Научная статья
Original article
УДК 621.615

СУДОВЫЕ ДИЗЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

MARINE DIESEL ENGINES

Тиранов Илья Анатольевич, студент Института судостроения и морской арктической техники (Севмашвтуз) филиала САФУ в г. Северодвинске, г. Северодвинск, Российская Федерация

Tyranov Ilya Anatolyevich, ptiranov@gmail.com

Аннотация: Судовые дизельные двигатели очень похожи на дизельные двигатели тяжелых транспортных средств, но они, как правило, больше, сложнее и работают с более высокой эффективностью. Четырехтактные судовые дизельные двигатели приобретают все большее значение не только во внутреннем, но и в морском судоходстве, прежде всего на небольших контейнерных и балкерных судах. Расход топлива и выбросы выхлопных газов судовых двигателей зависят не только от принципа работы, но и от типа, габаритов, мощности, нагрузки, скорости и т.д.

С одной стороны, экономия топлива и технология последующей очистки выхлопных газов в судостроении будут приобретать все большее значение в ближайшие годы, поскольку управление флотом будет сосредоточено на экономии топлива и выбросов выхлопных газов. С другой стороны, экономия топлива напрямую сочетается с защитой окружающей среды и климата. Более высокие затраты на топливо интенсивно поддерживают развитие топливосберегающих технологий. Экономия топлива также способствует инновациям в технологии защиты климата и развитию законодательства.

Abstract: Marine diesel engines are very similar to diesel engines of heavy vehicles, but they are usually larger, more complex and operate with higher efficiency. Four-stroke marine diesel engines are becoming increasingly important not only in domestic, but also in maritime navigation, primarily on small container and bulk vessels. Fuel consumption and exhaust emissions of marine engines depend not only on the principle of operation, but also on the type, dimensions, power, load, speed, etc.

On the one hand, fuel economy and the technology of subsequent exhaust gas purification in shipbuilding will become increasingly important in the coming years, as fleet management will focus on fuel economy and exhaust emissions. On the other hand, fuel economy is directly combined with environmental and climate protection. Higher fuel costs intensively support the development of fuel-saving technologies. Fuel economy also contributes to innovations in climate protection technology and the development of legislation.

Ключевые слова: дизельный двигатель, двухтактный, четырёхтактный, технологии, тенденции, развитие.

Keywords: diesel engine, two-stroke, four-stroke, technologies, trends, development.

Расход топлива в судовых дизельных двигателях

Современные судовые дизельные двигатели с непосредственным впрыском топлива имеют максимальную эффективность 40-43%. Сегодня продолжается дальнейшее совершенствование технологии непосредственного впрыска, но пока небольшими шагами.

Модернизация старых двигателей часто сопряжена с высокими затратами. Это одна из причин, почему качество мероприятий по модернизации всегда должно быть на высоком уровне. Попытки улучшить двигатели включают в себя:

- контроль и снижение трения основных и вспомогательных деталей со смазкой;

- снижение тепловых потерь стенок цилиндров за счет оптимизации теплоизоляции всех тепловых частей, особенно вблизи цилиндров;

- введение переменного завихрения с впрыском топлива;

- внедрение переменной степени сжатия с использованием специальных высоких динамических датчиков давления и температуры и технологии привода;

- использование катализатора и сажевых фильтров в системе последующей очистки выхлопных газов в дополнение к новейшей технологии глушителя, а иногда и в дополнение к технологии котла выхлопных газов;

- применение датчиков концентрации газа и частиц для контроля катализатора и сажевого фильтра.

Расход топлива и выбросы выхлопных газов можно снизить примерно на 20% за счет лучшей рециркуляции выхлопных газов и предварительного нагрева двигателя перед холодным пуском. Дальнейшие меры:

- снижение механических и тепловых потерь в полной цепи впрыска воздуха и топлива, а также в системе доочистки отработавших газов;

- использование двухступенчатой нагрузки турбокомпрессора для улучшения стационарных характеристик;

- применение турбокомпрессора выхлопных газов с электрическим приводом с меньшей инерцией [2].

Эксплуатация двигателя

Работа двигателя в основном зависит от принципа работы, величины и количества оборотов двигателя. Существуют медленные, средние и высокоскоростные дизельные двигатели.

Тихоходные двухтактные судовые дизельные двигатели

Низкоскоростные судовые дизельные двигатели большой мощности являются самыми большими двигателями в мире, которые работают по принципу траверсы при максимуме 300 оборотов в минуту. Большинство больших двухтактных тихоходных дизельных двигателей работают ниже 120 об/мин, даже между 60 и 70 об/мин. Двухтактные судовые дизельные

двигатели имеют лучший УРТ среди двигателей внутреннего сгорания. Их конструктивные и эксплуатационные характеристики.

Низкоскоростные судовые дизельные двигатели обычно работают с задвижкой, клапаном и портовым управлением, а также с их комбинацией. В самых больших двигателях используются только клапан и порт управления.

Выбросы NO_x напрямую связаны с температурой горения. Уменьшение количества топлива, впрыскиваемого в камеру сгорания, обычно требует более интенсивного перемешивания, что повышает температуру в зоне горения и приводит к локальному увеличению выбросов NO_x при постоянном числе оборотов

Среднеоборотные четырехтактные судовые дизельные двигатели

Судовые дизельные двигатели средней скорости широко используются в качестве основных и вспомогательных двигателей. Они работают на дизельном топливе или мазуте с непосредственным впрыском так же, как и низкооборотные двигатели. Существуют версии на природном газе, работающие по циклу Отто, а также двухтопливные версии [3].

Высокоскоростные четырехтактные судовые дизельные двигатели

Высокоскоростные судовые дизельные двигатели обычно используются для обеспечения высокой удельной мощности, малого веса и малого объема. Они являются специальными двигателями и имеют максимальную рабочую частоту вращения двигателя от 900 до 2300 об/мин. Аналогично двигателю средней скорости, давление зажигания составляет приблизительно $200 \cdot 10^5$ Па.

Среднеоборотные четырехтактные судовые двигатели особенно выгодны при более низких оборотах и более низких частичных нагрузках. Высокоскоростные четырехтактные двигатели используются на спортивных и спасательных шлюпках, а также на конкретных небольших судах.

Газовые турбины используются на паромах и кораблях военно-морского флота и обеспечивают более высокие скорости и диапазон мощности. Они имеют самый высокий УРТ под судовыми двигателями [3].

Контроль работы судовых дизельных двигателей

В современной технологии контролируется давление в цилиндрах, температура выхлопных газов, концентрация веществ выхлопных газов и ряд параметров работы основного и вспомогательного двигателей.

Современные главные и вспомогательные двигатели корабля представляют собой очень сложную, электрически контролируемую и регулируемую систему. В будущем современная технология измерения давления и температуры может быть дополнена соответствующими сенсорами для регистрации концентрации веществ выхлопных газов и выявления нарушений и отклонений в двигателе и системе очистки отработавших газов.

Тенденции развития

Хотя легкие материалы приобретают все большее значение в конструкции всех транспортных средств, многие различные и несменяемые обычные материалы, такие как сталь и алюминий, все еще используются в производстве судовых дизельных двигателей.

Развитие двигателей с растущей мощностью увеличивает нагрузки на клапаны. Температура впускных клапанов составляет 500-550 °C из-за охлаждающего эффекта топливовоздушной смеси. Выпускные клапаны могут достигать рабочей температуры около 850 °C. Для этой задачи разрабатываются закаленные ферритно-перлитные сплавы, такие как мартенситно-карбидные и аустенитно-карбидные стали с более высокой прочностью.

Преимущества алюминиевых литых изделий заключаются в их легком весе и точных допусках. Алюминиевые сплавы могут быть использованы для механических деталей с небольшими внутренними диаметрами. Компрессорные колеса выхлопного турбокомпрессора (и др.) могут быть изготовлены также из алюминиевых сплавов. В настоящее время головки цилиндров изготавливаются из алюминиевых и магниевых сплавов вместо традиционного серого чугуна. В ближайшем будущем для укрепления картеров будут использоваться алюминиевые сплавы.

Керамика, изготовленная из неметаллических, неорганических материалов на основе нитридов, карбидов и оксидов металлов широко применяется для снижения веса, трения и износа высоконагруженных деталей, таких как движители. Однако стоимость керамических деталей по-прежнему высока. Более того, они пока не могут удовлетворить многие механические и химические требования в конструкции [2].

По экономическим соображениям судостроение сокращает массу бортового оборудования. В современном двигателестроении сталь заменяется алюминием, магнием и синтетическими материалами. Помимо массовых преимуществ, легкие материалы должны обладать положительным климатическим балансом и высокой скоростью переработки.

Использование дизель-электрических систем

Дизель-электрическая трансмиссионная система включает в себя дизельный двигатель, соединенный с электрическим генератором, создающим электроэнергию, которая питает электрический тяговый двигатель судна. Первая дизель-электрическая система была запущена в 1903 году. Одним из преимуществ дизель-электрических систем является оптимальная экономия пространства. Еще одним преимуществом является возможность использования меньших подсистем вместо одного большого маршевого двигателя, в соответствии с конкретными задачами и возможностями конструкции корабля [1].

Дизель-электрическая тяга делает корабль гораздо более управляемым. Некоторые современные корабли, в том числе круизные суда и ледоколы, используют электродвигатели в капсулах для вращения на 360°. Газовые турбины обеспечивают в сочетании с электродвигателями высокую скорость вращения и низкий крутящий момент на выходе турбины для привода низкоскоростного воздушного винта без редукторной передачи.

Улучшение работы

В среднем тихоходный двухтактный судовой дизельный двигатель преобразует более 50% химической и тепловой энергии в механическую

работу. При медленной скорости поршня процесс сгорания происходит более полно, чем в быстроходных четырехтактных двигателях. Теоретически было бы возможно более 60% теплового КПД, но более высокая скорость рекуперации тепла пока невозможна. КПД зависит от потерь на трение и рекуперации отработавших газов [2].

Дальнейшее повышение эффективности аккумуляторной топливной системы для больших двухтактных двигателей является одной из важнейших технологических задач. В аккумуляторных топливных системах давление в топливной магистрали составляет до $1000 \cdot 10^5$ Па, а давление в клапане - до $200 \cdot 10^5$ Па [2].

Повышение эффективности процесса впрыска является ключевым элементом дальнейших усовершенствований.

Технология тихоходных двухтактных судовых дизельных двигателей закрепит свои лидирующие позиции за счет более высокой тепловой эффективности, лучшей износостойкости, более длительного срока службы и более оптимальной возможности регулирования.

Резюме и рекомендации: развитие технологии судовых двигателей

Большинство крупных торговых судов используют двухтактные судовые дизельные двигатели. Хотя их количество значительно ниже, чем количество четырехтактных судовых дизельных двигателей, двухтактная технология составляет примерно 2/3 мирового парка.

Судовые дизельные двигатели применяют лучшую технологию самовоспламенения с высоким качеством смесеобразования в камере сгорания. Тепло процесса горения может быть использовано в теплообменниках секции выхлопных газов. В последние десятилетия давление в цилиндрах возросло и привело к повышению эффективности работы, снижению УРТ и снижению выбросов выхлопных газов.

Быстродействующие четырехтактные двигатели могут быть легко уменьшены в размерах и объединены с системой доочистки выхлопных газов. В отличие от двигателей внутреннего сгорания, газовые турбины стоят дорого

и используются на скоростных судах, таких как паромы. Раньше они применялись исключительно на кораблях военно-морского флота.

Прогресс в технологии судовых дизельных двигателей за последние десять лет можно резюмировать следующим образом:

- производительность увеличена на 42 %;
- выбросы выхлопных газов сократились более чем на 50 %;
- расход топлива снижен на 15 %;
- плавный ход приблизился к стандарту технологии двигателей с искровым зажиганием
- техническое обслуживание сократилось примерно на 50 %;

Внедрение технологии самодиагностики будет способствовать улучшению впрыска топлива, увеличению максимального давления впрыска, оптимизации процесса распыления и контролю работы форсунок.

Существует еще четыре способа сжигания почти с нулевым уровнем выбросов:

- однородное смешивание топлива и воздуха во впуске вне камеры сгорания;
- воспламенение топливовоздушной смеси с оптимальным сжатием;
- предотвращение образования сажи за счёт эффективного регулирования бережливого сгорания;
- сжигание топлива без пламени в пористой инертной среде, например, в керамической компрессорной камере.

Пористые керамические горелки имеют точно определенную структуру отверстий. Двигатели с пористыми камерами сгорания все еще находятся в стадии разработки. В частности, необходимо разработать мониторинг и регулирование для предотвращения обратных пожаров и специальных вспышек.

Заключение

Дизельные двигатели занимают немалую часть в отечественном судостроении, а также флоте нашей страны. Технологическое

усовершенствование в направлениях экономичности и повышения экологического класса – одни из важнейших задач инженеров в наши дни.

В данной работе были рассмотрены уже существующие тенденции по развитию судовых энергетических установок, а также представлены рекомендации по развитию технологий судовых двигателей на ближайшие годы.

Список литературы

1. Возницкий И.В., Михеев Е.Г. «Судовые дизели и их эксплуатация» Транспорт. - техн. изд-во машиностроит. лит., 1990. - 678 с.
2. Крылов Е.И. «Совершенствование технической эксплуатации судовых дизелей» - изд-во транспорт. лит., 1983. - 216 с.
3. Осипов О.В., Воробьев Б.Н. «Судовые дизельные двигатели. Учебное пособие» Учебники для вузов. Специальная литература - изд-во Лань, 2019. - 354 с.

List of literature

1. Voznitsky I.V., Mikheev E.G. "Marine diesel engines and their operation" Transport. - tech. publishing house of mechanical engineering. lit., 1990. - 678 p.
2. Krylov E.I. "Improvement of technical operation of marine diesel engines" - publishing house transport. lit., 1983. - 216 p.
3. Osipov O.V., Vorobyov B.N. "Marine diesel engines. Textbook" Textbooks for universities. Special literature - Lan publishing house, 2019. - 354 p.

© *Тиранов И.А., Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №7/2022.*

Для цитирования: Тиранов И.А. СУДОВЫЕ ДИЗЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №7/2022