разрушения металла прежде всего подвергаются втулка цилиндра и поршневые кольца. Данные детали цилиндропоршневой группы имеют очень важное значение в работе двигателя внутреннего сгорания. Втулка цилиндра изготавливается из высокопрочного

чугуна или стали, поршневые кольца в основном изготавливают из чугуна. Применяемые металлы являются одними из основных материалами, имеющими превосходство для работы в тяжёлых условиях, связанные с высокой температурой и большими нагрузками. Благодаря плотному прилеганию рабочей поверхности кольца к «зеркалу» цилиндра, обеспечивается герметичность камеры сгорания дизельного двигателя [1 – 3]. Плотность прилегания сопряжённых деталей обеспечивается двумя способами. Первый создаётся за счёт современных технологий, позволяющих в период производства изготовить детали с идентичной формой сопряжённых поверхностей. Второй способ достигается за счёт притирки поршневых колец и втулки цилиндра в период обкатки двигателя внутреннего сгорания [4, 5]. Притирка во время обкатки дизеля является единственным действующим способом достижения герметичности камеры сгорания в период эксплуатации. Это связано с тем, что форма нового поршневого кольца не будет соответствовать форме втулке цилиндра, которая из-за высокой температуры и нагрузок, а также истирания «зеркала» цилиндра изменила свою геометрию. А изготовить поршневое кольцо под изменённый профиль втулки цилиндра в принципе невозможно на сегодняшний день.

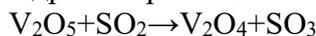
В процессе сгорания топлива образуется сернистый газ (SO_2), количество которого зависит от режимов и показателей работы двигателя, таких как коэффициент избытка воздуха, рабочая температура и давление:



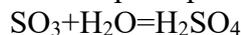
При взаимодействии с водой образуется сернистая кислота:



В нефтяные смолы входят такие химические элементы как железо (Fe), никель (Ni), ванадий (V) и т.д. Некоторые из этих элементов, например пятиокись ванадия, являются катализаторами для образования ангидрита серы SO_3 :

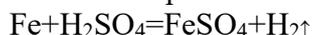


При взаимодействии с водой серный ангидрид преобразуется в серную кислоту:



Сернистая и серная кислоты разрушительным образом воздействуют на металл. В основном, эти кислоты образуются при температурах ниже точки росы. Сернистая кислота образуется в диапазонах температур между 50°C и 60°C , а серная кислота между 110°C и 150°C . Температура стенки цилиндра в районе камеры сгорания в номинальном режиме работы двигателя соответствует $160 - 210^\circ\text{C}$. На режимах неполной нагрузки, таких как пуск или обкатка двигателя, температура «зеркала» цилиндра не превышает 160°C . Необходимо отметить, что температуры указаны в районе камеры сгорания, и соответственно, чем ближе к нижней «мёртвой» точке, тем температура «зеркала» цилиндра меньше. Исходя из этого, воздействие кислот происходит в низкотемпературных зонах цилиндров двигателя внутреннего сгорания.

Разрушение металла происходит из-за электрохимической коррозии:



Графически зависимость скорости коррозии от температуры «зеркала» цилиндра показана на рисунке 3.

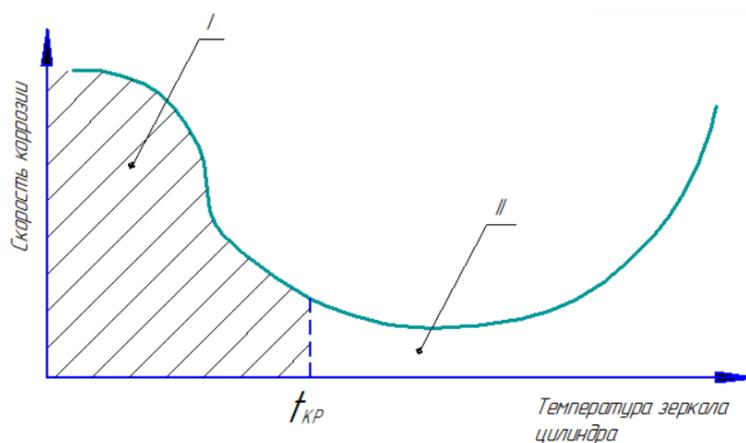


Рисунок 3 – Зависимость скорости коррозии от температуры «зеркала» цилиндра

Как видно из графика, действие сернистой и серной кислот разбито на две зоны. Первая зона (I) — это область кислотной электрохимической коррозии, при которой происходит разрушение металла от жидкого агрегатного состояния кислот.

Согласно графику, чем ниже температура «зеркала» цилиндра, тем сильнее протекает процесс износа деталей цилиндропоршневой группы. При достижении критической температуры $t_{кр}$, при которой осуществляется переход из жидкого состояния в газообразное, начинается вторая зона (II) называемой областью газовой коррозии.

На рисунке 4 показана температура кипения и точки росы смеси воды и серной кислоты. На графике видно, что концентрация серной кислоты достигает больших величин при низких температурах поверхности «зеркала» цилиндра, вследствие чего происходит ускоренный износ деталей цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания.

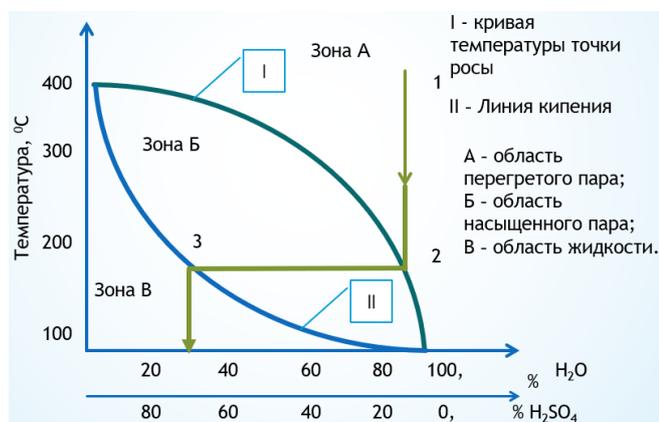


Рисунок 4 – Температура кипения и точка росы смеси воды H_2O и серной кислоты H_2SO_4

Заключение

Для уменьшения влияния компонентов серы при работе двигателя необходимо учитывать температуру точки росы сернистой и серной кислоты. Для этого необходимо грамотно распределять нагрузку на двигатель и не допускать его работу в номинальном режиме в непрогретом состоянии. Прогрев двигателя — это необходимая процедура для минимизации воздействия серы на детали цилиндропоршневой группы судового дизеля. Основным критерием прогретого двигателя является температура смазочного масла. Соответственно только при достижении рабочей температуры, установленной производителем двигателя, его можно эксплуатировать в номинальном режиме. Процесс прогрева двигателя необходимо проводить ступенчато. Начиная с холостого хода,

последовательно нагружать дизель на всех режимах до номинального, предусмотренного системой управления. Время перехода с одного режима на другой определяется отношением интервала температуры от холостого хода до рабочей температуры к количеству режимов.

Список литературы:

1. Матвеев Ю.И., Храмов М.Ю., Колыванов В.В., Курицын С.Ю. Повышение работоспособности деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей. – Научные проблемы водного транспорта. – №76 (3). – 2023 г. – С. 99 – 110.
2. Владимиров В.А. Некоторые вопросы теории приработки цилиндропоршневой группы дизеля. – Л.: ЦНИИМФ. – вып. 227. – 1977. – 34 – 44 с.
3. Воинов Н.П. Выбор оптимальных условий обкатки ДВС. – Вестник машиностроения. №2. – 1955. – 22 – 26 с.
4. Шаронов Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей. – М. «Химия». – 1965.
5. Владимиров В.А. Исследования и оптимизация процесса приработки цилиндропоршневой группы судовых дизелей. – диссертация ... кандидата технических наук: 05.08.05. – Ленинград; Одесса, 1978. – 185 с.

