

УДК 621.431.74

**Р.А. ВАРБАНЕЦ, Ю.Н. КУЧЕРЕНКО, А.И. ГОЛОВАНЬ,
Н.И. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ***Одесский национальный морской университет, Украина***ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ VIT НА ХАРАКТЕР РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
МАЛОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ MAN V&W СЕРИИ MC**

Дан анализ работы механической системы VIT (Variable Injection Timing) судовых малооборотных дизелей MAN V&W серии MC, предназначенной для коррекция угла опережения впрыска топлива в зависимости от нагрузки. На примере судового малооборотного главного дизеля 6L80MC показано влияние VIT на характер рабочего процесса. Проанализированы признаки задержки подачи топлива в цилиндр двигателя, выявлена и устранена неисправность – снижение давления воздуха в пневмосистеме – в результате чего получена существенная экономия топлива, а также снижение температуры выхлопных газов.

Ключевые слова: судовые малооборотные дизели, VIT, топливоподача.

Введение

Главные судовые малооборотные (МОД) дизели MAN V&W серии MC отличает надежность, большой моторесурс и высокая экономичность. В последнее время самая крупная дизелестроительная фирма потеряла аббревиатуру V&W и сейчас называется MAN Diesel & Turbo SE. Максимальная, заявленная фирмой, мощность МОД K98MC-C составляет 68520 кВт, а минимальный удельный эффективный расход топлива МОД S80MC на режимах L2, L4 заявлен беспрецедентно малой величиной – 154 г/кВт*ч.

По мнению многих судовых механиков МОД MAN серии MC являются самыми надежными в своем классе дизелями. Эти двигатели заслуженно получили наибольшее распространение на морском транспортном флоте [1].

Высокий моторесурс МОД MAN объясняет, в частности, низкая температура выпускных газов и низкая номинальная частота вращения коленчатого вала (до 300°С на основных – MCR – эксплуатационных режимах с RPM до 59 мин⁻¹), что характеризует относительно низкую теплонапряженность основных деталей ЦПГ. Из обозначения видно, что наибольший диаметр цилиндра МОД MAN составляет 98 см. На рис. 1 показаны основные пропорции малооборотного дизеля S90ME (не относящегося к серии MC, но самого современного) с массой более 1000 т. Его масштаб можно представить, учитывая, что расстояние между верхними площадками справа соответствует росту человека.

Первая буква в названии характеризует длинноходность – отношение хода поршня к диаметру

цилиндра (S/D). До 2010 года дизели MAN имели три градации длинноходности: K (S/D=2,45-2,875), L (S/D=3-3,24), S (S/D=3,54-4,2). В 2010 появились публикации фирмы о создании новой серии с аббревиатурой G (Ultra-Long-Stroke, S/D приближается к 5). В проспектах серии G фирма MAN Diesel & Turbo заявляет о снижении номинальной частоты вращения, сокращении расхода топлива и вредных выбросов до 7% [2].

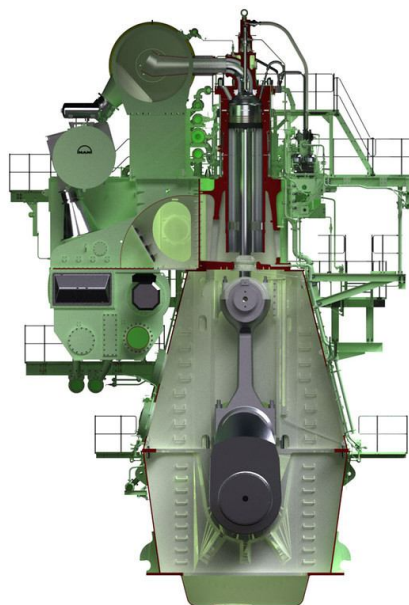


Рис. 1. MAN Diesel S90ME-C10.2

На всех МОД MAN Diesel серии MC предусмотрена коррекция угла опережения впрыска топлива в зависимости от нагрузки – система VIT. Производится это с тремя целями:

- в первую очередь, повышение экономичности рабочего цикла за счет увеличения угла опережения на основных эксплуатационных режимах (выше 30-40% от номинальной нагрузки);

- во-вторых, недопущение превышения заданного фирмой предела P_z , за счет уменьшения угла опережения на нагрузках свыше 80-85 %;

- облегчение условий запуска дизеля и работы на режимах малых нагрузок.

Вид топливного насоса высокого давления (ТНВД) MAN Diesel серии MC с механической системой VIT показан на рис. 2.

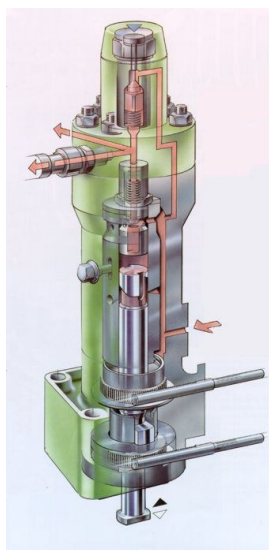


Рис. 2. ТНВД MAN Diesel серии MC с механической системой VIT

1. Особенности работы механической системы VIT малооборотных дизелей MAN серии MC

Рейка VIT (верхняя, см. рис. 2), изменяющая угол опережения, механически связана с рейкой подачи топлива (нижняя, см. рис. 2), контролируемой регулятором Вудворд. При увеличении индекса рейки VIT происходит смещение вниз втулки плунжерной пары ТНВД и, таким образом, угол опережения увеличивается. Происходит это за счет насадки со специальной резьбой, установленной на втулку плунжерной пары, на которую воздействует верхняя VIT рейка. Изменение индекса VIT в зависимости от нагрузки показано на рис. 3.

На рис. 3, показаны типовые зависимости основных параметров настройки VIT от нагрузки. Видно, что максимальный индекс VIT настроен на 85 % $N_{e,ном}$. Далее, до 100 % $N_{e,ном}$ индекс VIT уменьшается, что приводит к уменьшению угла опережения и, как следствие, относительно снижению P_z , а фактически, – поддержанию его постоянным, не превышающим заданный фирмой предел

(140–145 бар [3]). Для разных типов и модификаций МОД MAN Diesel положение Break Point может находиться в диапазоне 75–85 %.

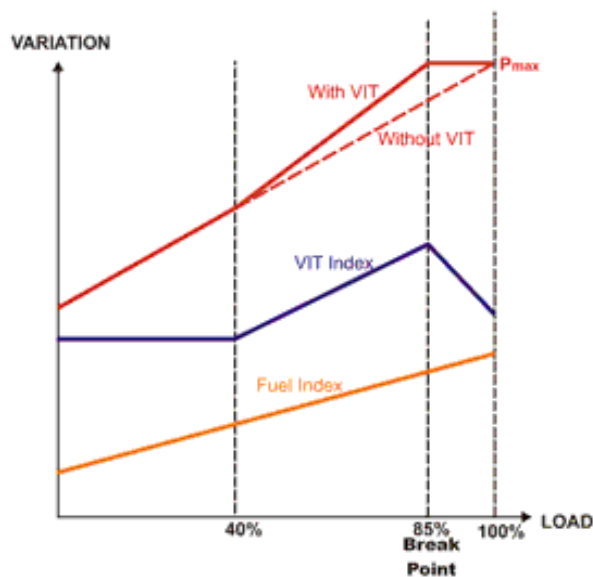


Рис. 3. Зависимость максимального давления сгорания P_z , индекса VIT и цикловой подачи топлива от нагрузки для MAN Diesel серии MC

2. Влияние VIT на рабочий процесс МОД 6L80MC

Дизель 6L80MCE установлен на балкере capesize грузоподъемностью 200000 т. Он был проиндцирован на переходе порт Суэц – порт Стамбул в апреле 2013 г. (рис. 4).

В результате индцирования обнаружилось равномерное распределение всех индикаторных параметров по цилиндрам дизеля (N_i , MIP, P_z , P_c , P_{ex} , V_m , λ). Это свидетельствует о высоком качестве технического обслуживания двигателя со стороны технического персонала судна. В то же время, обнаружилось, что средняя температура выпускных газов на основных эксплуатационных режимах составляла 330-350°C. Результаты оценки индикаторной мощности показали ее 5%-е снижение относительно данных Sea Trials и паспортных значений:

$$N_i = 1470,4 \cdot 6 = 8822,4 \text{ kWt} (*1,36= 11998,5 \text{ IHP}).$$

Необходимо отметить, что в данных заводских испытаний и Sea Trials максимальные значения температур выпускных газов не превышали 300°C на всех нагрузочных режимах.

Давление наддувочного воздуха и его температура находились в допустимых пределах. Таким образом, стала очевидной проблема поздней подачи топлива. На рис. 5 наглядно показано одинаково позднее начало самовоспламенения на развернутых индикаторных диаграммах всех цилиндров. Перед-

ние фронты импульсов вибродиаграмм показывали приблизительно одинаковый для всех форсунок (носовых и кормовых) поздний угол начала впрыска топлива. Индекс реек VIT был равен нулю. Система VIT была отключена и, как выяснилось, уже длительное время была выведена из эксплуатации

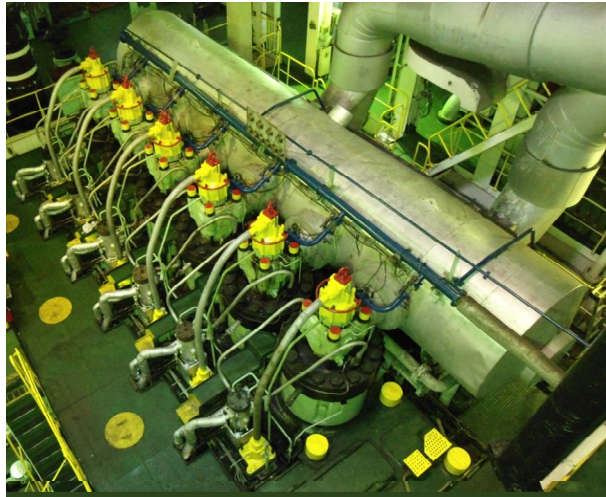


Рис. 4. Индицирование 6L80MCE

В случае отключения системы VIT (индекс был равен нулю на всех режимах) угол опережения впрыска не менялся на всех режимах. P_z изменялось пропорционально давлению газов в цилиндре в конце сжатия P_c , которое увеличивалось при увеличении цикловой подачи топлива за счет повышения давления наддувочного воздуха (показано пунктирной линией на рис. 3). В этом случае не использовался потенциальный резерв экономичности дизеля за счет допустимого увеличения «жесткости» рабочего цикла (P_z) на частичных режимах.

Общие признаки поздней подачи топлива в цилиндр дизеля (при неработающей системе VIT) следующие, рис. 6:

- смещается вправо на линию расширения начало сгорания топлива (P_c' , см. также рис. 5);
- вибродиаграмма впрыска, записанная датчиком VS20 смещается вправо (в данном случае пер-

вый импульс вибродиаграммы, соответствующий подъему иглы форсунки, смещается вправо за ВМТ);

- снижается P_z , увеличивается давление на линии расширения P_{exp} (происходит частичное догорание топлива на линии расширения);

- повышается температура выпускных газов после цилиндра;

- повышается тепловая напряженность деталей ЦПГ;

- снижается мощность;

- увеличивается расход топлива;

- при повышенной тепловой нагрузке ЦПГ требуется повышенный расход цилиндрического масла;

- снижается механическая напряженность деталей ЦПГ и снижаются динамические нагрузки на рамовые и мотылевые подшипники.

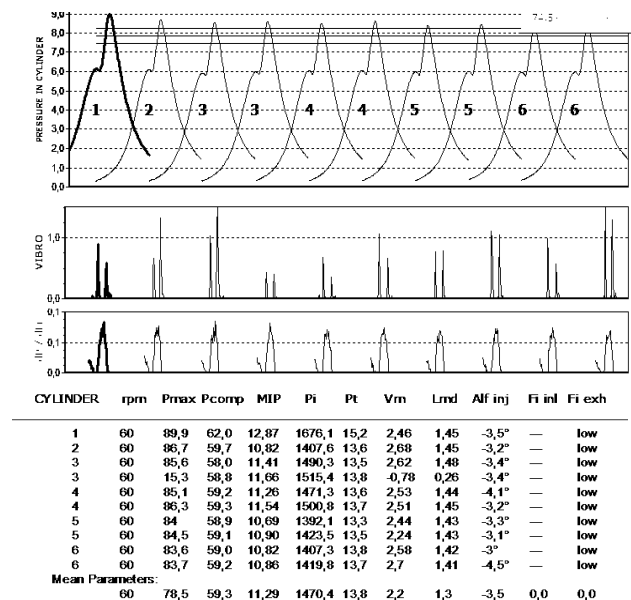


Рис. 5. Результаты индицирования 6L80MCE, поздние углы впрыска и начала сгорания (VIT=0)

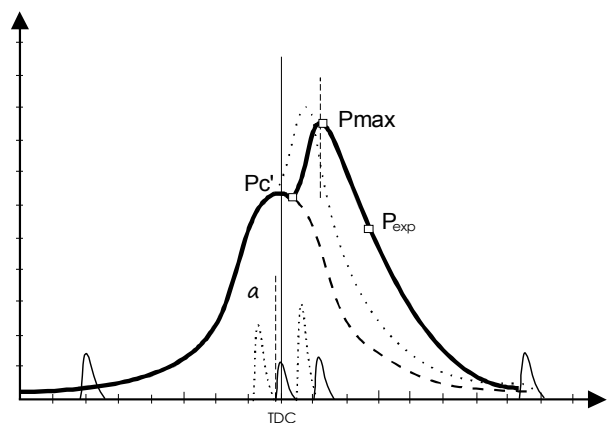


Рис. 6. Рабочий процесс при нормальном (....) и при позднем (—) угле опережения впрыска топлива

В результате профилактики системы VIT была найдена и устранена неисправность – восстановлено давление управляющего воздуха в пневмосистеме до 7 бар. В результате характер рабочего процесса изменился, как показано на рис. 7 и в табл. 1.

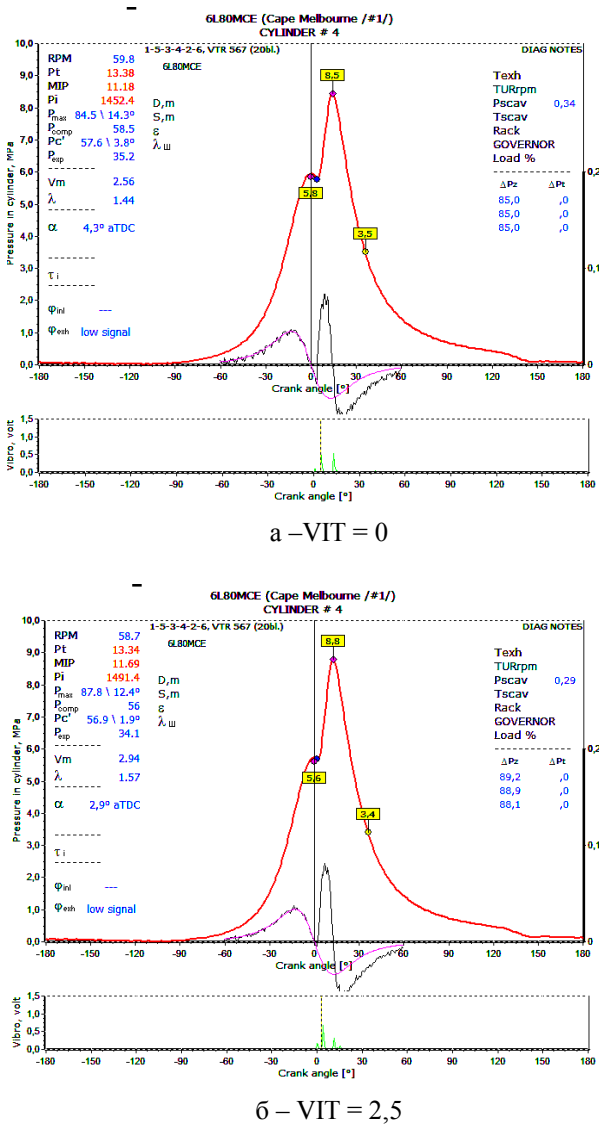


Рис. 7. Рабочий процесс 6L80MCE цил. 4 до (а) и после (б) восстановления работоспособности VIT

Угол опережения впрыска увеличился; сместилось влево и стало раньше начало самовоспламенения

в цилиндре; увеличилось Pz; увеличилась скорость повышения давления на первой фазе сгорания Vm и степень повышения давления lambda. Повысившаяся, таким образом, в допустимых пределах «жесткость» рабочего цикла привела к повышению его термодинамической эффективности. Как следствие, при той же цикловой подаче топлива (рис. 8) увеличилось среднее индикаторное давление (в среднем на 3-5% на разных цилиндрах). Температура выпускных газов уменьшилась и стала менее 300°C на основном эксплуатационном режиме, что стало соответствовать данным Sea Trials.

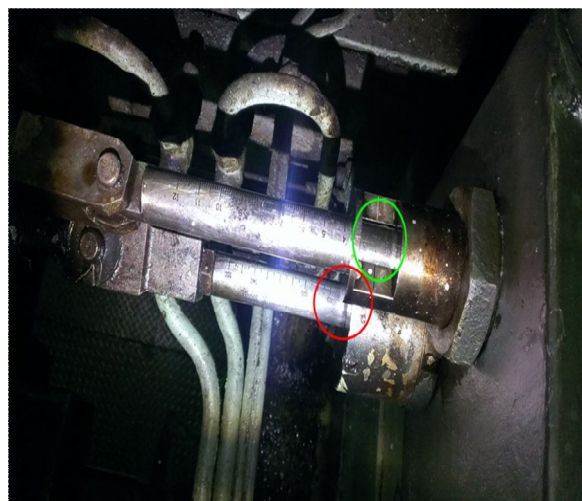


Рис. 8. Рейки ТНВД 6L80MCE после восстановления VIT. Индекс цикловой подачи Rack = 70 (снизу), VIT = 2,5 (сверху)

Заключение

Работа системы VIT, предусмотренная разработчиками MAN Diesel, необходима для качественной и экономичной эксплуатации дизеля. Кроме того, что в результате восстановления ее работоспособности суточный расход топлива главного дизеля 6L80MCE уменьшился в среднем на 2,2 тонны (!), снизилась средняя температура выпускных газов – на 30°C. Ее снижение привело к уменьшению общего уровня теплонапряженности и повышению моторесурса двигателя [4].

Таблица 1

Результаты индицирования 6L80MCE

CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
4	60	84,1	59,0	11,46	1496,6	13,6	2,33	1,42	-4,5°	---	low
4	59	87,8	56,0	11,69	1491,4	13,3	2,94	1,57	-2,9°	---	low
Mean Parameters:		59	86,0	57,5	11,57	1494,0	13,5	2,6	1,5	-3,7	0,0

Литература

1. Возницкий, И.В. Современные малооборотные двухтактные двигатели [Текст] / И.В. Возницкий. – Одесса: Изд-во ООО «Моркнига», 2007. – 121 с.

2. G-Type Engine Revolutionary Ultra-Long-Stroke [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mandieselturbo.com>. – 20.05.2013.

3. Varbanets, R. Analyse of marine diesel engine performance [Text] / R. Varbanets, A. Karianskiy //

Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. – Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. – 2012. – Vol. 7, No. 1. – P. 269 – 275.

4. Определение эффективных параметров и диагностика судовой дизельной энергетической установки [Текст] / Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский, Ю.Н. Кучеренко, И.Н. Головань // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті. MINTT-2012: сб. науч. тр. Херсонського державного морського інституту. – Херсон 2012. – С. 202 – 207.

Поступила в редакцию 30.05.2013, рассмотрена на редколлегии 17.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. СЭУ и ТЭ В.Г. Ивановский, Одесский национальный морской университет, г. Одесса, Украина.

ВПЛИВ СИСТЕМИ VIT НА ХАРАКТЕР РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МАЛООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛІВ MAN-B&W СЕРІЇ MC

R.A. Varbanets, Y.N. Kucherenko, A.I. Golovan, N.I. Alexandrovskaya

Проаналізовано роботу механічної системи VIT (Variable Injection Timing) судових малооборотних дизелів MAN B&W серії MC, яка призначена для корекції кута випередження впорскування палива в залежності від навантаження. На прикладі судового малооборотного головного дизеля 6L80MC показано вплив VIT на характер робочого процесу. Проаналізовано ознаки затримки подачі палива в циліндр двигуна, виявлено і усунуто несправність – зниження тиску повітря в пневмосистемі – в результаті чого отримано суттєву економію палива, а також зниження температури вихлопних газів.

Ключові слова: суднові малооборотні дизелі, VIT, паливоподача.

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ VIT НА ХАРАКТЕР РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАЛООБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ MAN-B&W СЕРИИ MC

R.A. Varbanets, Y.N. Kucherenko, A.I. Golovan, N.I. Alexandrovskaya

The mechanical system VIT (Variable Injection Timing) of marine low-speed diesel engines MAN B&W, series MC is analyzed. This system corrects fuel injection advance angle depending on loading. The VIT influence on engine operation process is demonstrated using main diesel 6L80MC as example. Signs of fuel supply delaying have been analyzed, the fault (pressure decreasing in pneumatic system) has been indicated and eliminated; that ave significant fuel economy and exhaust gases temperature decreasing.

Keywords: low-speed marine diesel engines, VIT, fuel feed.

Варбанец Роман Анатольевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета ОНМУ, Одесса, Украина, e-mail: roman.varbanets@gmail.com.

Кучеренко Юрий Николаевич – директор научно-производственной фирмы «Лептон», аспирант кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета ОНМУ, Одесса, Украина, e-mail: 100mat@bk.ru.

Головань Андрей Игоревич – аспирант кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета ОНМУ, Одесса, Украина, e-mail: andrew.golovan@gmail.com.

Александровская Надежда Игоревна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Судоремонт» Одесского национального морского университета ОНМУ, Одесса, Украина, e-mail: a.nadegda@gmail.com.