

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ ЗМЗ-51432.10CRS ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

*А.С. Пономарев, ассистент, А.А. Метелев, ассистент, О.В. Абызов, ассистент
ФГАОУ ВО «СПбПУ», Санкт-Петербург*

*К.Э. Елизаров, ген. директор; ООО Научно-производственное предприятие «ТАЙФУН»
А.А. Давыдов, вед. инженер; ООО «АБИТ», Санкт-Петербург*

Разработана и испытана система электронного управления дизельным двигателем ЗМЗ-51432.10CRS на базе отечественного блока управления с целью повышения мощности и снижения расхода топлива. Система адаптирована для модификаций двигателей общепромышленного и специального назначения. За счет адаптации моторной электропроводки системы управления к объекту применения и ее калибровок увеличен крутящий момент дизеля в востребованном диапазоне частот вращения на 23 % и снижен удельный расход топлива на 4 г/кВт·ч. Проведены стендовые испытания дизеля и эксплуатационные испытания военного катера с силовой установкой в составе дизеля и водомета.

Введение

В судовом секторе двигателестроения, как и в автомобильном, в настоящее время производятся отечественные малоразмерные быстроходные дизельные двигатели. До недавнего времени выпускался автомобильный дизельный двигатель ЗМЗ-514 и его модификации. Однако его последняя модификация ЗМЗ-51432.10CRS соответствует нормам экологического класса не выше Евро-4, что стало основной причиной прекращения его выпуска. Авторы полагают, что ЗМЗ-51432.10CRS наиболее успешно спроектирован, а его конструкция обладает большим потенциалом модернизации. Именно поэтому ЗМЗ-51432.10CRS был выбран в качестве объекта настоящего исследования.

На легкие коммерческие автомобили «Группы ГАЗ», такие как ГАЗель NEXT, ГАЗель БИЗНЕС, Соболь БИЗНЕС, устанавливаются импортные дизели Cummins ISF2.8s4129P. Повышение технико-экономических показателей ЗМЗ-51432.10CRS и снижение вредных выбросов до уровня экологического класса Евро-5 позволило бы заменить импортный дизель на отечественных автомобилях.



Очевидно, что в готовой продукции военного назначения жизненно необходимо использовать силовые агрегаты, производимые внутри страны. Уже сегодня применение отечественной электронной системы управления двигателем (ЭСУД) на дизеле ЗМЗ-51431.10CRS открывает возможности для использования двигателя этого типа для военных целей в диапазоне мощности до 120 кВт. Дизель может быть установлен в качестве силовой установки транспортного средства, катера, в составе дизель-генератора и т. д.

Таким образом, работа по повышению технико-экономических показателей дизеля ЗМЗ-51431.10CRS за счет применения новой отечественной системы управления является актуальной.

Цели и задачи

Анализ конструкции и системы управления ЗМЗ-51432.10CRS показал, что потенциал модернизации дизеля может быть реализован за счет модификации газоздушных каналов головки блока цилиндров, клапанного механизма, впускного и выпускного коллекторов, а также калибровки электронной системы управления на отечественном блоке. Снижение

массогабаритных показателей возможно за счет оптимизации конструкции масляного насоса и его привода, привода газораспределительного механизма. С точки зрения наименьших финансовых затрат для завода-изготовителя двигателя было выбрано использование калибровки электронной системы управления на базе отечественного блока управления [1, 2].

При этом использование отечественной системы управления и ее калибровка сертифицированными российскими специалистами исключает возможности установки вредоносного программного обеспечения, отслеживания пути следования и/или выведения из строя судна или другого транспортного средства за счет внешнего воздействия.

Целью работы является повышение мощности и снижение расхода топлива дизеля ЗМЗ-51432.10CRS путем калибровки электронной системы управления двигателем на базе отечественного блока управления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- адаптировать систему управления дизелем на базе отечественного электронного блока управления ООО АБИТ М240 с учетом возможности военного применения;
- изготовить жгут электропроводки для системы управления;
- настроить, откалибровать дизель на новой системе управления на моторном стенде;
- провести испытания двигателя на натурном объекте (например, катере).

Объект исследования

Двигатель ЗМЗ-51432.10CRS, как объект исследования, устанавливался ранее на автомобили УАЗ Патриот, Хантер, Пикап, Кargo с колесной формулой 4×4 и полной массой до 3500 кг, эксплуатировался при температурах окружающего воздуха от -45 до $+40$ °С, относительной влажности воздуха до 75 % (при температуре $+15$ °С) на высоте до 4000 м над уровнем моря [3].

Одна из последних модификаций двигателя ЗМЗ-51432.10CRS была оснащена топливной аппаратурой common rail и системой управления фирмы «Robert Bosch GmbH». Электронный блок управления микропроцессорный, тип EDC16C39-6.H1, 0 281 018 675.

Максимальная мощность дизеля 83,5 кВт (114 л. с.) достигается при частоте вращения 3800 об/мин, номинальная мощность 81 кВт (110 л. с.) при 3500 об/мин. Удельный расход топлива при номинальной мощности составлял 260 г/кВт·ч или 191 г/л. с.ч. Ограничение максимальной частоты вращения 4500 об/мин [3].

Анализ штатной системы управления

Серийный двигатель предназначен для установки на легковые автомобили. Штатные калибровки блока управления выполнены соответствующим для этого назначения способом. В основе управления лежит двухрежимный регулятор: поддержание частоты вращения холостого хода и предельных оборотов. В диапазоне рабочих режимов управление крутящим моментом и частотой вращения осуществляется непосредственно водителем. Из особенностей калибровки блока управления, ориентированного на автомобильное исполнение дизеля, следует отметить наличие заводского регулятора скорости, ограничивающего мощность при неисправности датчика скорости, режимы работы с педалями тормоза и сцепления. Таким образом, применение автомобильных калибровок для управления двигателем ЗМЗ-51432.10CRS, предназначенным для установки на катер, не представляется возможным.

Все штатные датчики и исполнительные механизмы двигателя были сохранены, за исключением датчика массового расхода воздуха (ДМРВ), были внесены изменения в моторную электропроводку в части разъема блока управления. Измерение массового расхода воздуха ДМРВ было заменено на расчетное определение расхода воздуха по датчику абсолютного давления (ДАД) и датчику температуры воздуха (ДТВ) во впускном коллекторе. Это мера была необходима для исключения погрешности измерения расхода воздуха из-за возможного попадания влаги на чувствительный элемент ДМРВ. Проводка была полностью переделана (рис. 1), для соединения с ЭБУ типа Абит М240 [4] применили разъемы военной спецификации круглой формы.

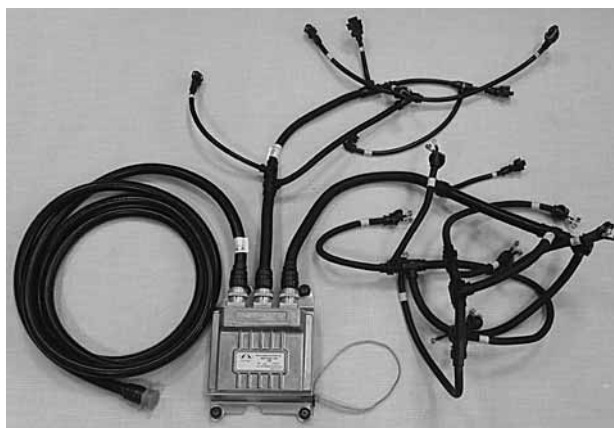


Рис. 1. Внешний вид собранной моторной электропроводки с блоком управления

Калибровка ЭСУД

Настройка происходила в следующем порядке. Первоначально были откалиброваны датчики и исполнительные механизмы. Затем была создана безмоторная установка для измерения расходных характеристик форсунок и топливного насоса высокого давления (ТНВД). На установке проведена настройка управления форсунками, клапаном MEU, регулятора давления в топливной рампе и поверхности времени открытия форсунок в зависимости от давления топлива и необходимой объемной топливоподачи (рис. 2).

В блок управления были внесены значения предельного крутящего момента, частота вращения холостого хода, предельная частота вращения и прочие статические параметры. На следующем этапе дизель был установлен на моторный и стенд и откалиброван в режиме реального времени.

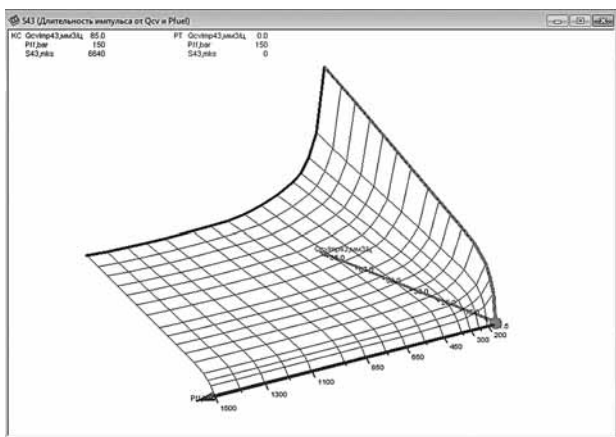


Рис. 2. Длительность импульса форсунки в зависимости от давления топлива и объемной топливоподачи

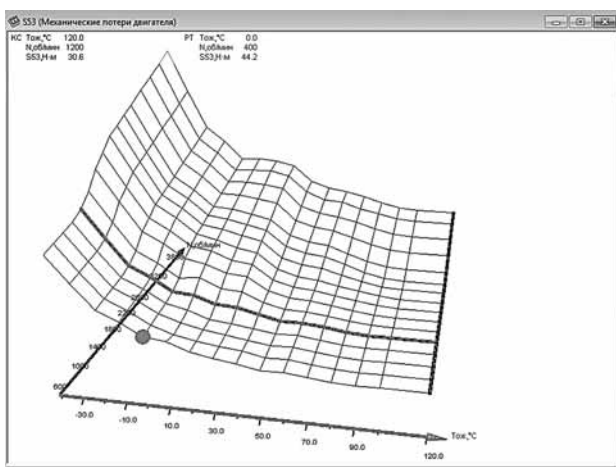


Рис. 3. Момент механических потерь дизеля в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и температуры охлаждающей жидкости

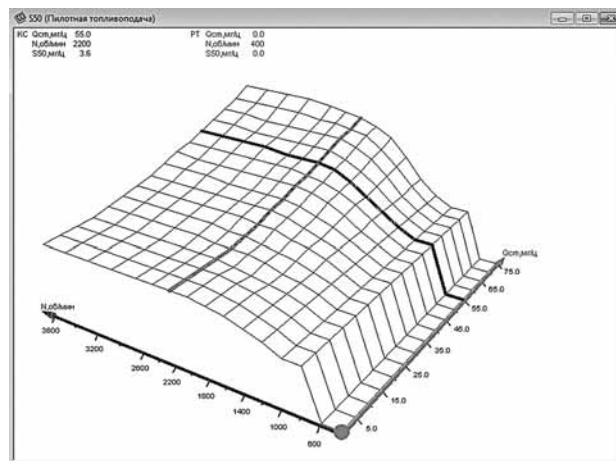


Рис. 4. Карта пилотной топливоподачи в зависимости от частоты вращения и нагрузки

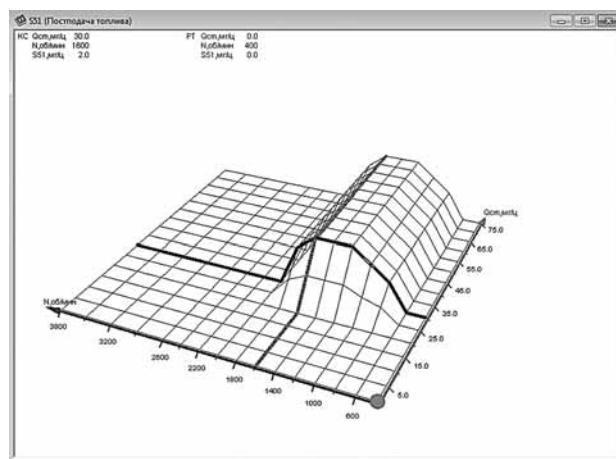


Рис. 5. Карта третьей топливоподачи в зависимости от частоты вращения и нагрузки

На нагрузочном стенде были выполнены измерения механических потерь во всем диапазоне частот вращения. Результаты измерения введены в программу (рис. 3).

Далее следует настройка закона топливоподачи и оптимизация углов опережения подачи топлива. Было принято решение реализовать два впрыска топлива за цикл (пилотный и основной), поскольку добавление третьего впрыска не привело к увеличению крутящего момента во всем диапазоне частоты вращения и нагрузки (рис. 4).

На малых частотах вращения (до 1800 об/мин), средних и высоких нагрузках добавлен третий впрыск после основного импульса (постподача). Цель данного решения — ускорение выхода турбокомпрессора на расчетный рабочий режим с более высоким давлением наддува, что позволяет увеличить крутящий момент на долевых режимах без дымления (рис. 5).

После оптимизации рабочего процесса построена поверхность величины цикловой подачи

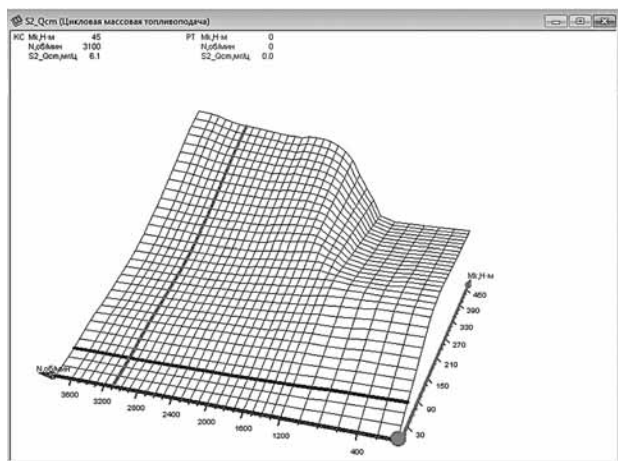


Рис. 6. Карта цикловой топливоподачи в зависимости от частоты вращения и нагрузки



Рис. 7. Доводка дизеля на натурном катере

в зависимости от частоты вращения и индикаторного крутящего момента дизеля. Эта поверхность позволяет задать соответствие реального эффективного момента и рассчитанного в ЭБУ (рис. 6).

Для обеспечения бездымной работы были построены карты объемной эффективности наполнения цилиндра (V_e), номинального и предельного состава смеси.

В процессе стендовых испытаний была проведена предварительная калибровка регулятора постоянной частоты вращения (РПО). В дальнейшем калибровка регулятора корректировалась на месте установки, а именно на катере в акватории реки Невы (рис. 7).

Результаты исследования

Дизель был откалиброван, после чего экспериментально определены внешняя скоростная характеристика на штатной системе управления и на новой (рис. 8). Выполнены измерения расхода топлива с новой системой управления (табл. 1). Расход топлива измерялся калиброванным поршневым расходомером VZD 4 EKO № 5522477, производства AQUAMETRO AG, Therwill (Швейцария) с погрешность измерения, равной 0,38 %.

Удельный расход топлива

Частота вращения коленчатого вала, об/мин	Крутящий момент, Н·м	Удельный расход топлива, г/кВт·ч
1500	196	242
1600	255	206
2000	294	206
2500	333	202
3000	333	216
3200	333	216
3500	323	230

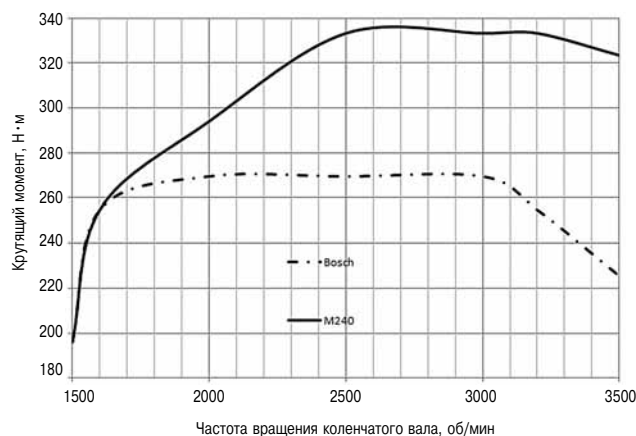


Рис. 8. Внешняя скоростная характеристика до («Robert Bosch GmbH») и после калибровки (ООО АБИТМ240)

В качестве силовой установки катера дизель работает в составе с водометом. Наиболее востребованная частота вращения находится в диапазоне 2000–3500 об/мин. Крутящий момент в данном диапазоне составил 290–333 Н·м. При необходимости, за счет замены турбокомпрессора и/или дополнения системы управления клапаном управления наддувом, имеется резерв увеличения крутящего момента в более широком диапазоне частоты вращения.

Выводы

В результате модернизации дизеля ЗМЗ-51432.10CRS с применением отечественной системы управления, были получены следующие технико-экономические характеристики. Минимальное значение расхода топлива было снижено на 2% — с 206 до 202 г/кВт·ч. Крутящий момент увеличен (макс. +23 %) практически во всем диапазоне частоты вращения, начиная от 1600 об/мин. Максимальный крутящий момент 333 Н·м достигается в диапазоне частоты вращения коленчатого вала от 2500 до 3200 об/мин, что соответствует наиболее востребованному для использования в качестве силовой установки катера с водометом.

Следует выделить некоторые из достоинств и преимуществ программного обеспечения и блока управления Абит М240:

➤ программное обеспечение позволяет осуществлять управление по принципу всережимного регулятора, имеются функции регулятора постоянной частоты вращения (РПО) и поддержания заданной скорости, что упростит пилотирование катера, сделает ход более стабильным, особенно при волнении;

➤ наличие достаточного количества калибруемых аналоговых входов для подключения датчиков позволяет укомплектовать ЭСУД элементами, контролирующими состояние двигателя, и в случае достижения аварийных значений рабочих параметров его остановить;

➤ в критических ситуациях возможна блокировка аварийного отключения по внешнему сигналу (нажатию кнопки или тумблера) с со-

ответствующей записью в регистраторе, встроенном в блок управления;

➤ протокол обмена данными содержит обширную информацию, которая может выводиться на дисплей отечественного производства, а именно: частота вращения коленчатого вала, температура охлаждающей жидкости, давление и температура масла, величина расхода топлива и т. д.;

➤ схемотехнические решения обеспечивают диагностику цепей датчиков и исполнительных устройств, а работа с многофункциональным дисплеем делает возможным выполнять первичную диагностику без подключения дополнительного оборудования к системе управления двигателем;

➤ в случае отказа датчика положения коленчатого вала предусмотрена возможность работы по датчику положения распределительного вала.

Литература

1. *А.С. Пономарев, А.А. Метелев, М.Н. Немчикова.* Исследование влияния формы седла клапана на расходную характеристику впускного канала автомобильного дизеля. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Спецвыпуск к 110-летию Н.С. Ждановского, 2017. — С. 115–118.

2. *Пономарев А.С., Метелев А.А., Немчикова М.Н., Зайцев Д.А.* Улучшение характеристик газоздушных каналов головки блока цилиндров дизельного двигателя Fiat 1,3 Multijet // Двигателестроение. — 2016. — № 1(263). — С. 18–24.

3. *В.Л. Жбанников, Д.В. Епифанов, Н.К. Шишкин, А.И. Цой.* Книга по устройству, эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту дизельных двигателей модели ЗМЗ-51432 для автомобилей УАЗ экологического класса 4. — Заволжье, 2015. — 304 с.

4. <https://abit.spb.ru/>;

5. *Метелев А.А., Пономарев А.С., Макарин А.И., Дворцов В.С.* Система управления высокофорсированным автомобильным бензиновым двигателем внутреннего сгорания // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — 2013. — № 4-1 (183). — С. 145–150.

6. *Хрящев Ю.Е., Епанешников Д.А.* Управление дизелем ЯМЗ уровня EURO-3 на холостом ходу // Вестник рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. — 2012. — № 1. — С. 125–131.

7. *Марков В.А., Фурман В.В., Акимов В.С.* Система топливоподачи с электронным управлением тепловозного дизеля // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2013. — № 7. — С. 60–65.

8. *Фурман В.В.* Система топливоподачи с электронным управлением для дизеля // Грузовик. — 2014. — № 9. — С. 10–14.