

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1291-1299

APPLICATION OF ADJUSTABLE TURBOCHARGING FOR OPTIMIZATION OF WORKING PROCESSES OF MAIN SHIPS ENGINES DURING THE LONG-TERM OPERATION AT THE SMALL POWER MODES

A. S. Punda, Y. G. Gurev

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The article considers possible methods for solving the problems arising during long-term operation of main ships engines in slow steaming modes, which necessity caused by the requirements of the new edition of Annex VI to the MARPOL 73/78 international convention for improving the vessel's energy efficiency and reducing carbon dioxide emissions. With a decrease the speed of the vessel to 0.7 of full, the power of the main engine is reduced to 35% of the nominal. Long-term operation at this power leads to a decrease service life of mane engine. Studies show that an effective means of ensuring an optimal working process in a wide range of engine conditions is an adjustable turbocharging. It can be done either by installing a turbocharger with an adjustable cross-section of the turbine nozzle apparatus, or by using a register-type supercharging system. The efficiency of application of turbocharging with adjustable nozzle device, which allows to provide the optimum excess air ratio in a wide range of operating modes of the engine, is analyzed in the article. As a result, in the power range of 25 – 75 %, a reduced specific effective fuel consumption is provided, carbon dioxide and hydrocarbon compounds are reduced.

The effectiveness of the application of the methods for optimizing the operation of engines considered in the article is analyzed. Analyzed of the data obtained from the results of numerical simulation using turbocharging with an adjustable cross-section of the turbine nozzle apparatus (Variable Turbine Area). Also, a comparative analysis of the parameters of bench tests and performance of the engine with the use of a turbocharger cut out system was performed. Conclusions are made about the efficiency of using, the considered methods of optimizing the main engine's working processes during long-term operation at slow steaming modes.

Keywords: energy efficiency, exhaust emission, main ships engine, turbocharging, slow steaming mode.

For citation:

Punda, Aleksandr S., and Yurii G. Gur'ev. "Application of adjustable turbocharging for optimization of working processes of main ships engines during the long-term operation at the small power modes." *Vest-nik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.6 (2017): 1291–1299. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1291-1299.

УДК 621.436

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ТУРБОНАДДУВА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ГЛАВНЫХ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ НА МАЛЫХ МОЩНОСТЯХ

А. С. Пунда, Ю. Г. Гурьев

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассматриваются возможные методы решения проблем, возникающих при длительной эксплуатации главных судовых двигателей на режимах малых мощностей, необходимость которой

вызвана выполнением требований новой редакции Прил. VI Международной конвенции МАРПОЛ 73/78 по повышению энергоэффективности судна и снижению выбросов углекислого газа. При снижении скорости хода судна до 0,7 от полной мощность главного двигателя снижается до 35 % от номинальной. Длительная работа на такой мощности приводит к снижению моторесурса двигателя. Исследования показывают, что эффективным средством обеспечения оптимального рабочего процесса в широком диапазоне режимов двигателя является регулируемый турбонаддув. Его можно осуществить либо установкой турбокомпрессора с регулируемым проходным сечением соплового аппарата турбины, либо использованием регистровой системы наддува. В статье проанализирована эффективность применения турбонаддува с регулируемым сопловым аппаратом, который позволяет обеспечивать оптимальный коэффициент избытка воздуха в широком диапазоне рабочих режимов двигателя. В результате в диапазоне мощностей 25 – 75 % обеспечивается пониженный удельный эффективный расход топлива, снижаются выбросы углекислого газа и углеводородных соединений. Авторами статьи проанализированы результаты численного моделирования рабочего процесса главного двигателя при использовании наддува с регулируемым проходным сечением соплового аппарата турбины, выполнен сравнительный анализ параметров, взятых со стендовых испытаний и эксплуатационных показателей двигателя при использовании регистровой системы наддува. В заключительной части статьи сделаны выводы об эффективности использования рассмотренных методов оптимизации рабочих процессов главного двигателя при длительной работе на режимах малых мощностей. Использование регулируемого турбонаддува позволяет существенно улучшить работу двигателя на режимах малых мощностей. Параметры рабочих процессов восстанавливаются практически до значений, соответствующих режиму эксплуатационного полного хода.

Ключевые слова: энергоэффективность, выхлопные газы, главный судовой двигатель, турбонаддув, режимы малого хода.

Для цитирования:

Пунда А. С. Использование регулируемого турбонаддува для оптимизации рабочих процессов главных судовых двигателей при длительной работе на малых мощностях / А. С. Пунда, Ю. Г. Гурьев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1291–1299. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1291-1299.

Введение (Introduction)

Ограничение выброса CO₂ в соответствии с новой редакцией Прил. VI Международной конвенции МАРПОЛ 73/78 [1] будет решаться на стадии проектирования и постройки новых судов путем обеспечения требуемого уровня конструктивного коэффициента энергоэффективности EEDI [2].

Предусматривается введение нормативов по эксплуатационному индикатору энергоэффективности судна — EEOI (предположительно после 2020 г.), что служит рыночной мерой по ограничению выброса CO₂ [3] – [5] в эксплуатации и, по-видимому, целиком будет являться сферой ответственности судоходных компаний. Для разработки нормативов по ограничению уровня EEOI в Комитете по защите морской среды ИМО в 2015 г. была сформирована рабочая группа.

В публикациях [6] – [8] было показано, что при снижении эксплуатационной скорости хода судна до оптимальной по удельному путевому расходу повышается энергоэффективность судна (эксплуатационный индикатор энергоэффективности EEOI уменьшается на 35 – 40 %). Кроме того, на эту же величину снижается выброс оксидов азота и серы, приходящийся на тонна-милю транспортной работы судна. Повышение эксплуатационной энергоэффективности судна за счет снижения скорости хода судна при высокой стоимости топлива обеспечивает также максимум годовой прибыли судна. Подавляющее большинство морских транспортных судов оборудовано одним главным малооборотным двигателем с изобарным наддувом. При снижении скорости хода судна до 0,7 от полной мощность главного двигателя снижается до 35 % от номинала. Длительная работа на такой мощности приводит, как показано в работе [9], к снижению моторесурса двигателя. Как показано на рис. 1, оптимальная скорость судна по максимуму ресурса составляет 0,8 (соответствует 51 % мощности), а по путевому расходу — около 0,7.

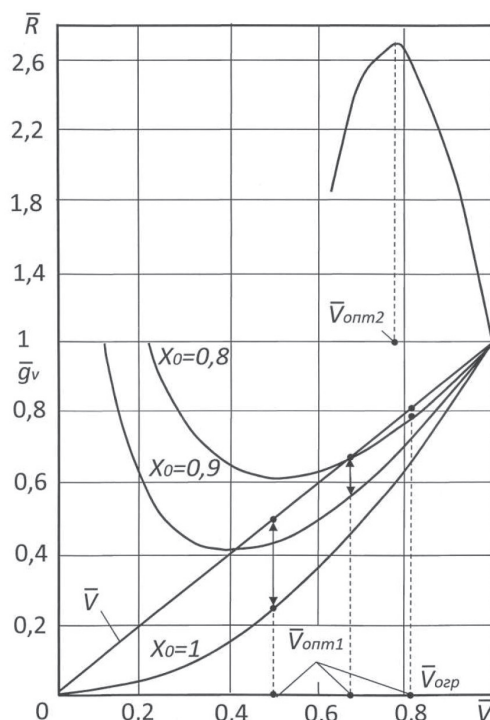


Рис. 1. Зависимость относительного путевого расхода топлива и относительного ресурса от изменения скорости

Анализ эксплуатационных данных показывает, что суда морского флота в массовом порядке эксплуатируются на скоростях даже ниже 70 %, при этом двигатели длительно работают на мощностях менее 35 %. При этом большинство из них имеет двигатели с механическим приводом ТНВД и гидромеханическим приводом выпускных клапанов. Для таких двигателей осуществить оптимальную настройку фаз топливоподачи, газораспределения и регулирование турбокомпрессора при работе на эксплуатационных режимах минимальной мощности затруднительно. Кроме того, не все регулировки дизеля могут производиться без согласования с заводом-изготовителем и классификационным обществом, выдавшим международное свидетельство по выбросам оксидов азота.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Исследования показали, что эффективным средством обеспечения оптимального рабочего процесса в широком диапазоне режимов двигателя является регулируемый турбонаддув, который можно осуществить либо установкой турбокомпрессора с регулируемым проходным сечением соплового аппарата турбины, либо использованием регистровой системы наддува. Оба варианта могут быть реализованы в двигателях с электронным управлением, например, на малооборотных двигателях фирмы «МАН Дизель и Турбо» серии ME [10].

Регулирование проходного сечения турбины [11] (VTA — Variable Turbine Area) выполняется путем установки соплового аппарата с поворотными лопатками на любой из производимых серийно турбокомпрессоров (ТК). Управление производится гидравлическими приводами (рис. 2).



Рис. 2. Турбокомпрессор серии TCA с регулируемым сопловым аппаратом турбины

Сопловой аппарат регулируется таким образом, чтобы в широком диапазоне рабочих режимов двигателя обеспечивался оптимальный коэффициент избытка воздуха. В результате в диапазоне мощностей 25 – 75 % обеспечивается пониженный удельный эффективный расход топлива (рис. 3), снижаются выбросы углекислого газа и углеводородных соединений.

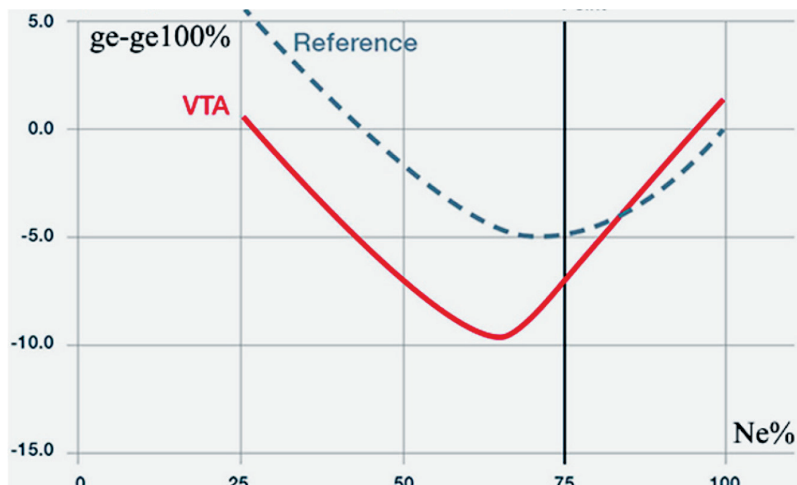


Рис. 3. Снижение удельного эффективного расхода топлива (g_e) двигателей фирмы «MAN Diesel and Turbo» серии ME при использовании системы VTA относительно исходной кривой (Reference)

Более простой вариант оптимизации — регистровая система наддува [12] (TC Cut-Out system) — может быть реализован на дизелях (в том числе находящихся в эксплуатации) при наличии двух-трех ТК. Суть метода заключается в том, что при снижении мощности двигателя поочередно отключают ТК. Это можно выполнить вручную, путем установки заглушек на входе газа в турбину и выходе воздуха из компрессора. Метод является трудоемким, поэтому применяется при длительном использовании режимов малых мощностей. Переналадка системы наддува требует остановки двигателя. Как и при аварийном отключении, ротор ТК может находиться в корпусе не более 3000 ч работы при смазке подшипников и подаче воздуха на уплотнения.

В двигателях с электронным управлением фирмы «MAN Diesel and Turbo» серии ME используется регистровый наддув. Включение / выключение ТК осуществляется автоматически с помощью пневмоуправляемых заслонок. Схема системы с двумя ТК показана на рис. 4. Переход на работу с одним ТК осуществляется при снижении мощности двигателя менее 50 % от номинала. Конструкция поворотного затвора и его установка показаны на рис. 5.

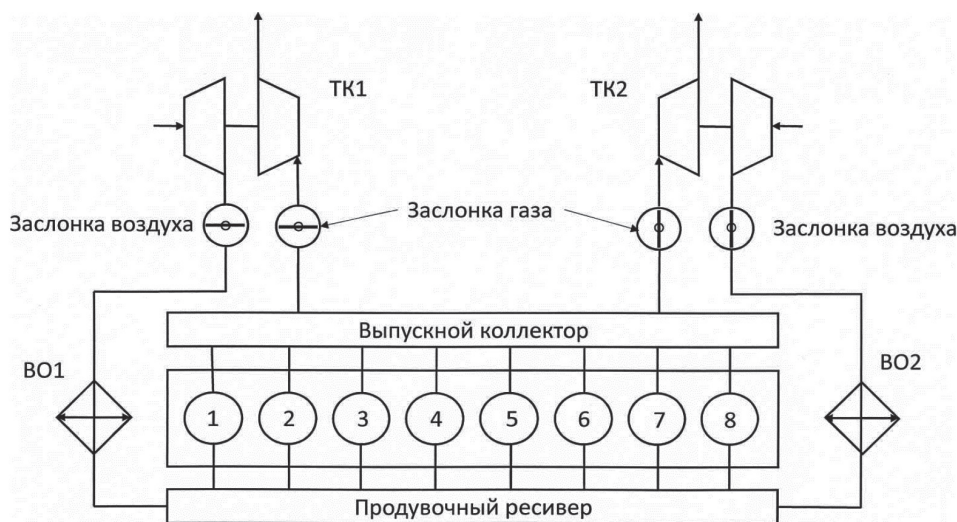


Рис. 4. Схема регистровой системы наддува с двумя ТК

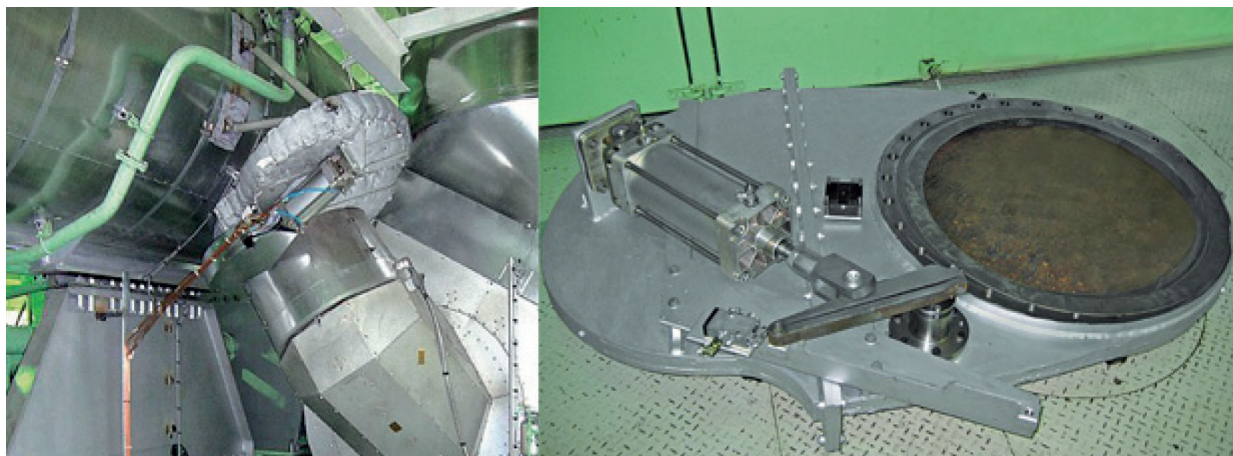


Рис. 5. Конструкция поворотного затвора и его установка на двигателе «MAN Diesel and Turbo» серии ME

Как и в случае регулируемого соплового аппарата на пониженных мощностях, экономичность двигателя повышается (рис. 6).

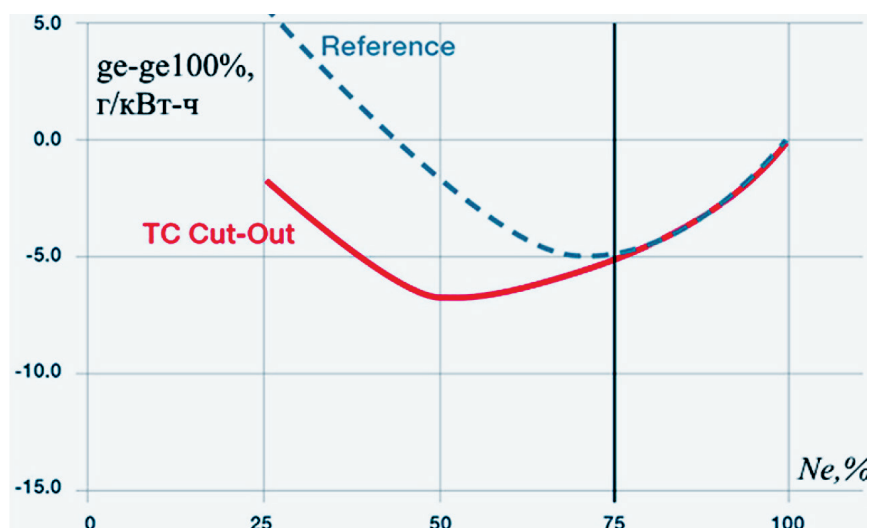


Рис. 6. Снижение удельного эффективного расхода топлива (g_e) двигателей фирмы «MAN Diesel and Turbo» серии ME при использовании системы регистрирующего наддува (TC Cut-Out) относительно исходной кривой (Reference)

Результаты (Results)

Подробные данные по параметрам рабочих процессов при регулировании соплового аппарата отсутствуют. Для анализа используем результаты численного моделирования [13] рабочих процессов судового малооборотного дизеля 6L60MC (6ДКРН 60/195) фирмы «МАН-Бурмейстер и Вайн». Численное моделирование проводилось для следующих режимов:

1. 100 %-я мощность с проходным сечением соплового аппарата турбины $f_t = 68 \text{ см}^2$.
2. 25 %-я мощность с проходным сечением соплового аппарата турбины $f_t = 68 \text{ см}^2$.
3. 25 %-я мощность с проходным сечением соплового аппарата турбины $f_t = 34 \text{ см}^2$.

При моделировании процессов на 25%-й мощности соответствующим образом задавались фазы топливоподачи и ее величина в соответствии с законом винтовой характеристики. Полученные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели дизеля 6L60MC по результатам численного моделирования

Параметр, размерность	Проходное сечение соплового аппарата		
	$f_T = 68 \text{ см}^2$	$f_T = 68 \text{ см}^2$	$f_T = 34 \text{ см}^2$
Эффективная мощность N_e , %	100 %	25 %	25 %
Индикаторная мощность N_i , кВт	18250	3925	3738
Частота вращения двигателя n , об/мин	111	71	71
Частота вращения ТК n_{TK} , об/мин	15500	5450	13760
Давление наддува p_s , бар	3,23	1,22	2,6
Давление сжатия p_c , бар	107,5	42,5	104,5
Давление сгорания p_z , бар	132,2	82,4	121,5
Среднее индикаторное давление p_i , бар	18,0	10	9,6
Удельный индикаторный расход топлива g_i , г/(кВт·ч)	166	170	162
Температура ОГ t_p , °C	395	291	262
Расход воздуха (суммарный) G_a , кг/с	29,3	11,5	15,6

Полученные результаты показывают существенное улучшение работы дизеля на малой мощности при уменьшении проходного сечения турбины в два раза — возрастают обороты турбокомпрессора и, как следствие, давления наддува, сжатия, сгорания. Вследствие улучшения рабочего процесса в цилиндрах и повышения заряда воздуха при малой мощности с уменьшенным f_T снижаются удельный расход топлива (на 8 г/кВт·ч — сопоставимые данные с приведенными на рис. 3) и температура отработавших газов, что, несомненно, приведет к увеличению ресурса дизеля при длительной работе на малых мощностях. Кроме того, при регулируемом f_T нет необходимости включать электроприводные воздушодувки для обеспечения продувки цилиндров на малой мощности. Последнее позволяет существенно уменьшить расход электроэнергии (на 200 – 300 кВт·ч) и тем самым повысить энергоэффективность судна.

Проанализируем более подробно изменение показателей главного малооборотного двигателя при использовании системы регистрового наддува по эксплуатационным данным контейнеровоза дедвейтом 59307 т и скоростью хода 23,2 уз (введен в эксплуатацию в мае 2012 г.). Главный дизель 8K98ME7 фирмы «MAN Diesel and Turbo» работает на винт фиксированного шага. Восьмицилиндровый двигатель имеет электронную систему управления топливopодачей, газораспределением и регистровую систему турбонаддува с двумя ТК. В табл. 2 приведены показатели двигателя, полученные при сдаточных ходовых испытаниях.

Таблица 2

Винтовая характеристика главного двигателя 8K98ME 7

Параметр	Режим стендовой винтовой характеристики, %					
	25	50	75	85	100	110
Частота вращения n , об/мин	59,2	74,6	85,4	89,0	94,0	97,0
Эффективная мощность N_e , кВт	11225	22450	33675	38165	44900	49390
Максимальное давление цикла p_z , бар	87,6	109,5	131,0	150,3	149,6	153,0
Давление в конце сжатия p_c , бар	53,4	72,4	102,9	111,1	134,5	147,0
Давление наддува p_s , бар	0,26	0,90	1,92	2,12	2,69	3,03
Температура в ресивере t_s , °C	25	28	35	36	37	40
Частота вращения ТК n_{TK} , об/мин	3734	6706	8883	9267	10136	10586
Температура ОГ t_p , °C	188	238	239	256	281	308
Температура ОГ перед турбиной t_{p1} , °C	323	347	361	371	401	408
Температура ОГ за турбиной t_{p2} , °C	255	270	230	228	236	251
Часовой расход топлива G_u , кг/ч	2081,9	3899,9	5734,8	6563,8	7932	9003,7
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч)	185,5	173,7	170,3	172,0	176,7	182,3

В табл. 3 приведены показатели, определенные на двух эксплуатационных режимах. Для режимов малой мощности приведены данные работы двигателя с двумя и одним ТК (материалы представлены старшим механиком П. Хачкаляном, измерения проводились в 2013 г.).

Таблица 3

Эксплуатационные показатели дизеля 8K98ME 7

Параметр, размерность	Работают два ТК	Работают два ТК	Работает один ТК
Эффективная мощность N_e , %	61	34	35
Эффективная мощность N_e , кВт	26503	14909	13674
Частота вращения двигателя n , об/мин	83,5	67,6	66,7
Частота вращения ТК n_{TK} , об/мин	8080	4350	8130
Давление наддува p_s , бар	2,31	1,44	2,26
Давление сжатия p_c , бар	86	59	78
Давление сгорания p_z , бар	120	97	122
Часовой расход топлива G_{ch} , кг/ч	4826	3129	2833
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч)	182,1	209,9	207,2
Скорость судна V_s , уз	20,6	17,7	17,7

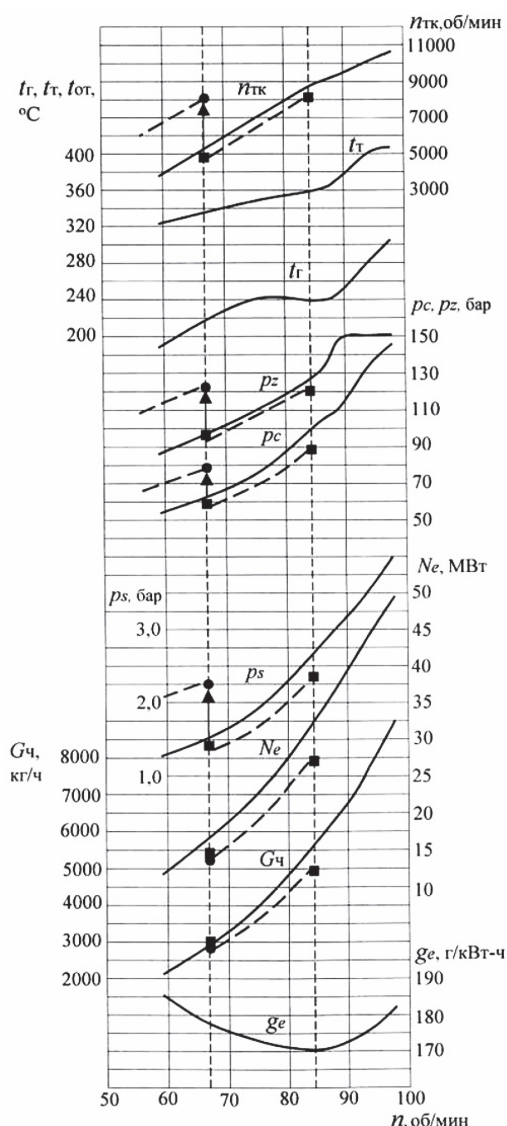


Рис. 7. Изменение показателей МОД 8K98ME7 при работе по винтовой характеристике

Показатели работы двигателя 8K98ME 7 приведены на рис. 7. Сплошными линиями показаны параметры, снятые при ходовых испытаниях, точками и штриховыми линиями — параметры на эксплуатационных режимах.

Проектная скорость хода 23,2 уз достигается при номинальной мощности двигателя 44900 кВт и частоте вращения 94 об/мин. Режим эксплуатационного полного хода (первый эксплуатационный режим) соответствует 61 % мощности двигателя при частоте вращения 83,5 об/мин (89 %), скорость хода при этом составляет 20,6 уз. На этом режиме значения всех показателей несколько меньше их величин на ходовых испытаниях, что, вполне очевидно, связано с более «легкой» эксплуатационной винтовой характеристикой. Данные по температурам отработавших газов не были представлены. Эксплуатационные значения удельного эффективного расхода топлива на обоих режимах существенно отличаются от ходовых испытаний в большую сторону, что может свидетельствовать о наличии систематических погрешностей при измерении мощности и расхода топлива.

Второй эксплуатационный режим при работе с двумя ТК соответствует $n = 67,6$ об/мин (72 %), 34 % мощности двигателя и скорости хода 17,7 уз (76 %). Продолжительная работа на этом режиме противопоказана для двигателя из-за снижения его ресурса. Положительный эффект от уменьшения удельного путевого расхода топлива главным

двигателем «нейтрализуется» увеличением расхода топлива на ВДГ вследствие необходимости включения электровоздуховок.

При использовании регистрового наддува увеличивается расход воздуха на двигатель, поэтому снижаются температуры отработавших газов на 30 – 40 °С (см. табл. 1), что благоприятно сказывается на его теплонапряженности.

Заключение (Conclusion)

Оптимизация рабочих процессов главных двигателей методом регулируемого турбонаддува позволяет существенно улучшить работу двигателя на режимах малых мощностей (менее 40 %). Параметры рабочих процессов восстанавливаются практически до значений, соответствующих режиму эксплуатационного полного хода. При этом эффект снижения эксплуатационного показателя энергоэффективности и удельных выбросов оксидов азота и серы на тонна-милю транспортной работы судна обусловлен действием следующих факторов:

- уменьшением удельного путевого расхода топлива на установку на 30 – 40 % при работе на малых мощностях;
- снижением удельного расхода топлива главного двигателя на 5 – 7 г/(кВт·ч) (2,5 – 3,0 %);
- экономией топлива при отключении электровоздуховок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ-73/78). — СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2017. — Кн. III. — 412 с.
2. Anink D. The IMO Energy Efficiency Design Index. A Netherlands Trend Study / D. Anink, M. Krikke. — Centre for Maritime Technology and Innovation, 2009. — 52 p.
3. IMO (2010a). Reduction of Green House Gas emissions from Ships, Report of the Working Group on Energy Efficiency Measures for Ships, Paper MEPC 61/WP.10. — London, United Kingdom: International Maritime Organization.
4. Вострикова М. А. О загрязнении воздушного бассейна токсичными компонентами отработавших газов морских судов / М. А. Вострикова, Я. М. Кашин, В. В. Шкода // Булатовские чтения: сб. ст. материалов I Международной науч.-практ. конф.: в 5 т.; под общ. ред. О. В. Савенков. — Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом – Юг», 2017. — С. 102–104.
5. Семанов Г. Н. Вредные выбросы в атмосферу от судов: на пути к стандартам ИМО картографии / Г. Н. Семанов // Наука и транспорт. Морской и речной транспорт. — 2013. — № 1. — С. 45–47.
6. Пунда А. С. Рекомендации по техническому использованию главных и вспомогательных дизелей с обеспечением минимального уровня выброса экологически вредных веществ / А. С. Пунда, В. И. Дмитренко // Разд. 1 госбюджет. НИР на тему: «Техническое использование и оптимизация режимов работы автоматизированных ДЭУ». — СПб.: ГУРМФ им. адм. С. О. Макарова, 2013.
7. Пунда А. С. Повышение энергоэффективности морских судов за счет оптимизации скорости хода / А. С. Пунда, В. И. Дмитренко // Двигателестроение. — 2013. — № 4. — С. 25–30.
8. Ципелкин Г. Е. Улучшение топливной экономичности двигателей за счет оптимизации систем наддува / Г. Е. Ципелкин, В. И. Иовлев // Двигателестроение. — 2014. — № 3. — С. 16–22.
9. Камкин С. В. Повышение экономичности судовых дизелей / С. В. Камкин, А. Л. Лемещенко, А. С. Пунда. — СПб.: Судостроение, 1992. — 176 с.
10. Tier II Tuning Methods for Two-Stroke Engines [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://turbocharger.man.eu/technologies/tuning-methods-comparison/tuning-method-comparison> (дата обращения: 04.09.2017).
11. VTA — Variable Turbine Area [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://turbocharger.man.eu/technologies/tuning-methods-comparison/vta> (дата обращения: 11.09.2017).
12. Turbocharger Cut-Out [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://turbocharger.man.eu/technologies/tuning-methods-comparison/cut-out> (дата обращения: 11.09.2017).
13. Пунда А. С. Численное моделирование рабочих процессов судовых дизелей / А. С. Пунда. — Мортехинформреклама, 1995. — 64 с.

REFERENCES

1. *International Convention for Prevention of Pollution from Ships (MARPOL-73/78)*. Book III. SPb.: AO "TsNIIMF", 2017.
2. Anink, D., and M. Krikke. *The IMO Energy Efficiency Design Index. A Netherlands Trend Study*. Centre for Maritime Technology and Innovation, 2009.
3. *IMO (2010a). Reduction of Green House Gas emissions from Ships, Report of the Working Group on Energy Efficiency Measures for Ships, Paper MEPC 61/WP.10*. London, United Kingdom: International Maritime Organization.
4. Vostrikova, M. A., Ya. M. Kashin, and V. V. Shkoda. "About air pollution by toxic components of exhaust gases of marine vessels." *Bulatovskie chteniya: sbornik statei materialov I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Krasnodar: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Izdatel'skii Dom - Yug", 2017: 102–104.
5. Semanov, G.N. "Vrednye vybrosy v atmosferu ot sudov: na puti k standartam IMO kartografii." *Nauka i transport: Morskoj i rechnoj transport* 1 (2013): 45–47.
6. Punda, A. S., and V. I. Dmitrenko. "Rekomendatsii po tekhnicheskomu ispol'zovaniyu glavnykh i vspomogatel'nykh dizelei s obespecheniem minimal'nogo urovnya vybrosa ekologicheskikh vrednykh veshchestv." *Razdel I gosb. NIR na temu: «Tekhnicheskoe ispol'zovanie i optimizatsiya rezhimov raboty avtomatizirovannykh DEU»*. SPb.: GURMF im. adm. S.O. Makarova, 2013.
7. Punda, A. S., and V. I. Dmitrenko. "Sea-Craft Speed Optimization as a Means of Energy Efficiency Enhancement." *Dvigatelistroyeniye* 4 (2013): 25–30.
8. Tsyplenkin, G. E., and V. I. Iovlev. "Turbocharging System Optimization as a Means to Improve Engine Fuel Efficiency." *Dvigatelistroyeniye* 3 (2014): 16–22.
9. Kamkin, S. V., A. L. Lemeshchenko, and A. S. Punda. *Povyshenie ekonomichnosti sudovykh dizelei*. SPb.: Sudostroenie, 1992.
10. Tier II Tuning Methods for Two-Stroke Engines. Web. 4 Sept. 2017 <<http://turbocharger.man.eu/technologies/tuning-methods-comparison/tuning-method-comparison>>.
11. VTA – Variable Turbine Area. Web. 11 Sept. 2017 <<http://turbocharger.man.eu/technologies/tuning-methods-comparison/vta>>.
12. Turbocharger Cut-Out. Web. 11 Sept. 2017 <<http://turbocharger.man.eu/technologies/tuning-methods-comparison/cut-out>>.
13. Punda, A.S. *Chislennoe modelirovanie rabochikh protsessov sudovykh dizelei*. Mortechnikinformreklama, 1995.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пунда Александр Семёнович —
кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: apunda@mail.ru, kaf_seu@gumrf.ru
Гурьев Юрий Георгиевич — инженер
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: gurievug@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Punda, Aleksandr S. —
PhD, professor
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: apunda@mail.ru, kaf_seu@gumrf.ru
Gur'ev, Yurii G. — Engineer
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: gurievug@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 17 июня 2017 г.
Received: June 17, 2017.