

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Н.Н. Патрахальцев, д.т.н., проф.,  
Пилар Габриэла Борреро Гарсия, студентка магистратуры РУДН, Венесуэла  
Российский университет дружбы народов

Проведен анализ возможностей повышения экономичности энергетической установки корабля на режимах малых нагрузок. Показано, что более высокий эффект достигается сочетанием отключения цилиндров со специальными регулировками дизеля на таких режимах.

В условиях эксплуатации дизели корабельных силовых установок длительное время работают на режимах малых нагрузок, соответствующих малым ходам. Работа на этих режимах характеризуется ухудшением показателей работы топливной аппаратуры, увеличением удельных и часовых расходов топлива и масла, повышением выбросов вредных веществ и дымности отработавших газов, интенсивным нагарообразованием на деталях ЦПГ и т. д. [1, 2]. Одним из методов улучшения показателей работы дизеля на режимах малых нагрузок является метод отключения цилиндров или циклов, называемый также методом изменения рабочего объема двигателя [3]. С точки зрения возможности повышения экономичности, этот метод менее эффективен для дизелей, чем для двигателей с искровым зажиганием. Поэтому его реализация сопровождается дополнительными конструктивными или регулировочными мероприятиями, сочетание которых с отключением цилиндров дает более ощутимый эффект.

Оценка ожидаемого экономического эффекта при отключении цилиндров может производиться на основании анализа универсальных характеристик двигателя, на которых нанесены параметрические кривые постоянных удельных эффективных расходов топлива или эффективного КПД [4]. Для оценки эффективности метода используется показатель удельной работы,  $L_{уд} = L_{полн}/(i \cdot V_h)$ , Дж/л, выполняемой двигателем на режиме малой нагрузки, при всех работающих цилиндрах  $i$ , или при  $z$  не отключенных, активных цилиндрах  $L_{уд} = L_{полн}/(z \cdot V_h)$ . Полная работа, выполняемая дизелем на данном режиме, составляет  $L_{полн} = 500 \cdot p_e \cdot i \cdot V_h$ , Дж. Для универсальных характеристик, построенных в координатах  $p_e-n$

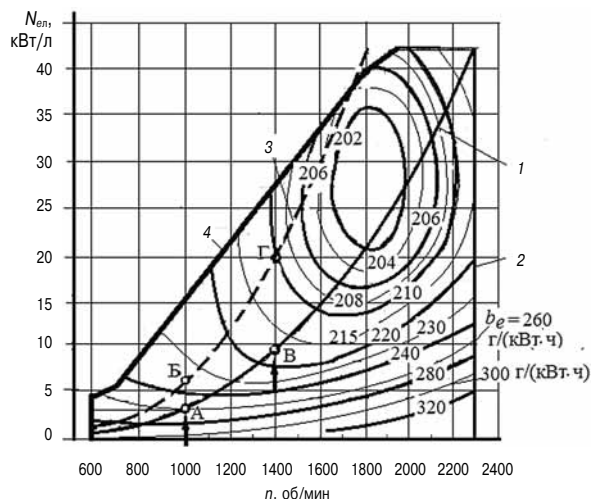
или  $M_e-n$ , целесообразно провести замену ординат  $p_e$  или  $M_e$  на показатели удельной работы, соответственно  $L_{уд} = 500 \cdot p_e$  или  $L_{уд} = 2\pi \cdot M_e$ . Тогда универсальная характеристика в координатах  $L_{уд}-n$  дает возможность оценить удельные расходы топлива при разном числе активных цилиндров. Для судовых дизелей универсальные характеристики часто строятся в координатах  $N_e-n$ . В этих случаях удобно воспользоваться (по предложению профессора В.К. Румба) одним из стандартизированных параметров, характеризующих двигателя, — литровой мощностью:  $N_{ел} = N_e/(i \cdot V_h)$  или соответственно:  $N_{ел} = N_e/(z \cdot V_h)$ . Это тем более удобно, что судовой дизель работает по винтовой характеристике, строго связывающей тормозную мощность с частотой вращения.

В данной работе анализ проведен применительно к корабельной установке корабля типа «Корвет» патрульной службы ВМФ Венесуэлы. Пропульсивный комплекс корабля состоит из четырех дизелей типа MTU 12V2000 M50B, объединенных в два дизель-редукторных агрегата, работающих на два винта регулируемого шага. Дизель двенадцатицилиндровый, V-образный,  $D/S = 13/15$  см,  $V_h = 1,99$  л,  $N_{енном} = 1007$  кВт при  $n_{ном} = 2300$  об/мин,  $b_{енном} = 218$  г/(кВт·ч).

Дизель снабжен системой отключения шести цилиндров при работе на малых нагрузках. В этом случае его рабочий объем уменьшается с 23,88 до 11,94 л и соответственно возрастает удельная работа при неизменной полной или, соответственно, литровая мощность. Два свободных газотурбонагнетателя имеют систему регулирования подвода отработавших газов в два или один ГТН, в зависимости от режима работы. Топливная аппаратура — аккумуляторного типа с электронным регулированием.

Универсальная характеристика с ординатой  $N_{ел}$  полноразмерного дизеля и винтовая характеристика  $I$  его нагружения показаны на рис. 1. Параметрические кривые удельных расходов топлива получены с точностью до +5 % при работе на дизельном топливе с низшей теплотой сгорания 42,8 мДж/кг.

При этом шкала развиваемой мощности  $N_e$  заменена соответствующим пересчетом на лит-



**Рис. 1. Универсальная характеристика дизеля MTU 12V2000 M50B в координатах  $N_{\text{еп}}-n$ :**

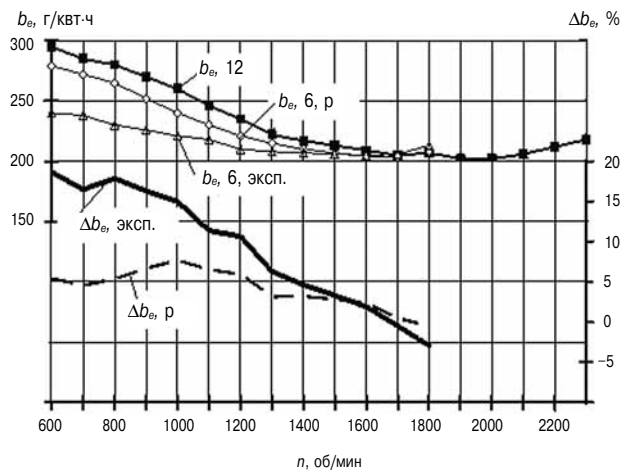
1 — винтовая характеристика полноразмерного дизеля в координатах литровой мощности и частоты вращения; 2 — параметрические кривые постоянных удельных эффективных расходов топлива ( $b_e$ ); 3 — винтовая характеристика дизеля при работе на шести активных цилиндрах; 4 — ограничительные характеристики

ровую мощность  $N_{\text{еп}}$ . Это позволило построить также винтовую характеристику 3 дизеля при работе с шестью активными цилиндрами. Работа на шести цилиндрах возможна до частоты вращения не выше 1600–1700 об/мин, ввиду приближения к ограничительной характеристике 4.

Оценка возможного снижения расхода топлива при отключении шести цилиндров показана по следующей схеме. Пусть полноразмерный дизель работает при  $n = 1000$  об/мин, т. е. в точке А винтовой характеристики 1. Отключение шести цилиндров приводит к росту литровой мощности и дизель работает в точке Б винтовой характеристики 3. При этом удельный эффективный расход топлива может измениться от 260 до ~235 г/(кВт·ч), т. е. снизиться вследствие улучшения процесса впрыска топлива за счет увеличения цикловой подачи.

При работе на режиме  $n = 1400$  об/мин (точка В) за счет отключения шести цилиндров дизель переводится в режим, соответствующий точке Г. В этом случае ожидаемое изменение удельного расхода топлива может составить от 217 до 210 г/(кВт·ч). Изменения удельных расходов в абсолютных и относительных единицах показаны на рис. 2 (об экспериментальных данных (эксп.) — см. ниже).

Установлено, что снижение расхода топлива, полученное за счет отключения половины цилиндров, может составить не более 7 %. Если допустить равные по продолжительности периоды работы дизеля во всех точках штатной винтовой характеристики 1, то экономия часового расхода



**Рис. 2. Изменение удельных расходов топлива ( $b_e$ ) при работе дизеля MTU 12V2000 V50B по штатной винтовой характеристике при полном числе цилиндров (12) и при шести активных цилиндрах (6):**

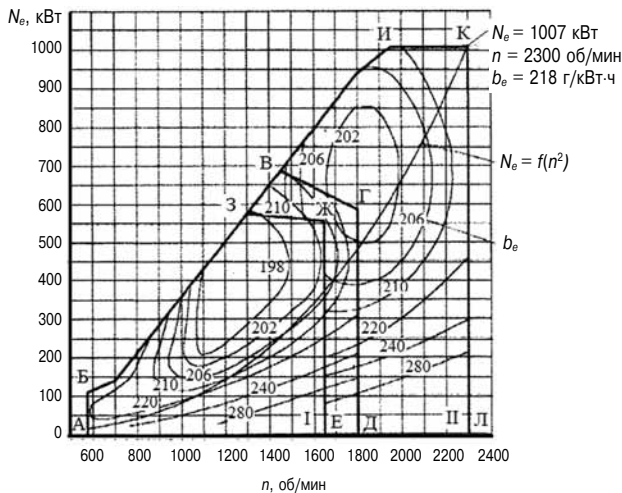
p — расчет по универсальной характеристике без использования специальных регулировок дизеля; эксп. — эксперимент на дизеле, оснащемном специальными средствами и регулировками для повышения эффективности метода отключения цилиндров;  $\Delta b_e$  — относительное снижение расхода топлива расчетные (p) и экспериментальные (эксп.), полученные благодаря отключению цилиндров

топлива за счет отключения цилиндров и работе в зоне малых нагрузок составит только 4 %.

Проведенный анализ выполнен для случая, когда на работающем дизеле не проводилось никаких мероприятий, улучшающих протекание рабочего процесса при отключении цилиндров. В действительности на дизеле с отключенными цилиндрами возможны как новые регулировки воздухообеспечения, так и соответствующие им изменения параметров впрыска топлива, улучшающие показатели работы дизеля в области пониженных частот вращения. Фирма-изготовитель приводит универсальные характеристики дизеля, полученные при работе двигателя на шести цилиндрах (рис. 3).

Здесь на одном графике приведены два поля возможных режимов работы дизеля. Пользуясь этими характеристиками, получим результаты, приведенные на рис. 2. Снижение расхода топлива может достигать 18 % при минимальных частотах вращения вала. Если допустить равные по продолжительности режимы работы дизеля во всех точках штатной винтовой характеристики 1 в области малых нагрузок, то экономия часового расхода топлива за счет отключения цилиндров составит порядка 7 %.

Целью изменения рабочего объема является не только повышение экономичности дизеля на режимах малых нагрузок, но и ускоренный прогрев двигателя после пуска для сокращения времени выхода на режимы полных нагрузок.



**Рис. 3. Универсальные характеристики дизеля MTU 12V 2000 M50B:**

А–Б–В–Г–Д–А — поле (I) возможных режимов работы дизеля на шести цилиндрах; Е–Ж–З–И–К–Л–Е — поле (II) предпочтительных режимов работы полноразмерного дизеля

Изменение рабочего объема на малых нагрузках приводит также к снижению выбросов вредных веществ и дымности ОГ [4], уменьшению расхода смазочного масла и снижению нагарообразования на поверхности камеры сгорания.

Таким образом, простое отключение цилиндров, без изменения регулировок систем двигателя на режимах работы с меньшим числом активных цилиндров, дает сравнительно небольшую экономию расхода топлива. Сочетая процесс отключения цилиндров с изменением его регулировок, можно существенно повысить эксплуатационную топливную экономичность судового дизеля.

**Литература**

1. Гаврилов В.С., Камкин С.В., Шмелев В.П. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. Учебное пособие для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1985. — 288 с.
2. Николаев Н.И., Гинда О.П., Н.Н. Зиненко. Повышение эксплуатационной топливной экономичности главных двигателей на частичных нагрузках // Двигателестроение. — 2010. — № 4 (242). — С. 22–24.
3. Балабин В.Н. Регулирование транспортных двигателей отключением части цилиндров: монография. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». — 2007. — 143 с.
4. Патрахальцев Н.Н., Аношина Т.С., Камышиников Р.О. Снижение расхода топлива и вредных выбросов дизеля на режимах малых нагрузок методом изменения рабочего объема // Двигателестроение. — 2015. — № 1 (259). — С. 26–29.

**ЮБИЛЕЙ!**

*Александр*  
*Васильевичу*  
*Смирнову* **60 лет!**



*20 августа 2015 года исполнилось 60 лет*  
*Александру Васильевичу Смирнову, полковнику запаса,*  
*доктору технических наук, профессору,*  
*начальнику кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ),*  
*члену редколлегии научного журнала «Двигателестроение».*

Вся служебная и научная карьера А.В. Смирнова связана с Военным инженерно-техническим университетом (ВВИТКУ, ВИТУ, ВИ(ИТ)).

После окончания с отличием электромеханического факультета ВВИТКУ с 1977 по 1980 г. проходил службу в войсках ПВО.

С 1981 по 1984 г. обучался в очной адъюнктуре с представлением и защитой кандидатской диссертации. В 1992 г. закончил очную докторантуру, защитив диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. С 1992 г. по настоящее время — начальник кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ).

Профессор А.В. Смирнов сформировал две новые научные школы: по надежности, живучести и энергетической безопасности теплоэнергетических установок и по разработке новых эффективных котлов малой мощности с топками кипящего слоя для сжигания низкосортных твердых топлив; опубликовал более 150 научных трудов, подготовил три учебника (по теплопередаче, термодинамике и котельным установкам).

А.В. Смирнов награжден правительственными наградами: орденом Почета, медалями «За отличие в воинской службе I, II, III степени», «За воинскую доблесть», и многими юбилейными медалями и почетными знаками Министерства обороны, имеет почетные звания — «Почетный энергетик России», «Почетный работник топливно-энергетического комплекса».

*Командование института, коллектив кафедры и редакция журнала «Двигателестроение» поздравляют юбиляра и желают ему крепкого здоровья и новых творческих успехов и достижений.*