УДК 629.5.03-08:621.431.36

В.Г. ИВАНОВСКИЙ[1], Р.А. ВАРБАНЕЦ[1], В.М. ГОРБОВ[2], В.С. МИТЕНКОВА[2]

[1]*Одесский национальный морской университет, Украина*
[2]*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина*

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВОГО СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА БИОДИЗЕЛЕ

Приведены результаты испытаний судового среднеоборотного двигателя 6ЧН 25/34 на дизельном и биодизельном топливах. В процессе испытаний определялись внешние скоростные характеристики дизельного двигателя при работе на каждом из исследуемых топлив. Параметры рабочего процесса двигателя определялись при помощи системы мониторинга DEPAS D4.0H. Представлены графические зависимости основных параметров рабочего процесса и показателей экономичности двигателя при работе на дизельном и биодизельном топливах.

***Ключевые слова**: судовой дизельный двигатель, биодизельное топливо, дизельное топливо, скоростные характеристики, угол опережения впрыска, рабочий процесс.*

Введение

Поиск и эффективное использование альтернативных топлив (АТ) на судах является одним из направлений развития судовой энергетики, поскольку даст возможность решить ряд проблем, связанных с использованием нефтяных топлив (в первую очередь, экологических). К наиболее перспективным АТ можно отнести биодизельное топливо (БД) как альтернатива дизельному (ДТ). Немаловажным аспектом является то, что БД – возобновляемое топливо.

Перспективным сегментом водного транспорта для использования БД являются небольшие суда внутренних и прибрежных районов плавания со средне- (СОД) и высокооборотными двигателями (ВОД), традиционно работающие на ДТ (рыболовецкие суда, яхты, пассажирские, круизные, исследовательские и т.п.) [1].

Использование в судовых энергетических установках (СЭУ) биодизельных топлив приведет к изменению ряда параметров отдельных систем и элементов СЭУ (прежде всего топливной системы) и самой установки в целом. Для качественного проектирования и эффективной эксплуатации судна необходимо учитывать эти изменения, в том числе и для двигателей.

Анализ литературных данных показывает значительный интерес к вопросу использования БД и его смесей с ДТ в разных пропорциях в двигателях внутреннего сгорания. Представлено значительное количество информации о различных аспектах работы дизельных двигателей на чистых биодизельных топливах из различного сырья (рапсового, соевого, пальмового, фритюрного и других масел и жиров), а также их смесей в разных пропорциях с ДТ, например [2 – 4]. Практически во всех представленных исследованиях объектами испытаний являются ВОД.

Целью работы являлось получение характеристик рабочего процесса судового СОД при работе на ДТ и БД, их сопоставление и анализ. Поскольку в литературе отсутствуют данные относительно особенностей работы СОД на биодизельных топливах, это обуславливает актуальность проведенных исследований.

1. Описание экспериментальной части

Испытания проводились в научно-технической лаборатории кафедры СЭУ и ТЭ Одесского национального морского университета.

Объект испытаний – судовой дизельный двигатель 6 ЧН 25/34, четырехтактный, шестицилиндровый, нереверсивный, тронковый, с газотурбинным наддувом, с вертикальным однорядным размещением цилиндров. Технические данные двигателя: номинальная мощность 345 кВт; частота вращения 500 об/мин; степень сжатия $\varepsilon = 12{,}5\pm0{,}5$; среднее эффективное давление 0,847 МПа; удельный расход топлива на номинальной мощности 211±11 г/(кВт·ч).

Испытаниям были подвергнуты дизельное топливо и БД, полученное из рапсового масла. Характеристики ДТ соответствуют стандартам, плотность – 850 кг/м^3; низшая теплота сгорания – 42300 кДж/кг. В эксперименте использовалось биодизельное топливо из рапсового масла, производитель

© В.Г. Ивановский, Р.А. Варбанец, В.М. Горбов, В.С. Митенкова

ООО BIODIESEL Бессарабии (г. Болград, Одесская обл.). Качественные показатели топлива соответствуют европейскому стандарту EN 14214 и украинскому отраслевому стандарту СОУ 24.14-37-561:2007. Плотность биодизельного топлива при температуре 20 ºС – 888,4 кг/м^3; цетановое число – 52; низшая теплота сгорания – 37500 кДж/кг; вязкость при температуре 40 ºС – 5,0 мм^2/с; температура забивки фильтра – –2 ºС; массовая доля серы – 0,001%.

Испытания проводились на нагрузке 55% от номинальной мощности. Программа испытаний предусматривала определение внешних скоростных характеристик двигателя при работе СОД на каждом из исследуемых топлив. Согласно работе [7] внешние характеристики – это зависимость показателей дизельного двигателя от частоты вращения при неизменном положении рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД). По внешним характеристикам работают главные двигатели при изменении движения судна или технического состояния гребного винта [7].

Характеристики работы двигателя на дизельном топливе и биодизеле снимались при частотах вращения 250, 300, 350, 400 и 450 мин$^{-1}$ (соответственно n составляла 50, 60, 70, 80 и 90% от номинального значения). Рейка ТНВД была установлена в промежуточном положении, а не на максимальном.

Параметры рабочего процесса двигателя определялись системой мониторинга DEPAS D4.0H, разработанной в лаборатории «Мониторинг СДВС» Одесского национального морского университета. Система разработана для использования на судовых дизелях (главных и вспомогательных). Модуль реального времени системы D4.0H предназначен непосредственно для записи данных рабочего процесса и предварительного расчета трех основных параметров: максимальное давление сгорания в цилиндре (среднее, минимальное и максимальное значение за несколько рабочих циклов); частота вращения коленчатого вала двигателя; среднее давление в цилиндре. Тактность двигателя определяется автоматически. Данные индицирования отдельных цилиндров передаются с модуля D4.0H в компьютер через интерфейс RS-232. В состав системы входят вибродатчик VS-20, датчик давления газов PS-16, модуль реального времени D4.0H [6].

2. Анализ полученных результатов

С помощью системы DEPAS D4.0H определялись следующие параметры рабочего процесса судового СОД 6ЧН 25/34:

– среднее индикаторное давление P_i, МПа;

– цилиндровая индикаторная мощность N_i, кВт;

– максимальное давление сгорания P_z, МПа;

– максимальное давление сжатия P_c, МПа;

– давление начала сгорания $P_{c'}$, МПа;

–давление на линии расширения (36 град поворота коленчатого вала, град ПКВ, за верхней мертвой точкой, ВМТ) P_{exp}, МПа;

– угол, отвечающий максимальному давлению сгорания, φ_{Pz}, град;

– угол, отвечающий давлению начала сгорания, $\varphi_{c'}$, град;

– максимальная скорость нарастания давления при сгорании v_m, МПа/град ПКВ;

– степень повышения давления при сгорании λ;

– действительный угол опережения впрыска α, град;

– действительный угол впрыска топлива φ_{inj}, град.

Также определялось значение часового расхода топлива на двигатель G_T, кг/ч.

На рис. 1 представлены графики зависимости основных внешних характеристик (P_i, P_z, N_i, G_T) от частоты вращения. Мощность и расход топлива определялись для одного цилиндра двигателя. Значения других характеристик рабочего процесса двигателя при испытании на дизельном топливе и биодизеле при разных частотах вращения представлены в табл. 1.

Как видно из рис. 1, при переводе двигателя с дизельного топлива на биодизельное снижается среднее индикаторное давление в среднем на 7% (в зависимости от частоты вращения разница в значениях может составлять 5 – 11%). Также снижается максимальное давление сгорания, в среднем на 1,5%. Снижение максимального давления сгорания при работе дизельных двигателей на биодизельных топливах из масла зерен каучуконосов и пальмового масла подтверждается результатами, приведенными, соответственно, в работах [4, 5].

Уменьшение значения индикаторной мощности при работе на биодизельном топливе составляет порядка 7%, Часовой расход топлива увеличивается на 12%. Такие изменения расхода топлива и мощности двигателя обуславливаются меньшим значением низшей теплоты сгорания биодизельного топлива по сравнению с дизельным.

Цетановое число БД больше, чем у дизельного топлива, что приводит к сокращению периода задержки самовоспламенения, и, как следствие, к уменьшению жесткости работы двигателя. Как видно из табл. 1, максимальная скорость нарастания давления при сгорании выше при работе двигателя на дизельном топливе, чем на БД (в среднем на 7%), что также обуславливается более высоким цетановым числом биодизеля. Уменьшение угла начала

самовоспламенения топлива при работе на биодизельных топливах из рапсового масла и масла зерен каучуконосов также подтверждается результатами испытаний приведенных в публикациях [3, 4], соответственно.

При работе на БД действительный угол опережения впрыска меньше примерно на 1 град на всех частотах вращения кроме 450 мин$^{-1}$, когда он увеличивается на 1,5 град. Действительный угол впрыска также немного уменьшается при испытании двигателя на биодизеле (на 0,6 – 1,2 град), чем на ДП (за исключением работы при частоте вращения 400 мин$^{-1}$). Увеличение действительного угла впрыска топлива для биодизеля на некоторых режимах обуславливается более высоким значением вязкости и меньшим коэффициентом сжимаемости данного топлива по сравнению с ДП. При меньшем коэффициенте сжимаемости уменьшается время задержки подачи топлива, на которое также влияет объемная подача. Большая вязкость БД приводит к ухудшения испарения, смесеобразования и тепловыделения, по сравнению с работой двигателя на дизельном топливе.

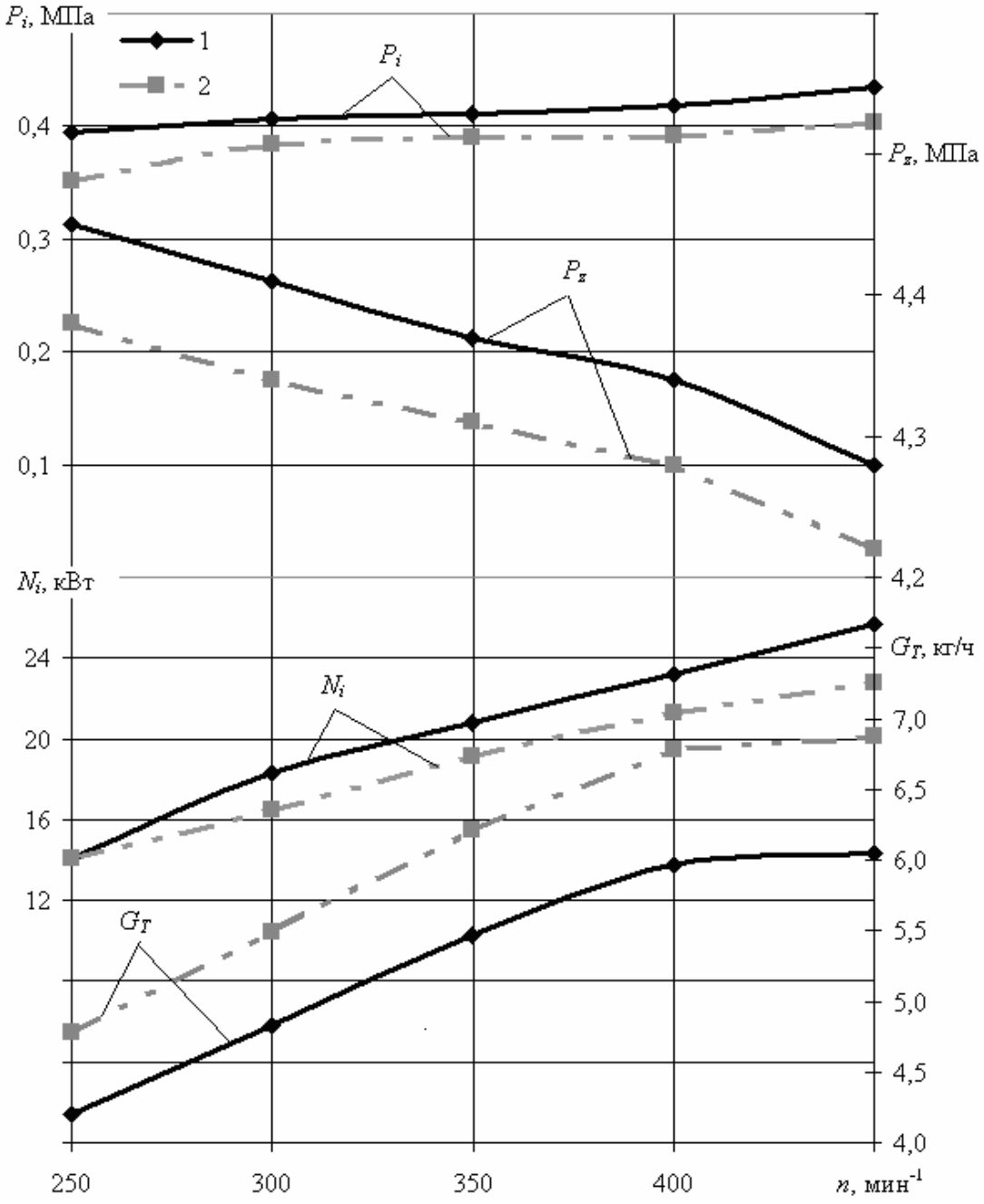

Рис. 1. Скоростные характеристики двигателя 6ЧН 25/34:
1 – при работе на ДТ; 2 – при работе на БД.

Таблица 1

Параметры рабочего процесса
дизельного двигателя 6ЧН 25/34 при работе на различных видах топлива

Топливо	n	φ_{Pz}	$P_{c'}$	$\varphi_{c'}$	P_{exp}	P_c	α	φ_{inj}	v_m	λ
ДТ	250	7,7	2,52	-5,8	1,83	2,69	7,9	37,2	1,62	1,61
БД		7,4	2,63	-4,7	1,81	2,89	7,2	36,8	1,55	1,5
ДТ	300	7,3	2,55	-5,5	1,81	2,72	8,8	39,7	1,53	1,59
БД		6,3	2,66	-5,1	1,75	2,91	8,6	38,9	1,44	1,49
ДТ	350	6,5	2,61	-4,9	1,79	2,78	8,9	39,6	1,45	1,54
БД		6	2,72	-5	1,7	2,97	8,5	39	1,35	1,47
ДТ	400	6,1	2,68	-4,7	1,77	2,86	9,5	39	1,36	1,51
БД		6	2,79	-6,5	1,68	3,05	8,5	39,5	1,26	1,45
ДТ	450	5,6	2,74	-4,4	1,74	2,88	8,7	42,3	1,3	1,47
БД		5,8	2,84	-5,7	1,66	3,11	10,2	40,3	1,19	1,37

Поскольку максимальное давление сгорания снижается наряду с уменьшением угла опережения впрыска топлива, при переводе двигателя с дизельного топлива на биодизель, соответственно перенастроив предварительно топливную аппаратуру, можно компенсировать потери в мощности и давлении. Увеличением цикловой подачи БД с учетом его низшей теплоты сгорания можно компенсировать снижение мощности двигателя.

Выводы

1. Проведены экспериментальные исследования работы судового среднеоборотного дизельного двигателя 6ЧН 25/34 на дизельном топливе и биодизеле. Получены характеристики рабочего процесса двигателя при работе на этих топливах на разных частотах вращения. Эксперимент подтвердил возможность удовлетворительной работы судовых СОД при переходе с ДП на БД.

2. Определено, что при переводе двигателя с дизельного топлива на биодизельное среднее индикаторное давление и максимальная скорость нарастания давления при сгорании снижаются в среднем на 7%; максимальное давление сгорания – на 1,5%; индикаторная мощность – на 7%; часовой расход топлива в среднем увеличивается на 8%.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку рекомендаций относительно особенностей эксплуатации судовых дизелей на биодизельных топливах.

Литература

1. Горбов В.М. Перспективы использования биотоплива в судовых энергетических установках / В.М. Горбов, В.С. Митенкова // Судоходство. – 2007. – № 1-2 (127). – С. 64-65.

2. Васильев И.П. Результаты испытаний в дизельном двигателе смесей топлив растительного происхождения / И.П. Васильев // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – № 2. – С. 3-9.

3. Семенов В.Г. Физико-химические показатели и эколого-экономические характеристики работы дизельного двигателя [Электронный ресурс] / В.Г. Семенов. – Х., 2002. – Режим доступа к док.: www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4637.html.

4. Raj T. Mohan Comparison of operational characteristics of diesel engine run by bio diesel (rubber seed oil) with diesel fuel operation [Электронный ресурс] / T. Raj. – Indian institute of Technology Bombey. – Режим доступа к документу: www.ese.iitb.ac.in/~icaer2007/Latest%20PPT%20File/48_023_TS4%20A.pdf.

5. Sudhir C.V. Potential of waste cooking oils as biodieselfeed stock / C.V. Sudhir, N.Y. Sharma, P. Mohanan // Emirates Journal for Engineering Research. – 2007. – Vol. 12. – № 3. – P. 69-75.

6. Описание продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа к документу: http://www.depas.odessa.ua/products.html.

7. Справочник судового механика / Под общ. ред. Л.Л. Грицая. – М.: Транспорт, 1974. – Т. 2. – 1376 с.

Поступила в редакцию 7.05.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Г. Тимошевский, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев.

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СУДНОВОГО СЕРЕДНЬООБЕРТОВОГО ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ НА БІОДИЗЕЛІ

В.Г. Івановський, Р.А. Варбанець, В.М. Горбов, В.С. Мітєнкова

Наведено результати випробовувань суднового середньообертового двигуна 6ЧН 25/34 на дизельному та біодизельному паливах. В процесі випробувань визначалися зовнішні швидкісні характеристики дизельного двигуна при роботі на кожному з палив, що досліджувалося. Параметри робочого процесу двигуна визначалися за допомогою системи моніторингу DEPAS D4.0H. Представлено графічні залежності основних параметрів робочого процесу та показників економічності двигуна при роботі на дизельному та біодизельному паливах.

Ключові слова: судновий дизельний двигун, біодизельне паливо, дизельне паливо, швидкісні характеристики, кут випередження упорскування, робочий процес.

THE ANALYSIS OF SHIP MEDIUM-REVERSE ENGINE OPERATING PROCESS PARAMETERS RUN BY BIODIESEL

V.G. Ivanovsky, R.A. Varbanets, V.M. Gorbov, V.S. Mitenkova

The results of ship medium-reverse engine 6CHN 25/34 tests run by diesel fuel and biodiesel are presented. The exterior speed characteristics of diesel engine run by both investigating fuels are found. Engines operating process parameters are evaluated using monitoring system DEPAS D4.0H. The graphical dependences of operating process and economical efficiency main parameters for engine run by diesel fuel and biodiesel are shown.

Key words: ship diesel engine, biodiesel fuel, diesel fuel, speed characteristics, real angle of injection start, operating process.

Ивановский Валерий Георгиевич – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой судовые энергетические установки и техническая эксплуатация Одесского национального морского университета, Одесса, Украина.

Варбанец Роман Анатольевич – канд. техн. наук, доцент кафедры судовые энергетические установки и техническая эксплуатация Одесского национального морского университета, Одесса, Украина.

Горбов Виктор Михайлович – канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой судовых и стационарных энергетических установок, директор Машиностроительного института Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: v.gorbov@usmtu.edu.ua.

Митенкова Вера Сергеевна – аспирант, ассистент кафедры судовых и стационарных энергетических установок Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: vera.mitenkova@gmail.com.