

УДК 629.5.03

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СУДОВОГО ТОПЛИВА

Бровко Александр Владимирович¹, курсант

e-mail: brovko_alexandr_94@mail.ru

Бичарова Мария Михайловна¹, кандидат филологических наук, доцент кафедры
«Гуманитарные дисциплины и английский язык»

e-mail: humanities@astvsuwt.ru

¹ Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина – Астраханский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Астрахань, Россия

Аннотация. В статье проводится обзор физико-химических показателей судового топлива, их влияние на эксплуатационные характеристики и свойства всей топливной системы. Учитывая сложный фракционный состав морских топлив, их высокую вязкость и плотность, процессы транспортировки, перекачки и хранения становятся особенно проблематичными. Для оптимизации эксплуатационных затрат и улучшения характеристик судового топлива, производители вводят инновационные нефтехимические добавки, предназначенные для снижения температуры застывания, уменьшения вязкости и повышения общей текучести как маловязких, так и высоковязких морских топлив.

Ключевые слова: морской транспорт, судовое топливо, физико-химические свойства, топливная система, энергоэффективность.

ENERGY EFFICIENCY OF MARINE FUEL

Aleksandr V. Brovko¹, Cadet

e-mail: brovko_alexandr_94@mail.ru

Maria M. Bicharova¹, Candidate of Science in Philology, Associate Professor of the Department of «Humanities and English»

e-mail: humanities@astvsuwt.ru

¹ Caspian Institute of Marine and River Transport named after Admiral F.M. Apraksin – Astrakhan branch of Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia

Abstract. The article provides an overview of the physical and chemical indicators of marine fuel, their influence on the performance characteristics and properties of the entire fuel system. Given the complex fractional composition of marine fuels, their high viscosity and density, the processes of transportation, pumping and storage become especially problematic. To optimize operating costs and improve the characteristics of marine fuel, manufacturers introduce innovative petrochemical additives designed to reduce the pour point, reduce viscosity and increase the overall fluidity of both low-viscosity and high-viscosity marine fuels.

Keywords: maritime transport, environmental safety, monitoring, unmanned technologies, incident prevention.

Энергоэффективность судового топлива является процессом осуществления той же транспортной работы, судно применяет меньше горючего, следовательно, и загрязняет атмосферу в меньшей мере [3].

В последние годы на глобальном рынке судового топлива отмечается стабильное снижение качества горючего. Основная причина этого — более глубокая переработка нефти, приводящая к увеличению доли тяжёлых фракций в составе топлива. Эти остаточные компоненты ухудшают его свойства, что потребовало разработки новых классификаций и стандартов для морского топлива. Параллельно возникли технические трудности, связанные с применением остаточного топлива в судовых двигателях [8].

На практике это привело к ряду проблем: высокое содержание асфальтосмолистых веществ, повышенный коксовый остаток и нестабильность топлива вызывают загрязнение топливных цистерн и системы подачи. В результате снижается эффективность сгорания, увеличивается риск образования нагара в камере сгорания и выхлопных газах. Кроме того, для работы на тяжёлом топливе зачастую необходимо использовать специализированные присадки [2, с. 129].

Старший механик должен глубоко разбираться в характеристиках и отличиях различных видов, марок и сортов судового топлива. Эти знания имеют ключевое значение, поскольку позволяют обоснованно выбирать оптимальный вариант бункеровки с точки зрения экономики и технической целесообразности.

Свойства судовых горюче-смазочных материалов, включая лёгкие топлива (СМТ) и тяжёлые масла, во многом обуславливаются характеристиками исходного сырья — нефти, которая перерабатывается на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ).

В состав судового топлива входят различные примеси, которые классифицируются на две группы в зависимости от их происхождения:

- Органические примеси – твердые частицы, образующиеся в процессе переработки нефти (карбены и карбоиды);
- Неорганические примеси – вещества, попадающие в топливо при контакте с другими материалами, такие как оксид железа (Fe_2SO_4) или песок.

Органические примеси (карбены и карбоиды) не в редких случаях оставляют нагар на поршнях, в выпускном тракте и на стенках камеры сгорания. Также эти частицы, являясь источником засорения различных деталей дизельных двигателей, например, таких как форсунки и плунжеры. В момент посадки на свое место, они прилипают к деталям, а те в свою очередь перестают работать правильно. Органические примеси не сильно твердые, поэтому в малой степени изнашивают детали двигателей.

Неорганические примеси в топливе могут быть опасны для механизмов. Примеси могут поцарапать поверхности, которые трутся друг о друга. Это может произойти с клапанами, форсунками, распылителями и соплами. Особенно опасны частицы размером больше 6 мкм. Обычно такие примеси можно удалить из топлива с помощью специальных методов. [4, с. 40].

Вязкость топлива является критически важным параметром, непосредственно влияющим на процесс горения, надежность работы и срок эксплуатации топливной системы. Особое значение этот показатель приобретает для котельных установок и тяжелых сортов топлива, а также определяет возможность его использования при низких температурах.

От вязкости зависит скорость осаждения механических примесей и способность топлива отделяться от воды. Например, при двукратном увеличении вязкости время



осаждения частиц также возрастает в два раза. На судах для подготовки топлива к использованию в двигателях предусмотрены специальные отстойные цистерны, где происходит отделение воды и крупных механических примесей, оседающих на дне.

Для снижения вязкости топливо подвергают нагреву. Однако в открытых системах действуют строгие температурные ограничения: нагрев должен осуществляться как минимум на 15°C ниже температуры вспышки и не превышать 90°C. Превышение этого предела недопустимо, так как может вызвать закипание водяного слоя в нижней части цистерны, что способно привести к выбросу топлива [7, с. 771].

Подогрев топлива влияет на качество распыления топлива и эффективность его окисления в камере сгорания дизельного двигателя. В инструкциях по обслуживанию судовых двигателей указываются пределы величины вязкости, а оптимальную температуру определяют с помощью номограмм.

Ещё один важный параметр — это плотность. Она показывает, из каких частей состоит топливо, как быстро оно испаряется и какими химическими свойствами обладает. От плотности зависит количество углерода и водорода в топливе: чем она выше, тем больше этих элементов. Чем выше плотность топлива, тем сложнее контролировать работу сепаратора. А сепарация — это процесс очистки топлива, и плотность играет в нём важную роль. Разделение топлива и воды происходит благодаря разнице их плотностей. Однако этот процесс значительно затрудняется, когда плотности жидкостей близки по значению. Даже незначительные колебания вязкости, температуры или плотности могут снизить эффективность очистки, приводя к потерям топлива вместе с водяной фазой.

Морская вода оказывает негативное воздействие на топливо из-за своего химического состава. Содержащийся в ней натрий вступает в реакцию с ванадием, присутствующим в топливе, образуя новые химические соединения при сгорании. Эти продукты реакции способствуют образованию нагара и могут вызывать интенсивную коррозию под воздействием высоких температур.

Содержащаяся в топливе вода может присутствовать в двух формах - взвешенных частиц или эмульсии, что непосредственно влияет на процесс горения. При концентрации воды до 1-2%, равномерно распределенной в топливе, работа двигателя не нарушается. Однако превышение этого уровня ухудшает воспламеняемость, особенно при локальном скоплении воды - в таких случаях возможны проблемы с воспламенением топлива [5]. Длительная эксплуатация с подобным топливом способна привести к серьезным поломкам двигателя.

Коксовый остаток характеризует процентное содержание углеродистых отложений после сгорания. Нормативные значения этого показателя различаются: для импортных топлив допустимо до 20% кокса, тогда как в российских стандартах установлен лимит в 10%. Данный параметр свидетельствует о степени неполного сгорания топлива и его склонности к нагарообразованию.

Для остаточных топлив коксовый остаток определяют методом Конрадсона. Получаемое значение коррелирует с содержанием высококипящих ароматических соединений и асфальтенов, а также с плотностью топлива. Важно отметить, что рост коксового остатка, измеренного по Конрадсону, является индикатором ухудшения качества топлива [1, с. 244].

Температура воспламенения — критически важный показатель, определяющий способность топлива к возгоранию в воздушной среде. Этот параметр напрямую зависит от содержания легких фракций в горючем. Согласно международным морским стандартам безопасности, минимально допустимая температура воспламенения судового топлива составляет 61°C.



Смешивание тяжелого топлива даже с небольшим количеством горючего с низкой температурой воспламенения может существенно снизить общий показатель. Это демонстрирует нелинейную зависимость между температурой воспламенения и вязкостью. Зафиксированы случаи, когда добавление сырой нефти к тяжелому топливу понижало температуру вспышки до опасных 25°C , что приводило к пожарам и взрывам.

Стандартный метод определения температуры воспламенения (нагрев в закрытом тигле) неприменим для некоторых видов топлива, в частности для марок 40 и 100, что требует использования альтернативных способов измерения.

Рассмотрим такой параметр топлива, как температура застывания, от которого зависит возможность перевозки топлива по трубопроводам без подогрева. Если топливо хранить при температуре, близкой к точке застывания, есть риск его частичной кристаллизации. Это чревато отложениями, засорением трубопроводов и фильтров, а также может привести к невозможности перекачки топлива. Хранение топлива при температуре ниже точки застывания приводит к его превращению в твёрдую массу.

Топлива, характеризующиеся повышенными температурами застывания, обычно обладают отличными характеристиками горения благодаря высокой эффективности сгорания содержащихся в них парафиновых соединений [5].

Показатель общей щелочности (TBN) отражает способность масла нейтрализовать кислотные соединения. Этот параметр приобретает особое значение при использовании тяжелых топлив, способных вызывать коррозию двигателей. Для защиты от коррозионного воздействия в состав цилиндрических масел вводят специальные щелочные присадки.

В тронковых двигателях, где применяется система распылительной смазки цилиндров, работающих на тяжелых топливах, используют масла с уровнем TBN от 20 до 50 мг КОН на 1 грамм продукта. При этом современные цилиндрические масла, как правило, имеют более высокие значения этого показателя - от 70 до 100 мг КОН на 1 грамм, что обеспечивает лучшую защиту от коррозии в условиях повышенных нагрузок.

Коррозионные процессы в судовых двигателях обусловлены не только низкотемпературным режимом охлаждающей воды или продувочного воздуха. Значительную опасность представляет сера, содержащаяся в топливе, которая при сгорании преобразуется в сернистый и серный ангидриды. Эти соединения, взаимодействуя с водяными парами, образуют агрессивные сернистую и серную кислоты, вызывающие интенсивную коррозию при конденсации.

Особую сложность представляют нерастворимые примеси типа соединений никеля и ванадия, которые не поддаются удалению стандартными судовыми системами топливоподготовки. В отличие от них, водорастворимые элементы (в частности натрий) эффективно удаляются методами водной промывки с последующим центрифугированием. Стоит отметить, что технология водной промывки применяется преимущественно при подготовке топлива для газотурбинных установок.

Для удаления механических загрязнений (песчаных частиц, пылевых включений, каталитических остатков) применяют фильтрацию и центрифугирование. Однако результативность этих методов варьируется в зависимости от конструктивных особенностей системы очистки и физико-химических параметров загрязняющих веществ, включая дисперсность частиц и их удельный вес относительно очищаемого топлива.

Ванадий и натрий, которые содержатся в топливе, играют важную роль в процессе высокотемпературной коррозии. Этот процесс особенно сильно затрагивает участки машин и установок, которые подвергаются воздействию высоких температур. Присутствие в топливе как ванадия, так и натрия способствует образованию ванадатов натрия с температурой плавления около 630°C , что значительно увеличивает вероятность шлакообразования и коррозии. Эти соединения разрушают защитный оксидный слой на



металлических поверхностях, вызывая межкристаллитную коррозию и повреждение металлических конструкций. Поэтому крайне важно обеспечивать соотношение концентраций натрия и ванадия не более 1:3. При низком содержании натрия образуется пентоокись ванадия (температура плавления 675°C), обладающая схожим коррозионным действием, но менее агрессивная.

Для снижения негативного воздействия высоких температур необходимо удалять из топлива водорастворимые соли натрия. Наиболее эффективным методом является водная промывка топлива с последующей механической обработкой в специальном оборудовании [6].

Дополнительной мерой защиты служит строгий контроль температурных параметров работы двигателя, достигаемый путем:

- соблюдения регламента эксплуатации
- точной настройки рабочих режимов
- предотвращения перегрузок двигательной установки

Такие меры позволяют минимизировать коррозионные процессы и продлить срок службы оборудования.

Итак, вышеописанные ключевые характеристики как тяжелых, так и легких судовых топлив играют важную роль в процессе выбора оптимального варианта по экономическим и техническим параметрам при бункеровке или покупке топлива. Эти характеристики, включая вязкость, удельный вес, уровень влажности, концентрацию серы и наличие загрязнений, существенно влияют на эффективность и надежность работы морских дизелей. Для морских судов необходимо обеспечить и поддерживать высокий уровень энергоэффективности на всех этапах их жизненного цикла, включая проектирование, строительство и эксплуатацию, а также утилизацию. Для оценки качества различных типов судового топлива, необходим комплексный подход, учитывающий все описанные параметры.

Список литературы:

1. Acomia N., Acomib O.C. The influence of different types of marine fuel over the energy efficiency operational index // Energy Procedia 59. – 2014. – pp. 243-248.
2. Akman M. A Techno-Environmental and Energy Efficiency Investigation of Marine Dual-Fuel Engines //, 12(2). – 2023. – pp. 128-141
3. International Maritime Organization (IMO). Guidelines for the Implementation of MARPOL Annex VI. – 2020. – URL: www.imo.org. Date of access: 08.04.2025.
4. Jang S.H., Choi J. H. Comparison of fuel consumption and emission characteristics of various marine heavy fuel additives, Applied Energy 179. – 2016. – 36-44.
5. Lebedevas S., Lazareva N., Rapalis P., Daukšys V., Čepaitis T. Influence of marine fuel properties on ignition, injection delay and energy efficiency // Transport 2021. – Volume 36. Issue 4. – pp. 339-353.
6. Soto F., Alves M., Valdés J.C., Armas O., Crnkovic P., Rodrigues G., Lacerda A., Melo L. The determination of the activation energy of diesel and biodiesel fuels and the analysis of engine performance and soot emissions, Fuel Processing Technology 174. – 2018. – pp. 69-77.
7. Totten G., Shah R., Forester D. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing. 2nd Edition. ASTM International. – 2019. – 1709 p.
8. United Nations. The Ocean Conference: Innovations for Sustainable Development Goal. – 2020. – URL: www.un.org. Date of access: 08.04.2025.

