

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГЛАВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ

*Н.И. Николаев, к.т.н., проф., О.П. Гинда, к.т.н., ст. механик, Зиненко Н.Н., ст. механик
Морская Государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова*

Представлены результаты исследования по повышению эксплуатационной топливной экономичности главных двигателей балкеров в процессе их модернизации для работы на тяжелых топливах. Показано, что оптимизация процессов впрыска топлива и параметров турбонаддува актуальна для режимов работы двигателей на частичных нагрузках, доля которых в эксплуатации достигает 90 %. За счет регулирования топливной аппаратуры и соплового аппарата ТК получено снижение расхода топлива на 5–7 % при снижении эксплуатационных затрат примерно на 10 %.

Применение энергосберегающих технологий в мировом судоходстве — жизненно важное требование. Оно может быть достигнуто за счет поддержания необходимого уровня топливной экономичности дизелей в течение всего срока эксплуатации, особенно при работе на частичных нагрузках.

Современный мировой торговый флот характеризуется наличием большого количества старых судов. Согласно статистике единой государственной системы информации об обстановке в мировом океане в 2007 г. мировой транспортный флот (более 300 gt) насчитывает 42 872 судна со средним возрастом 19,1 год, а суда старше 25 лет составляют около 22 % мирового флота [1]. В списке самых старых судов лидируют балкеры со средним возрастом 26 лет, и тенденция старения флота сохраняется по настоящее время.

Силовые установки балкеров, включая главные и вспомогательные дизели с наддувом, работают значительную долю времени на малых и средних нагрузках. Работа на этих режимах сопровождается снижением удельных эффективных показателей расхода топлива и, как следствие, возможным повышением дымности, что связано с ухудшением воздухообмена двигателя.

Повышение эксплуатационной эффективности энергетической установки старых судов возможно как за счет перевода двигателей с дизельного топлива на тяжелое, так и за счет согласования параметров топливной системы дизеля и агрегатов

наддува при длительной эксплуатации на частичных нагрузках.

Анализ режимов эксплуатации судовых энергетических установок балкеров с учетом назначения судов, грузовой базы и региона плавания (порты Азовского, Черного морей, порты Италии, северной Европы) показал, что общее время работы главных двигателей (ГД) составляет около 60 % от общего эксплуатационного периода балкеров, а работа с нагрузкой 40–50 % от номинальной достигает 93 % от общего времени работы двигателя.

В данной работе рассматривается опыт повышения топливной экономичности ГД, на трех балкерах, основные характеристики которых приведены в таблице (рис. 1).

№ п/п	Действ. судна, год постройки	Тип и мощность ГД, э. л. с.	Используемое топливо после модернизации	Тип и количество турбокомпрессоров
1	11 848,8 мт, 1975 г.	Stork-Werkspoor 9TMS410, 6000 при 550 об/мин	ISO-F-RMA30	VTR320, 2 шт.
2	9261,0 мт, 1980 г.	Bazan-MAN 12V40/54A, 7500 при 450 об/мин	ISO-F-RMD80	VTR321, 2 шт.
3	14176,0 мт, 1975 г.	B&W 5K62EF, 7410 при 140 об/мин	ISO-F-RME180	T540E, 2 шт.

Использование тяжелых топлив взамен дизельных приносит значительный экономический эффект вследствие существенной разницы в ценах. С экономической точки зрения модернизация судна для использования топлива ISO-F-RMD80 более выгодна, чем модернизация для перехода на использование менее вязкого топлива ISO-F-RMA30. Так, годовая экономия за счет цены топлива больше в 1,7 раза, а годовой экономический эффект в 1,5 раза. Однако модернизация дизеля для перехода на использование топлива ISO-F-RMA30 гораздо проще: меньше трудозатраты, время, необходимое на модернизацию, а главное — капиталовложения примерно в десять раз меньше. Различие в затратах на

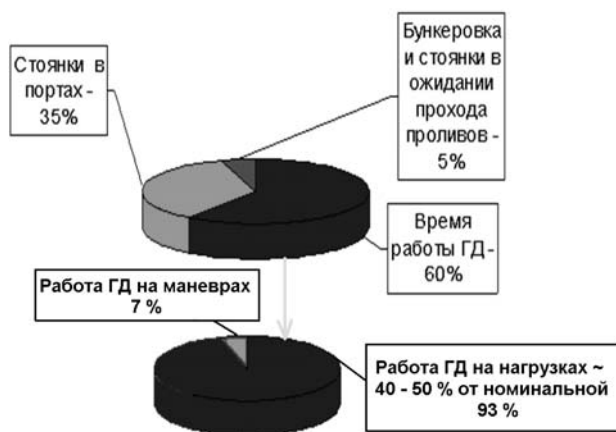


Рис. 1. Диаграмма распределения эксплуатационного периода балкеров

модернизацию определяется тем, что при использовании высоковязкого топлива ISO-F-RMD80 требуется поддерживать заданный температурный режим на всех этапах использования топлива, для чего необходима установка комбинированного котла [3].

Более высокое содержание серы в тяжелом топливе предъявляет, в первую очередь, более жесткие требования к смазочному маслу в связи с необходимостью полной нейтрализации конденсата сернистой кислоты, образующейся в цилиндрах двигателя. Нейтрализация кислого конденсата на деталях цилиндно-поршневой группы была достигнута применением смазочного масла CLADIUM 120 SAE 30 фирмы AGIP со щелочным числом 12 мг КОН/г.

Однако для определения оптимального варианта модернизации судового теплоэнергетического комплекса балкера необходимо принимать во внимание не только экономическую выгоду, но и ограничения по максимальному содержанию серы в топливе, установленные для различных регионов работы судна Международной морской организацией ИМО. После 1 января 2012 г. Приложением VI к МАРПОЛ 73/78 [2], действующем в международных и территориальных водах, запрещается использовать топливо с содержанием серы более 3,5 %. Кроме того, ограничивается уровень выбросов окислов серы (SO_x) в районах контроля выбросов (SECA). К SECA в настоящее время относятся Балтийское и Северное моря и Ла-Манш. Содержание серы в топливе, используемом в SECA, не должно превышать 1 % за исключением тех случаев, когда судно оборудовано одобренной системой очистки отработавших газов для уменьшения общего выброса SO_x до величины 6,0 г SO_x /кВт·ч или менее.

Впрыск топлива в цилиндры исследуемых ГД осуществляется по традиционной схеме,

включающей топливные насосы высокого давления золотникового типа с регулировкой по концу подачи и форсунки с многодырчатými охлаждаемыми распылителями.

Известно, что чем меньше размер капель распыленного топлива, тем быстрее будут проходить процессы их испарения и химические реакции подготовки к воспламенению. Качество распыливания топлива находится в прямой зависимости от скорости его истечения через сопловые отверстия форсунки, то есть от давления впрыска и диаметра сопловых отверстий распылителя. С целью улучшения качества распыливания топлива в начальной стадии процесса на двигателях 9TMS410 и 12V40/54A изменялось давление открытия иглы форсунки с 250 до 320 бар [4].

При поэтапном увеличении давления открытия иглы форсунки с 250 до 300 бар наблюдается улучшение качества распыливания за счет уменьшения среднего диаметра капель топлива в начальный период впрыска. Однако уменьшение среднего диаметра капель не всегда сопровождается улучшением работы двигателя. Дальнейшее увеличение давления открытия иглы форсунки до 320 бар привело к увеличению часового расхода топлива. Это, по-видимому, может быть вызвано изменением характера процесса самовоспламенения и увеличением мощности на привод ТНВД [5].

От эффективности и надежности работы агрегата наддува во многом зависят технико-экономические показатели и надежность работы всей силовой установки. При уменьшении давления наддува ухудшается продувка цилиндров дизеля, а это влечет за собой повышение температуры отработавших газов и теплонапряженности деталей цилиндно-поршневой группы, а также увеличение расхода топлива. Очевидно, что для нормальной работы двигателя с наддувом во всем диапазоне его эксплуатационных нагрузок необходим соответствующий подбор характеристик двигателя и ТК. Основное условие подобного подбора заключается в том, чтобы совмещенные расходные характеристики двигателя и компрессора захватывали область максимального коэффициента полезного действия ТК и одновременно были бы достаточно далеки от помпажной зоны работы компрессора [6]. Расчеты по согласованию характеристик ТК ГД при работе на тяжелом топливе в зоне частичных нагрузок (методика расчета Морской Государственной академии имени адмирала Ф.Ф. Ушакова) показали, что относительная площадь соплового аппарата (СА) турбин должна составлять

$$\bar{F}_{ca} = F_{ca} / F_{ca \text{ ном}} = 0,85,$$

где $F_{ca \text{ ном}}$ — значение площади СА, установлен-

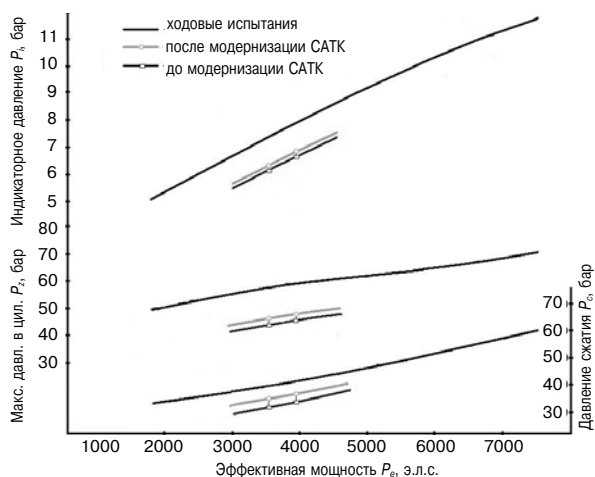


Рис. 2. Зависимость параметров работы ГД 5К62ЕФ от нагрузки

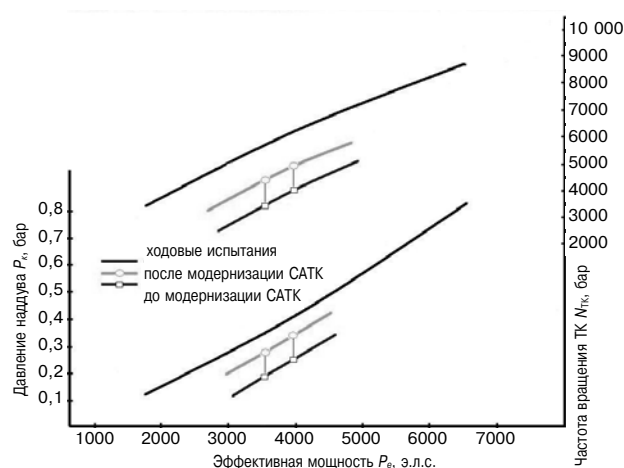


Рис. 3. Зависимость давления наддува и частоты вращения ТК от нагрузки ГД 5К62ЕФ

ного на ТК при постройке; F_{cai} — расчетное значение площади СА.

На примере модернизации СА ТК Т540-Е ГД В&W 5К62ЕФ 140, которая была выполнена на судоремонтном заводе в соответствии с предварительно сделанными расчетами, представлены результаты эксперимента по изменению площади проходного сечения СА турбины при эксплуатации ГД на частичных нагрузках (рис. 2 и 3).

На основном эксплуатационном режиме ГД 5К62ЕФ при частоте вращения 123 об/мин и развороте лопастей ВРШ на 21° (3550–3963 э. л. с.):

- средняя температура газов по цилиндрам уменьшилась на 24 °С;

- среднее индикаторное и максимальное давление газов увеличилось на 0,68 и 2,00 бар соответственно при уменьшении удельного расхода топлива примерно на 2,00 г/л. с.ч.

В результате исследований, проведенных в процессе модернизации двигателей балкеров для работы на тяжелом топливе, были получены следующие результаты:

- ГД стабильно проработали в течение 5000 ч без отказов и неисправностей;

- уменьшение площади СА турбины ТК при работе ГД в зоне частичных нагрузок привело к увеличению частоты вращения ротора ТК и давления наддува, что привело к снижению эксплуатационного расхода топлива ~ 5,00–7,00 %;

- повышение давления открытия иглы форсунки с 250 до 300 бар улучшает процесс сгорания

топлива в цилиндрах, параметры наддува и экономичность ГД;

- внедрение вышеуказанных мероприятий по повышению эффективности топливоиспользования на балкерах привело к снижению эксплуатационного расхода на топливо на 10 %.

Литература

1. Возрастная структура мирового транспортного флота. Российский портал единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане, 2007, www.morinformcenter.ru
2. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г., МАРПОЛ 73/78. — СПб : АОЗТ ЦНИИМФ, 1994. — 313 с.
3. Николаев Н.И., Гинда О.П., Жук А.Н. Повышение эффективности эксплуатации судового теплоэнергетического комплекса с дизельной установкой // Речной транспорт (XXI век). — 2007. — № 3. — С. 69–71.
4. Николаев Н.И., Гинда О.П. Исследование влияния давления открытия иглы форсунки на теплотехнические характеристики судового среднеоборотного главного двигателя в зоне частичных нагрузок // Речной транспорт (XXI век). — 2009. — № 3. — С. 67–69.
5. Астахов И.В. Подача и распыливание топлива в дизелях. — М. : Машиностроение, 1972. — 359 с.
6. Николаев Н.И., Гинда О.П., Жук А.Н. Влияние площади соплового аппарата газотурбонагнетателя на эффективность главного двигателя в условиях эксплуатации // Двигателестроение. — 2009. — № 1. — С. 45–47.