

МОДЕРНИЗАЦІЯ СУДОВИХ СРЕДНЕОБОРОТНИХ ДВИГАТЕЛІЙ С ЦЕЛЮ РЕАЛІЗАЦІЇ В НИХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕССОМ ТОПЛИВОПОДАЧІ

Белоусов Е.В.,

Херсонський державний морський інститут

Рассматриваются вопросы модернизации топливных систем среднеоборотных двигателей, с целью их перевода на электронное управление параметрами топливоподачи и рабочего процесса. Такая модернизация позволит при минимальных затратах обеспечить выполнение норм по выбросам окислов азота, которые вводятся в действие с 2011 года. Наиболее актуальна данная модернизация для двигателей, которые отработали большую часть своего ресурса, что позволит снизить расходы на их эксплуатацию за счет уменьшения расхода топлива и сокращения портовых сборов.

Ключевые слова: топливный насос высокого давления (ТНВД), высокооборотные дизели (ВОД), среднеоборотные дизели (СОД), модернизация топливной системы.

Введение. В продолжение двух последних десятилетий ведущими двигателестроительными компаниями, производителями средне- и высокооборотных двигателей, был успешно решен комплекс достаточно противоречивых задач. С одной стороны неуклонное подорожание нефти и продуктов ее переработки потребовало интенсификации исследовательских и проектно-конструкторских работ по переводу данных классов двигателей на дешевые тяжелые топлива. С другой стороны растущие требования по защите окружающей среды ставили перед разработчиками комплекс проблем по снижению эмиссии отработавших газов, а ужесточение конкуренции на мировых рынках требовало повышения надежности и эффективности двигателей, снижения эксплуатационных расходов и повышения их долговечности.

В результате этих работ, на рынке появилось принципиально новое поколение высоко- (ВОД) и среднеоборотных дизелей (СОД), которые по многим показателям могут успешно конкурировать с малооборотными дизелями [1]. Одним из лидеров в данной области является немецкая фирма МаК, входящая в промышленную группу Caterpillar.

Актуальность проблемы. В 2011 году ожидается очередное ужесточение норм по содержанию в отработавших газах окислов азота (NO_x) (рис. 1). Кроме того, порты некоторых стран мира самостоятельно вводят ограничения на содержание вредных выбросов судовыми ДВС и взимают дополнительную плату за их превышение или вообще ограничивают вход в свою акваторию [2]. Такое положение дел ограничивает возможности использования судов с СОД, построенных 10...15 лет назад, или ведет к увеличению эксплуатационных расходов на уплату портовых сборов. Как видно из примера на рисунке 1, только последние модели двигателей фирмы МаК смогут соответствовать перспективным нормам. Все остальные

двигатели данные нормы не выполняют. В то же время их масштабная модернизация в большинстве случаев может оказаться нецелесообразной, учитывая то, что эти двигатели на сегодня уже выработали значительную часть своего ресурса. В этой связи особую актуальность приобретают разработки по модернизации двигателей, не требующие больших материальных затрат и позволяющие выполнить действующие и перспективные нормы по токсичности отработавших газов.

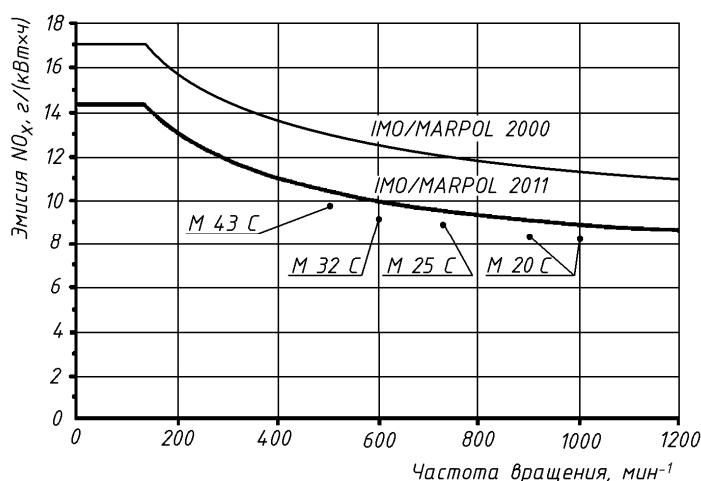


Рисунок 1. Нормы выбросов IMO/MARPOL 2011

Анализ литературных источников. На сегодня можно выделить два основных подхода к сокращению вредных выбросов судовыми ДВС и, в первую очередь, выбросов оксида азота.

К первому подходу относятся внецилиндровые методы снижения токсичности с использованием каталитических нейтрализаторов. Преимущество таких методов в том, что двигатель в этом случае не требует каких-либо переделок. Недостаток состоит в высокой стоимости каталитических нейтрализаторов и их больших размерах, порой сопоставимых с размерами двигателя. Понятно, что в ограниченном пространстве машинного отделения существующего судна разместить такую установку достаточно сложно [1].

Ко второму подходу относятся методы, направленные на изменение рабочего процесса двигателя, позволяющие снизить максимальную температуру цикла T_z . К таким методам относятся: управление процессом подвода теплоты путем выбора оптимального закона подачи топлива; впрыск воды на входе в рабочий цилиндр или непосредственно в камеру сгорания. [1, 2].

Все перечисленные методы имеют разную степень технического риска и требуют различных затрат на свою реализацию. Однако, наиболее приемлемым, применительно к модернизации двигателей, уже находящихся в эксплуатации, на наш взгляд, является переоборудование их топливной системы из объемной в аккумуляторную.

На сегодня основные производители судовых СОД считают, что именно такая система впрыска с электронным управлением, получившая в западной литературе название common rail [1-7], позволяет решать задачи снижения токсичности, повышения экономичности и надежности вновь создаваемых двигателей.

Такой интерес к аккумуляторным системам впрыска, в первую очередь, объясняется тем, что они позволяют управлять процессом подачи топлива в камеру сгорания в широком диапазоне нагрузок, изменяя такие параметры, как опережение и продолжительность впрыска, а также закон подачи.

В частности, фирма MAN применила аккумуляторную систему впрыска на 6-цилиндровых двигателях двух типоразмеров 32/40 и 48/60B [7]. Фирма Wärtsilä успешно использовала систему common rail на среднеоборотных двигателях аналогичных размерностей [5, 6]. Фирмой Caterpillar Motoren проведены исследования в данной области, результатом которых стало переоборудование топливной системы двигателя MaK M32C из объемной в аккумуляторную.

В этой связи модернизация топливных систем, которая не затрагивает основных элементов конструкции двигателя, на наш взгляд, является вполне обоснованной. В качестве объекта модернизации нами был выбран двигатель M43, который на сегодня является безусловным лидером рынка для контейнеровозов вместимостью до 1000 TEU, а также занимает прочное положение в других сегментах рынка, например, на рынках круизных судов и паромов [3]. Двигатель имеет цилиндковую мощностью 1000 кВт и разработан для работы на тяжелых топливах до 700 сСт при 50°C, топливо класса до CIMAC H55 K55, ISO 8217, 1996 (E), ISO-F-RMH55 RMK55.

Предложенная модернизация модели MaK M43 ориентирована в основном на двигатели, которые уже отработали более половины своего ресурса, и вносить какие либо кардинальные изменения (со значительными капитальными вложениями) в его конструкцию не имеет смысла.

Цель данной работы – на примере двигателя MaK M43 разработать концепцию модернизации топливной системы из объемной в аккумуляторную с минимальными изменениями в конструкции основных узлов и элементов при минимальных затратах материальных средств.

Решение проблемы. Анализ существующих схемных решений аккумуляторных систем впрыска показал, что для модернизации топливной системы рассматриваемого двигателя, наиболее целесообразно переоборудование существующей системы объемной подачи в аккумуляторную с использованием аккумуляторов малого объема. Такие аккумуляторы, имея малые габариты, достаточно легко могут быть интегрированы в существующую систему впрыска без существенного изменения конструкции основных узлов и базовых деталей. На рисунке 2 показана штатная система подвода топлива от ТНВД к форсунке. С нашей точки зрения, наиболее рационально разместить аккумулятор

непосредственно на проушине кожуха магистрали высокого давления, как это показано на рисунке 3.

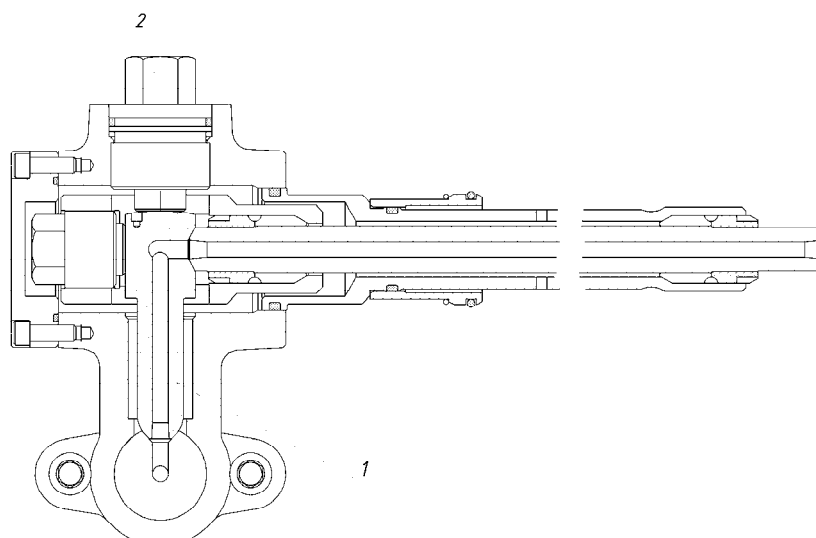


Рисунок 2. Штатный топливопровод двигателя MaK 6M43C

Конструкция штатного топливопровода двигателя MaK M43 (рис. 2) позволяет применить механический аккумулятор давления поршневого типа с пружинным упругим элементом, состоящим из набора тарельчатых пружин (рис. 3). При этом аккумулятор устанавливается вместо упорной пробки 1 (рис. 2), прижимая топливопровод 2 высокого давления к нагнетательной магистрали ТНВД.

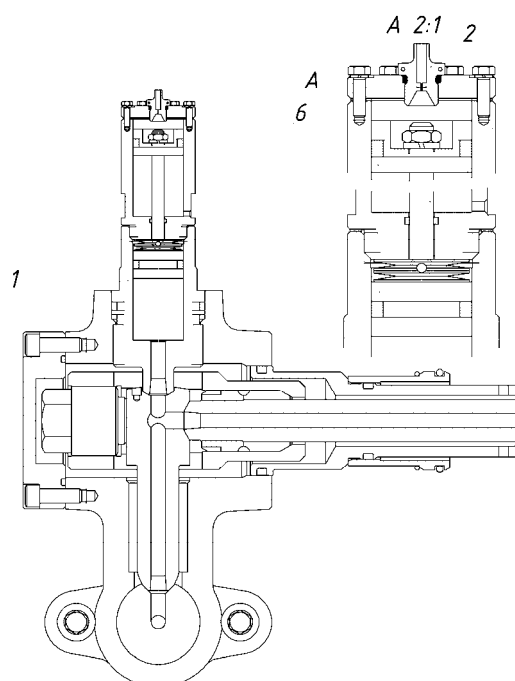


Рисунок 3. Модернизированный топливопровод двигателя MaK M43

Такая конструкция аккумулятора позволяет совместить в нем функции аккумулялирования топлива под давлением и управления подачей топливного насоса необходимой для поцикловой дозарядки аккумулятора. Для этого

поршень топливного аккумулятора необходимо жестко соединить с поршнем гидропривода топливной рейки ТНВД с помощью штока. Двигаясь под воздействием давления топлива, поршень, находящийся в топливном аккумуляторе, передвигает поршень гидроцилиндра, управляющего рейкой насоса (рис. 4). Для сглаживания пульсаций давления в системе гидропривода рейки ТНВД на выходе из гидроцилиндра необходимо установить дросселирующее устройство. Благодаря такому каналу обратной связи штатный ТНВД будет на каждом ходе плунжера подавать в аккумулятор такое количество топлива, которое было использовано в предыдущем цикле. Если за счет изменения времени открытия форсунки, цикловая подача изменится, система гидропривода переместит рейку насоса в сторону увеличения или уменьшения подачи пропорционально величине изменения цикловой подачи.

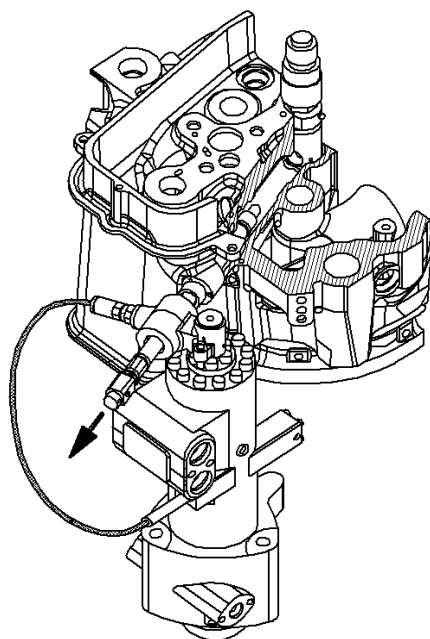


Рисунок 4. Общий вид модернизированной части двигателя

Для возможности электронного управления впрыском топлива, штатная форсунка оборудуется соленоидным клапаном, который поставляется фирмой DUAP AG. При этом, как видно из рисунка 5, корпус форсунки не претерпевает изменения, а соленоидный клапан устанавливается через специально изготовленную проставку. Для обеспечения жесткой связи между соленоидным клапаном и иглой распылителя, штатную пружину необходимо заменить на проставку, выполненную в виде толстостенного цилиндра, устанавливаемого на штатные бурты упоров под пружину. Такая модернизация позволяет поднять начальное давление впрыска с 46,5 до 80 МПа, поскольку именно на такое давление открытия рассчитан соленоидный клапан. Для управления форсунками могут быть использованы существующие системы коммутации с соответствующим программным

обеспечением. Таким образом, отпадает необходимость в штатном регуляторе базового двигателя Woodward UG 40 DG.

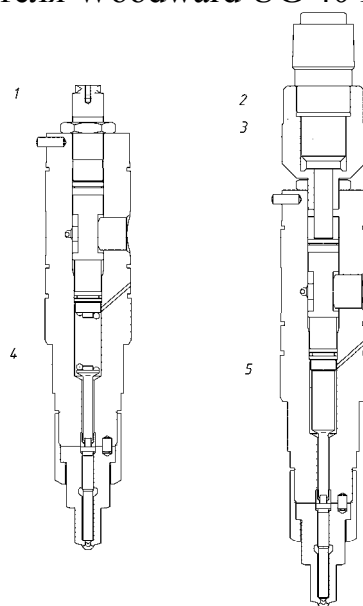


Рисунок 5. Модернизация форсунки двигателя MaK M43

Применение штатных ТНВД и форсунок дает возможность снизить капитальные затраты на модернизацию, при этом расширив возможности управления рабочим процессом через регулирование параметров впрыска. Предложенный комплекс мероприятий позволит довести штатную систему впрыска до уровня систем common rail и в полной мере реализовать в двигателе преимущества, свойственные этим системам.

Выводы. Рассмотренные в данной работе подходы к модернизации топливных систем на примере двигателя M43 фирмы MaK позволяют без значительных материальных затрат применить электронные системы управления процессом впрыска.

К преимуществам предложенной в данной работе системы топливоподачи также относится:

- возможность аккумулировать топливо непосредственно в топливопроводе, существенно не изменяя конструкцию всей системы топливоподачи;
- при выходе из строя одного топливного насоса или аккумулятора, другие цилиндры продолжают работать (в отличие от существующих аккумуляторных систем);
- обслуживание такой топливной системы не намного сложнее, чем штатной;
- использование управляемого впрыска позволит снизить токсичность отработавших газов и выполнить действующие и перспективные нормы по токсичности, что автоматически ведет к сокращению эксплуатационных затрат;
- более гибкое регулирование рабочего процесса свойственное системам с электронным управлением позволит оптимизировать рабочий процесс двигателя в широком диапазоне режимов работы, что приведет к снижению расхода топлива;

– подобная модернизация топливной системы, применима не только к рассмотренному двигателю, но и к среднеоборотным судовым двигателям других производителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возницкий И.В. Современные судовые среднеоборотные двигатели: учебное пособие по специальности 2405. – 2 изд. – СПб.: ГМА, 2005. – 147 с.
2. Возницкий И.В. Топливная аппаратура судовых дизелей: учебное пособие по специальности 2405. – 2 изд. – СПб.: ГМА, 2005. – 133 с.
3. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG Engine Operating Instructions Type M43C. – Rostock, Germany, Caterpillar Motoren Rostock GmbH, 2007. – 2737 p. (Marlow Navigation)
4. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG MaK M43C Project Guide Propulsion. – Kiel, Germany, Caterpillar Motoren GmbH P.O. Box, 2003. – 114 p. (Marlow Navigation)
5. Marine Technology Society Power Generation Stability and Response in DP Applications. – Houston, Texas Session Chair. – Don Wilkes, GlobalSantaFe, 2003. – 34 p.
6. SO_x en NO_x abatement Today's technologies Frank Dames Wärtsilä Nederlands. – Wärtsilä FJM Dames, 2007. – 22 p.
7. MAN B&W New HFO Common Rail System for Medium speed Diesel Engines. – Kyoto/Japan: CIMAC Congress, 2004. – 12 p.

Белоусов Є.В. МОДЕРНІЗАЦІЯ СУДНОВИХ СЕРЕДНЬООБОРОТНИХ ДВИГУНІВ З МЕТОЮ РЕАЛІЗАЦІЇ В НИХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПОДАЧІ ПАЛИВА

Розглядаються питання модернізації паливних систем середньооборотних двигунів, з метою їхнього переведення на електронне керування параметрами паливостачання й робочого процесу. Така модернізація дозволить при мінімальних витратах, забезпечити виконання норм по викидах окислів азоту, які вводяться в дію з 2011 року. Найбільш актуальна дана модернізація для двигунів, які відпрацювали більшу частину свого ресурсу, що дозволить знизити витрати на їхню експлуатацію за рахунок зменшення витрати палива та скорочення портових зборів.

Ключові слова: паливний насос високого тиску (ПНВТ), високооборотні дизелі (ВОД), середньооборотні дизелі (СОД), модернізація паливної системи.

Belousov E.V. MODERNIZATION OF SHIP'S MEDIUM-SPEED ENGINES IN ORDER TO REALIZE IN THEM ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR A FUEL FEED PROCESS

Problems of modernization of fuel systems in medium-speed engines, for the purpose of their transfer to electronic control of parameters of fuel feed and working process are considered. Such modernization will allow, at the minimum expenses, to provide observance of norms as to the emissions of nitrogen oxides which will be put into force since 2011. The given modernization for the engines that have fulfilled the most part of their resource will allow cut expenses on their operation at the expense of reduction of fuel consumption and reduction of port duties is most timely.

Key words: high-pressure fuel pump (HPFP), high-speed diesels (HSD), medium-speed diesels (MSD), fuel system modernization.