

УДК629.5:656.6

Г.М. Бабаев

Азербайджанская Государственная Морская Академия,
Азербайджанская Республика
Тел/Факс: (+99412) 493-75-21, E-mail: akademiya.edu.az

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ СУДОВОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

В статье описаны результаты теоретических и экспериментальных исследований работы судовых дизелей с использованием дизельного и моторного видов топлива при изменении начала впрыска топлива в форсунке. Произведены сравнения расчетных и экспериментальных показателей двигателя при работе с различными видами топлива.

Ключевые слова: дизельное топливо, моторное топливо, давление, начало впрыска, форсунка.

Введение. Основным источником энергии, используемым на судах Азербайджанской Республики, являются двигатели внутреннего сгорания (ДВС). На всех относительно малых судах и на большинстве судов с энергетической установкой мощностью до 20 МВт в качестве источника энергии используются дизельные двигатели, работающие на различных видах топлива. В условиях удорожания энергоносителей одной из основных проблем, стоящих перед специалистами, связанными с производством и эксплуатацией судовых ДВС, является улучшение экономичности дизелей, уменьшение их удельной массы, а также снижение токсичности отработанных газов, выбрасываемых в атмосферу. Поэтому для решения перечисленных задач большое значение приобретает проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этом направлении.

На практике в процессе эксплуатации судовых дизелей часто появляется необходимость использования различных видов тяжёлого топлива, которые различаются между собой физико-химическими свойствами. А это, в свою очередь, требует изменения некоторых регулировочных параметров при эксплуатации двигателя. Одним из таких параметров является давление начала впрыска топлива в форсунке. Так, установленное оптимальное значение давления начала впрыска топлива в форсунке при работе с одним видом топлива для другого вида не является оптимальным, т.к. с изменением вида топлива изменяется его плотность и вязкость, которые, в свою очередь влияют на качество распыливания. Поддержание качества распыливания на требуемом уровне при работе двигателя на различных видах топлив можно частично компенсировать изменением давления начала впрыска топлива в форсунке. С этой целью нами были проведены теоретические и экспериментальные исследования работы судового вспомогательного дизеля марки 2Ч 10,5/13 при использовании дизельного и моторного топлив (ДТ и ДМ, соответственно). (1,2)

Основное содержание и результаты работы: Математические исследования выполнены с помощью расчетной методики, разработанной на кафедре «Судовые энергетические установки» Азербайджанской Государственной Морской Академии (АГМА) [1]. Для проверки адекватности расчетной методики были сопоставлены

расчетные и паспортные показатели двигателя 2Ч 10,5/13 при работе на дизельном топливе (таблица 1). Кроме того, сравнивались расчетные и экспериментальные показатели двигателя при работе с различными видами топлива, а также с различными значениями давления начала впрыска в форсунке (таблица 2).

Необходимо отметить, что и расчеты, и испытания двигателя проводились при числе оборотов двигателя $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ и при оптимальном значении давления начала впрыска топлива $P_{\text{опт.}} = 12,5 \text{ МПа}$.

Таблица 1. Расчетные и паспортные показатели двигателя 2Ч 10,5/13 при работе на дизельном топливе

№ п/п	Параметры	Расчетные значения	Паспортные значения	Погрешность, %
1.	Давление в конце сжатия (P_c), МПа	3,75	3,7 ÷ 3,9	1,3 ÷ 3,8
2.	Максимальное давление в цилиндре (P_z), МПа	6,49	6,5	0,06
3.	Среднее эффективное давление (P_e), МПа	0,534	0,534	0
4.	Номинальная мощность (N_e), кВт	14,7	14,7	0
5.	Удельный эффективный расход топлива (g_e), г/(кВт·час)	275	265,2	0,7

Как видно из таблицы 1, погрешности между расчетными и паспортными значениями двигателя изменяются в пределах $0,06 \div 3,8 \%$ и находятся в допустимых пределах. Это значит, что результаты математических исследований, полученные с помощью вышеуказанной расчетной методики, могут считаться удовлетворительными.

В таблице 2 сопоставлены результаты расчетных и экспериментальных исследований при работе дизеля 2Ч 10,5/13 на дизельном (100% ДТ) и моторном (100% ДМ) топливе с различными значениями давления начала впрыска. Как видно из таблицы, погрешности между расчетными и экспериментальными значениями находятся в пределах $1,7 \div 3,9\%$, что является допустимым. Таким образом, полученные результаты еще раз подтверждают достоверность выполненных нами математических расчетов.

Таблица 2. Результаты расчетных и экспериментальных исследований при работе дизеля 2Ч 10,5/13 на дизельном (100% ДТ) и моторном (100% ДМ) топливе

Давление начала впрыска, МПа	100% ДТ						100% ДМ					
	N_e , кВт			g_e , г/(кВт·час)			N_e , кВт			g_e , г/(кВт·час)		
	Екс.	Рас.	Пог. %	Екс.	Рас.	Пог. %	Екс.	Рас.	Пог. %	Екс.	Рас.	Пог. %
8,0	12,7	12,3	3,15	340	330	2,9	12,5	12,1	3,2	423	410	3,1
10,0	13,85	13,45	2,7	311	301	3,2	13,7	13,3	2,9	384	373	2,9
12,0	14,75	14,5	1,7	290	280	1,8	14,64	14,3	2,3	354	346	2,3
14,0	14,5	14,1	2,8	298	288	3,4	15,6	15,2	2,6	333	324	3,3
16,0	13,63	13,3	2,4	315	304	3,5	16,0	15,4	3,9	329	320	2,7

Ввиду того, что моторные испытания проводились с использованием дизельного (100% ДТ) и моторного (100% ДМ) топлив при различных давлениях начала впрыска

(8,0; 10,0; 12,0; 14,0 и 16,0 МПа), математические расчёты также проводились с учётом этих показателей.

В таблицах 3 и 4 показаны результаты расчетов и моторных испытаний, где показано, что коэффициент использования теплоты (ξ_z), максимальная температура сгорания (T_z), температура в конце процесса расширения (T_b) определялись расчетным путем, а коэффициент избытка воздуха (α), среднее индикаторное и эффективное давления (P_i и P_e), индикаторная и эффективная мощности (N_i и N_e), удельный индикаторный и эффективный расходы топлива (g_i и g_e), индикаторный и эффективный к.п.д. (η_i и η_e) определялись в результате моторных испытаний.

Таблица 3. Топливо: 100% ДТ ($\rho_T = 852 \text{ кг/м}^3$; $Q_H = 42654 \text{ кДж/кг}$)

Показатели Давление начала впрыска	α	ξ_z	P_i , МПа	P_e , МПа	N_i , кВт	N_e , кВт	g_i , г/(кВт·час)	g_e , г/(кВт·час)	η_i	η_e	T_z , К	T_b , К
$P_{fo} = 8,0 \text{ МПа}$	1,58	0,606	0,625	0,447	17,2	12,3	236	330	0,357	0,255	1708	858
$P_{fo} = 10,0 \text{ МПа}$	1,58	0,677	0,684	0,489	18,8	13,45	215	3301	0,392	0,28	1799	916
$P_{fo} = 12,0 \text{ МПа}$	1,58	0,742	0,736	0,526	20,3	14,5	200	280	0,423	0,302	1880	886
$P_{fopt} = 12,5 \text{ МПа}$	1,58	0,757	0,748	0,534	20,6	14,7	196	275	0,43	0,307	1900	981
$P_{fo} = 14,0 \text{ МПа}$	1,58	0,716	0,715	0,511	19,7	14,1	206	288	0,41	0,293	1847	947
$P_{fo} = 16,0 \text{ МПа}$	1,58	0,669	0,678	0,484	18,7	13,3	217	304	0,388	0,277	1759	910

На основании данных таблицы 3 и 4 были построены соответствующие графики. Так, на рисунках 1-3 показаны графики энергетических и экономических показателей, а также параметров, характеризующих процесс сгорания в зависимости от давления начала впрыска, а на рисунке 4 графики изменения оптимальных значений давления начала впрыска, коэффициента избытка воздуха (α) и коэффициента использования теплоты (ξ_z) в зависимости от вида топлива.

На рис.1 показаны графики изменения энергетических показателей, т.е. среднего индикаторного и эффективного давлений (P_i и P_e), индикаторной и эффективной мощностей (N_i и N_e) в зависимости от давления начала впрыска топлива. Как видно из рисунка, с утяжелением топлива возрастает оптимальное значение давления начала впрыска. Так, если при работе двигателя на топливе 100% ДТ значение $P_{opt} = 12,5 \text{ МПа}$, то при работе на топливе 100% ДМ значение $P_{opt} = 15,2 \text{ МПа}$. Поэтому при работе на каждом топливе максимальные значения P_i , P_e , N_i и N_e получаются при соответствующих оптимальных значениях давлений начала впрыска. При работе двигателя на 100% ДМ повышение максимума N_i и N_e объясняется количественным увеличением массы впрыскиваемого топлива в цилиндр при одинаковых положениях рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД).

Графики изменения экономических показателей (g_i , g_e , η_i и η_e) двигателя в зависимости от давления начала впрыска топлива показаны на рис. 2. Как видно из рисунка, экстремальные значения экономических показателей двигателя при работе на 100% ДТ и 100% ДМ также получены при оптимальных значениях давлений начала впрыска (при $P_{opt} = 12,5$ МПа и $P_{opt} = 15,2$ МПа, соответственно). Увеличение удельных расходов топлива при работе на 100% ДМ, видимо, объясняется с ухудшением способности испарения тяжелого топлива и уменьшением коэффициента использования теплоты.

Таблица 4. Топливо: 100% ДТ ($\rho_T = 940$ кг/м³; $Q_H = 41418$ кДж/кг)

Показатели / Давление начала впрыска	α	ξ_z	P_i , МПа	P_e , МПа	N_i , кВт	N_e , кВт	g_i , г/(кВт·час)	g_e , г/(кВт·час)	η_i	η_e	T_z , К	T_b , К
$P_{fo} = 8,0$ МПа	1,43	0,498	0,558	0,399	16,95	12,1	293	410	0,297	0,212	1606	795
$P_{fo} = 10,0$ МПа	1,43	0,577	0,612	0,437	18,6	13,3	266	373	0,326	0,233	1687	845
$P_{fo} = 12,0$ МПа	1,43	0,61	0,659	0,471	20,01	14,3	247	346	0,352	0,251	1759	891
$P_{fo} = 14,0$ МПа	1,43	0,659	0,7	0,5	21,3	15,2	232	324	0,375	0,268	1825	933
$P_{fopt} = 15,2$ МПа	1,43	0,686	0,725	0,518	22,0	15,7	224	313	0,388	0,277	1862	957
$P_{fo} = 16,0$ МПа	1,43	0,669	0,71	0,507	21,6	15,4	229	320	0,38	0,271	1839	942
$P_{fo} = 18,0$ МПа	1,43	0,631	0,677	0,484	20,6	14,7	240	336	0,362	0,259	1787	909

На рис.3 показаны графики изменения параметров, характеризующих процесс сгорания (коэффициент использования теплоты (ξ_z), максимальная температура и давление в конце процесса сгорания (T_z и P_z)) в зависимости от давления начала впрыска.

Как видно из рисунка, во всем диапазоне изменения давления начала впрыска давление в конце процесса сгорания (P_z) практически остается постоянным. Но, несмотря на это, и коэффициент использования теплоты (ξ_z), и температура в конце процесса сгорания (T_z) сначала повышаются, а потом уменьшаются. Максимальные значения этих показателей соответствуют оптимальным давлениям начала впрыска. Уменьшение показателей ξ_z и T_z при работе двигателя на тяжелом топливе объясняется ухудшением способности испарения топлива, а также качества смесеобразования. По этим причинам с утяжелением топлива повышается оптимальное значение давления начала впрыска.

Графики изменения оптимальных значений давления начала впрыска (P_{opt}), коэффициента избытка воздуха (α) и коэффициента использования теплоты (ξ_z) в

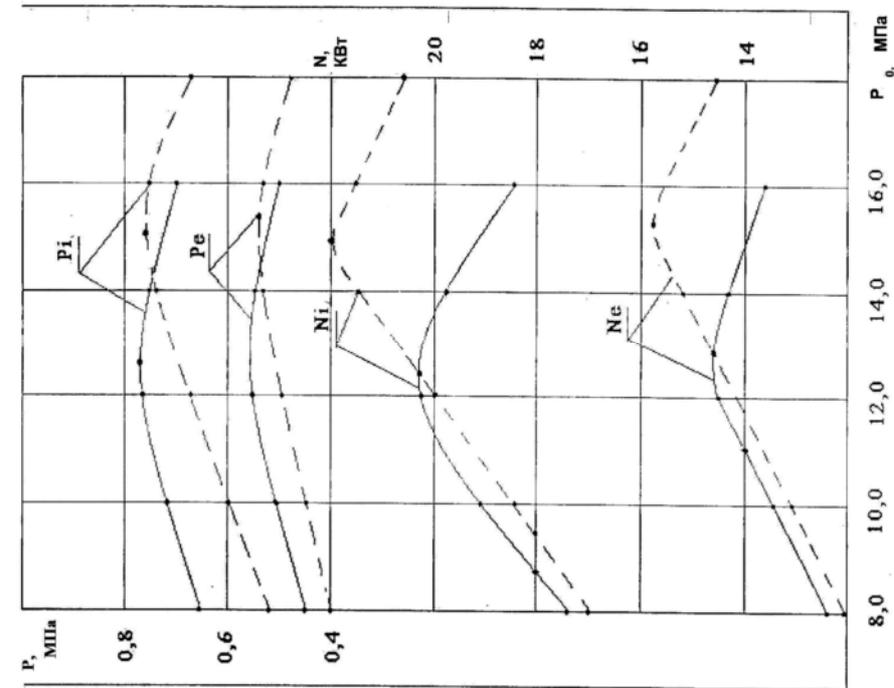


Рис. 1. Влияние давления начала впрыска топлива на энергетические показатели двигателя:
 ● — 100% ДТ (P_{опт} = 12,5 МПа)
 ● — 100% ДМ (P_{опт} = 15,2 МПа)

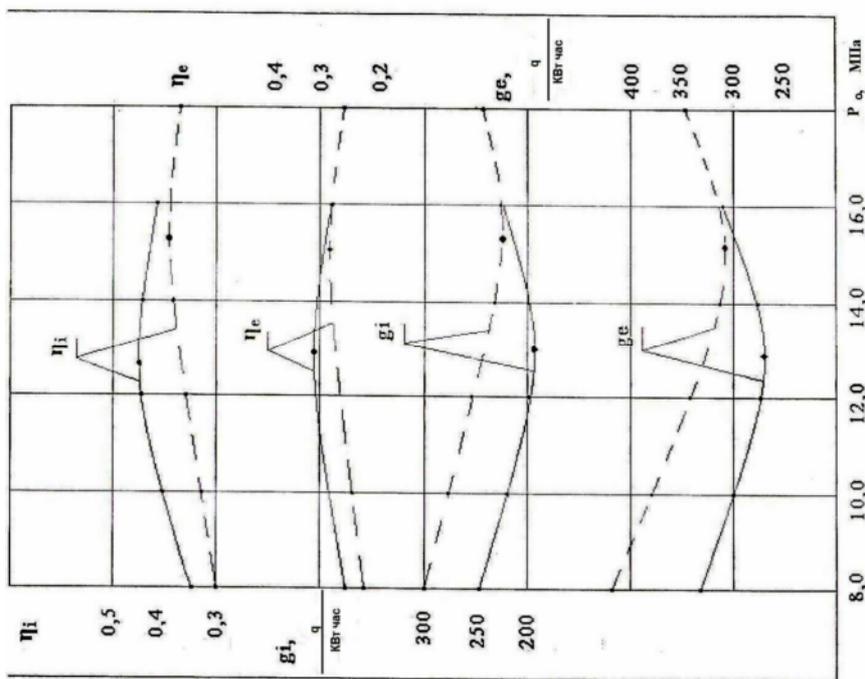


Рис. 2. Влияние давления начала впрыска топлива на экономические показатели двигателя:
 ● — 100% ДТ (P_{опт} = 12,5 МПа)
 ● — 100% ДМ (P_{опт} = 15,2 МПа)

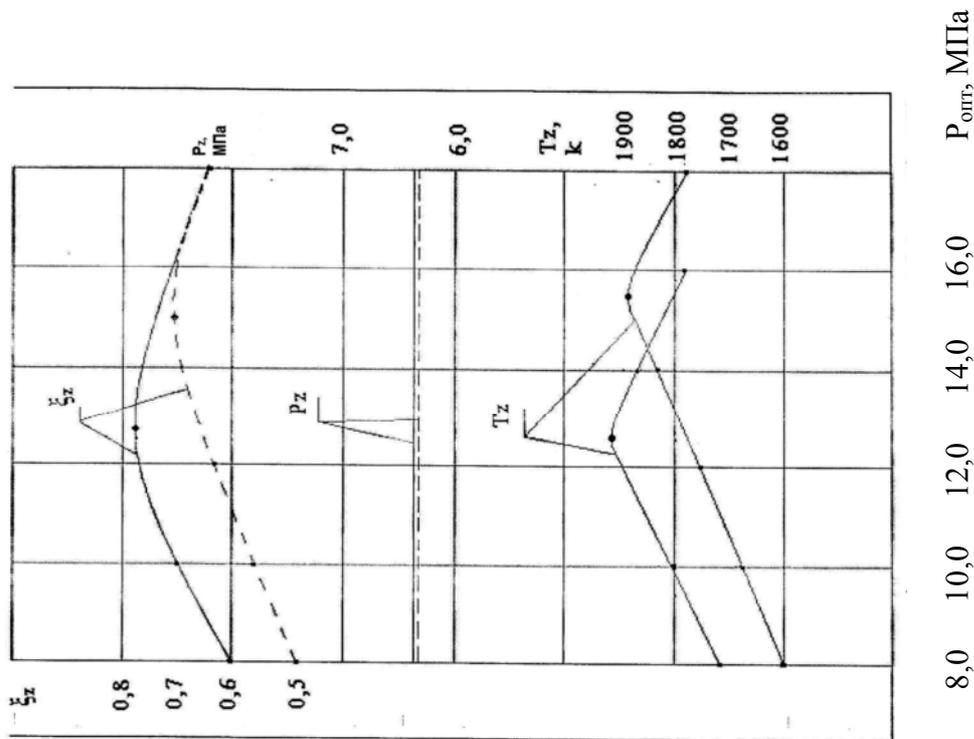


Рис. 3. Влияние давления начала впрыска топлива на параметры процесса сгорания:
 ● — 100% ДТ ($P_{opt} = 12,5$ МПа)
 ● — 100% ДМ ($P_{opt} = 15,2$ МПа)

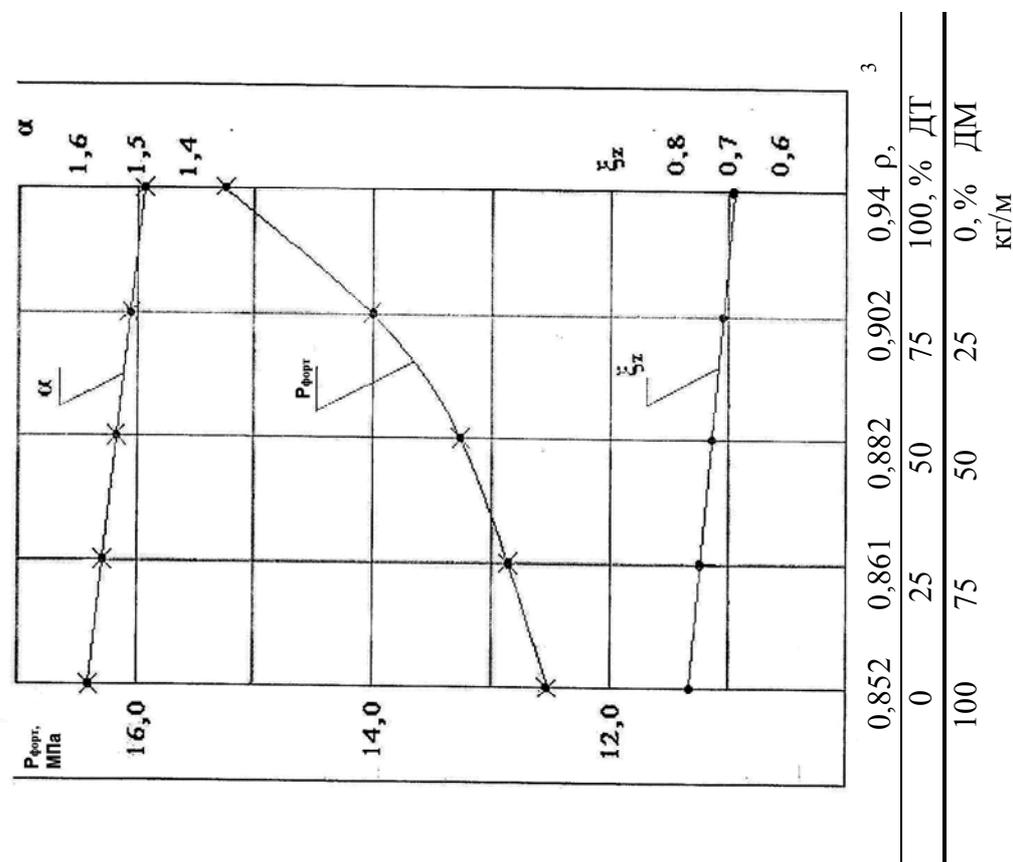


Рис. 4. Изменения оптимальных значений давления начала впрыска топлива в зависимости от его вида:
 ● — Эксперимент
 ● — Расчет

зависимости от вида топлива, т.е. от плотности топлива показаны на рис. 4.

Как видно из этого рисунка с увеличением тяжелой фракции в смеси, которое, в свою очередь, вызывает увеличение плотности смеси, повышается P_{opt} , а ξ_z и α уменьшаются. Как видим, повышение оптимальных значений давления начала впрыска с увеличением плотности смеси, происходит в связи с ухудшением качества распыливания тяжелых видов топлива при низких значениях давления начала впрыска, а уменьшение коэффициента избытка воздуха (α) и коэффициента использования теплоты (ξ_z) при этом объясняется увеличением массового количества впрыснутого в цилиндр топлива и ухудшением способности испарения тяжелого топлива. (3,4,5)

Заключение: Таким образом, в результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований работы судового вспомогательного дизеля при использовании различных видов жидкого топлива определено, что с повышением плотности используемого топлива необходимо увеличивать оптимальное значение давления начала впрыска.

Список литературы:

1. Исследование изменения расхода топлива, при работе вспомогательного судового дизеля на различных видах топлива // Научные труды Азербайджанской Государственной Морской Академии. – 2008. - №7. - С. 45-46.
2. Исследование влияния начального давления впрыска форсунок на показатели вспомогательного судового дизеля (24 10,5/13) // Научные труды Азербайджанской Государственной Морской Академии. – 2010. - №2. - С. 36-41.
3. Исмаилов А.Ш. Математическая модель рабочего цикла судовых дизелей при работе на топливах, изготовленных на основе газового конденсата / А.Ш. Исмаилов, Г.О. Самбур, Г.М. Бабаев // Научные труды Азербайджанской Государственной Морской Академии. – 2007. - № 5. - С. 5-6.
4. Исследование при помощи математических экспериментов влияния степени сжатия на показатели судовых дизелей // Научные труды Азербайджанской Государственной Морской Академии. – 2010. - №2. - С. 32-36.
5. Математическое исследование рабочего процесса дизельного двигателя при работе на топливе, изготовленном на основе газоконденсата // « 54-ая Научно-техническая и учебно-методическая конференция профессорско-преподавательского и аспирантская коллектива Азербайджанского Технического Университета» (Баку, 2000г.) Ч. 1. – Баку, 2000. - С. 224-227.

Надійшла до редакції 28.01.2013.

Г. М. Бабаїв

ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ ДОПОМІЖНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ РІДКИХ ПАЛІВ

У статті описані результати теоретичних та експериментальних досліджень роботи судових дизелів з використанням дизельного і моторного видів палива при зміні початку впрыскування палива у форсунці. Зроблені порівняння розрахункових та експериментальних показників двигуна при роботі з різними видами палива.

Ключеві слова: дизельне паливо, моторне паливо, натиск, початок впрыскування, форсунка.

H. M. Babaev

SOME RESULTS OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF MARINE AUXILIARY DIESEL ENGINES OPERATION WHEN USING VARIOUS LIQUID FUELS

The paper provides the results of theoretical and experimental studies of marine engines operation with the use of diesel and motor fuels when changing the beginning of fuel atomization in the burner. We compared experimental and calculated data in the process of engine's operation with different fuels.

Key words: diesel fuel, motor fuel, pressure, atomization beginning, burner.