

Министерство образования и науки Российской Федерации
Общество с ограниченной ответственностью «ТрансСенсор»

УДК 621.436

№ госрегистрации 115092507241

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «ТрансСенсор»

_____ А.Н. Печенкин

«__» _____ 2016г.

ОТЧЕТ
О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

по теме:

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, АДАПТАЦИЯ ДАТЧИКОВ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ С ПЕРСПЕКТИВНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

(заключительный)

3 этап

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»
Соглашение о предоставлении субсидии от 27.07.2015 г. №14.579.21.0095

Научный руководитель работ,
доцент, к.т.н.

(подпись, дата)

А.А. Кудрявцев

Москва 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель работ, канд. техн. наук	<hr/>	А.А. Кудрявцев (Введение, заключение, раздел 1)
--	-------	--

Исполнители:

заместитель генерального директора, канд. техн. наук	<hr/>	А.М. Байтулаев (раздел 1)
--	-------	------------------------------

начальник научно-исследовательского отдела, д.т.н.	<hr/>	А.Г. Кузнецов (раздел 1)
--	-------	-----------------------------

старший научный сотрудник, д.т.н.	<hr/>	В.А. Марков (раздел 1)
-----------------------------------	-------	---------------------------

научный сотрудник, канд. техн. наук.	<hr/>	А.С. Голосов (раздел 1)
--------------------------------------	-------	----------------------------

ведущий инженер	<hr/>	С.В. Харитонов (раздел 1)
-----------------	-------	------------------------------

ведущий инженер	<hr/>	Д.С. Ворнычев (раздел 1)
-----------------	-------	-----------------------------

инженер	<hr/>	Е.А. Вьюшин (раздел 1)
---------	-------	---------------------------

Нормоконтролер	<hr/>	А.Н. Башмаков
----------------	-------	---------------

Реферат

Отчёт содержит 24 страницы, 1 часть, 1 таблицу.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРОЙ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРИВОД ФОРСУНОК, АНАЛИЗ, ИССЛЕДОВАНИЯ, КОНСТРУКТОРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ.

Объектом исследования является система управления топливной аппаратурой аккумуляторного типа для дизельных двигателей.

Целью проекта является достижение импортозамещения в производстве систем управления, обеспечивающих выполнение требований, установленных к техническому уровню дизельной топливной аппаратуры нового поколения.

При выполнении работы использовались следующие методы: обзор информационных источников, анализ материалов и результатов исследований, теоретические исследования расчётные исследования и моделирование, конструктивные разработки, экспериментальные исследования.

В результате ПНИ разработан, изготовлен и исследован экспериментальный образец системы управления топливной аппаратурой с электромагнитным приводом форсунок для дизельных двигателей.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели экспериментального образца системы управления соответствуют техническому заданию на ПНИ.

Степень внедрения – экспериментальный образец системы управления прошёл испытания совместно с топливной аппаратурой дизельных двигателей на безмоторном стенде.

Планируются испытания системы управления на моторном стенде и её внедрение в производство.

Разработанная система управления предназначена для использования на дизельных двигателях совместно с топливной аппаратурой аккумуляторного типа.

Использование разработанной системы управления должно обеспечить выполнение предъявляемых к дизельным двигателям требований по экономическим и экологическим показателям.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение.....	6
1 Обобщение по результатам прикладных научных исследований. Оценка полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИ.....	8
Выводы к разделу 1	21
Заключение.....	22

Введение

Исследования проводились обществом с ограниченной ответственностью «ТрансСенсор» в рамках выполнения работ по соглашению о предоставлении субсидии № 14.579.21.0095 от 27.07.2015 г. на выполнение прикладных научных исследований «Разработка систем управления, адаптация датчиков и исполнительных механизмов топливной аппаратуры с перспективными техническими показателями» в установленные календарным планом сроки: с 27 июля 2015 г. по 31 декабря 2016 г.

Одним из наиболее эффективных путей достижения предъявляемых в настоящее время к дизельным двигателям требований по показателям экономичности и экологии является применение систем управления с электронными блоками. Такие системы управления предоставляют возможность формирования характеристик процесса впрыска топлива, оказывающих направленное влияние на протекание рабочего процесса двигателя с целью улучшения экологических показателей или экономичности.

Разработка систем управления с электронными блоками в нашей стране является актуальной задачей, поскольку производство подобных отечественных систем управления ещё не налажено.

Проведены патентные исследования по ГОСТ 15.011-96. В рамках патентных исследований охранных документов, препятствующих регистрации полученных в рамках ПНИ результатов интеллектуальной деятельности не выявлено.

Перечень наименований всех промежуточных отчётов:

- отчёт о прикладных научных исследованиях, этап 1(части 1,2,3);
- отчёт о патентных исследованиях по теме: «Создание и отработка систем управления топливной аппаратурой дизельного двигателя»;
- конструкторская документация на макетный образец перспективного электромагнитного привода форсунки ТСПФ01.00.000 КД
- программа и методики испытаний макетного образца электромагнитного привода форсунки ТСПФ01.00.000 ПМ

- конструкторская документация на приспособление для измерения максимального усилия электромагнитного привода форсунки ТСППФ-101.00.000 КД
- отчёт о прикладных научных исследованиях, этап 2(часть 1);
- конструкторская документация на экспериментальный образец системы управления топливной аппаратурой нового поколения ТРСС.А360.0000 КД;
- конструкторская документация на экспериментальный образец модуля связи для электронного блока системы управления с компьютером ТРСС.МС01.0000КД
- конструкторская документация на экспериментальный образец перспективного электромагнитного привода форсунки ТРСС.114.00.00.000 КД;
- программа и методики испытаний экспериментального образца электромагнитного привода форсунки ТРСС.114.01.000 ПМ;
- отчёт о прикладных научных исследованиях, этап 3(часть 1) «Результаты испытаний системы; технические требования и предложения по производству и эксплуатации системы; рекомендации по усовершенствованию системы»;
- отчёт о прикладных научных исследованиях, этап 3(часть 1) «Анализ результатов испытаний привода; рекомендации по совершенствованию конструкции привода»;
- отчёт о дополнительных патентных исследованиях «Исследование патентоспособности системы измерения, калибровки и диагностики, входящей в состав программного обеспечения системы управления и модуля связи, разработанных в рамках ПНИ»;
- программа и методики испытаний системы управления топливной аппаратурой нового поколения на безмоторном стенде АБИТ.А360.0000 ПМ;
- программа и методики испытаний экспериментальных образцов перспективного электромагнитного привода форсунки в составе системы управления топливной аппаратурой нового поколения на безмоторном стенде ТРСС.114.02.000 ПМ;
- конструкторская документация на экспериментальный образец системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельного двигателя, доработанная, ТРСС.А360.0001 КД.

1 Обобщение по результатам прикладных научных исследований. Оценка полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИ.

В соответствии с пунктом 3.1 технического задания (ТЗ) на ПНИ выполнен аналитический обзор современной научно-технической нормативной, методической литературы в области систем управления топливной аппаратурой дизельных двигателей с учётом работы таких систем двигателя, как системы охлаждения, смазывания, наддува и др. (раздел 1 отчёта по 1 этапу ПНИ).

Обзор включает анализ материалов, содержащихся в 250 отечественных и иностранных источниках, включающих нормативные документы, научные статьи, монографии, патенты, технические описания, электронные ресурсы. При подготовке обзора использовано более 40 источников, опубликованных за период 2010 – 2015 гг.

Рассмотрены нормативные документы, отражающие требования по экологическим показателям, предъявляемым к современным дизельным двигателям, и тенденции их развития с классификацией по странам и типам двигателей. Рассмотрены ограничения по удельным выбросам твёрдых частиц, оксидов азота, углеводородов, оксида углерода. Материалы обзора показывают, что законодательство РФ является более мягким по сравнению с законодательствами развитых зарубежных стран. Однако, наблюдается тенденция к сближению законодательств. В соответствии с нормативными документами формируются требования к системам управления современными дизельными двигателями.

Проведённый по результатам обзора научно-технической литературы анализ влияния параметров рабочего процесса дизельного двигателя на показатели экологии и экономичности показал возможности достижения предъявляемых к двигателю требований методами направленного воздействия системы управления на параметры системы топливоподачи двигателя. Определяющее влияние на эти показатели оказывают такие параметры процесса впрыска топлива, как давление впрыска, угол опережения подачи топлива, форма характеристики впрыска, возможность многократного впрыска.

Выбор и обоснование направления исследований по пункту 3.2 ТЗ выполнены на основе патентных исследований (пункт 3.2.1 ТЗ) и проработки вариантов возможных решений задачи (пункт 3.2.2 ТЗ).

В рамках выполнения патентных исследований согласно пункту 3.2.1 ТЗ был проведён отбор патентной документации для изучения отечественного и зарубежного опыта по разработке и созданию систем управления топливной аппаратурой дизельных двигателей, адаптации датчиков и исполнительных механизмов топливной системы.

Поиск производился по патентам и полезным моделям Российской Федерации и зарубежных стран. При поиске использовались ключевые слова на русском и английском языках:

- Дизельный двигатель;
- Система управления дизельным двигателем;
- Система управления дизельной топливной аппаратурой;
- Комплексная система управления дизелем;
- Адаптация датчиков системы управления.
- Исполнительные механизмы дизельной топливной аппаратуры.

Отслеживая развитие систем управления дизельными двигателями по российским патентам, полученным в последние 10-20 лет, следует заметить, что в отечественных патентах конца девяностых – начала двухтысячных преобладают механические системы, так, например, патенты RU 2 246 019, RU 2 170 849, в то время как зарубежные изобретатели уже с 80-х годов занимаются, в основном, разработкой электронных систем управления, с подключением к ним различных исполнительных механизмов. К началу XXI века зарубежные изобретатели практически полностью переключились на разработку комплексных электронных систем, позволяющих согласованно управлять различными системами дизельного двигателя. К примеру, патент EP 1 065 364 предлагает использование электронной системы с ограничением максимального крутящего момента дизеля различными методами, а в патенте US 6 615 580 предложены интеграция в электронный блок управления системы мониторинга эмиссии токсичных веществ в отработавших газах и методы управления ди-

зельным двигателем с учётом полученных показателей. Следует заметить, что в России также ведутся разработки электронных систем, например в патенте RU 2 267 021 описана система, близкая к зарубежным аналогам, но таких работ меньше, чем за рубежом.

Внедрение программируемых контроллеров в составе систем управления двигателем привело к необходимости разработки способов изменения программного обеспечения. Так, в патенте RU 2 361 104 описан метод записи алгоритмов в блок управления, непосредственно с персонального компьютера, с защитой от несанкционированного изменения.

Важным направлением является управление транспортным средством с учётом характеристик электромеханической трансмиссии. Так в патенте RU 2 534 466 приводится способ управления гибридной силовой установкой локомотива и система управления для его реализации.

Современные системы управления повсеместно используют различные алгоритмы адаптации. Например, в патенте US 8 532 911 компании General Motors приводится система, которая самостоятельно приспосабливается к характеристикам используемого топлива. Такие алгоритмы требуют использования специфических типов датчиков, для косвенного определения таких параметров топлива, как, например, цетановое число. В патенте US 8 718 900 предлагаются методы управления двигателем внутреннего сгорания с адаптивным режимом сгорания с минимальным использованием дополнительных датчиков. Таким образом, следует отметить возможность проведения адаптации в автоматическом режиме.

Блок-схемы систем управления, приведённые в проанализированных патентах, содержат следующие элементы систем: дизель как объект управления, датчики, электронные блоки (контроллеры), исполнительные устройства. Предлагаемые в патентах способы, схемы и устройства представляют собой модификации уже известных и широко применяемых в настоящее время вариантов систем управления дизелями. Алгоритмы управления реализуются в электронных блоках программно, поэтому материалы патентов не содержат конкретных электрических схем. Большин-

ство предлагаемых в патентах решений направлено на снижение токсичности отработавших газов дизелей.

Полностью патентные исследования приведены в отдельном отчёте в составе документации по первому этапу ПНИ. Патентные исследования проведены и оформлены в соответствии с требованиями пункта 5.1 ТЗ по ГОСТ Р 15.011-96.

Информация о возможных технических решениях, используемых в современных системах управления, получена при обзоре описаний систем управления таких ведущих мировых производителей, как Bosch, Heinzmann, Woodward, Denso и др. (разделы 1 и 2 отчёта по 1 этапу ПНИ).

При проектировании электромагнитного привода клапана форсунки системы топливоподачи дизельных двигателей проведено расчётное исследование влияния конструктивных параметров привода на его основные характеристики (раздел 1 отчёта по 2 этапу ПНИ). Варьирование конструктивными параметрами привода осуществлялось из условия размещения привода в габаритах, отведённых для него в корпусе форсунки. В качестве конструктивных параметров рассмотрены конфигурация привода, размеры его основных деталей и применяемые материалы. Критериями выбора варианта конструкции привода при варьировании его параметрами (оптимизации конструкции привода), являются такие его характеристики, как развиваемая приводом сила и быстродействие.

При расчётном исследовании рассмотрены конструктивные варианты электромагнитного привода, отличающиеся размерами деталей, количеством слоёв катушки, диаметром провода. Для рассмотренных конструктивных вариантов привода в результате статического расчёта получены зависимости электромагнитной силы от тока и поля распределения магнитной индукции в магнитопроводе привода, при динамическом расчёте – переходные процессы изменения во времени перемещения якоря привода с клапаном, а также электрических и силовых параметров привода.

На основании проведённых расчётов выбран конструктивный вариант экспериментального образца электромагнитного привода.

По результатам безмоторных испытаний системы управления топливной аппаратурой типа Common Rail дизельных двигателей в соответствии с пунктами 3.3 и 3.7 ТЗ сформулированы следующие рекомендации и предложения по совершенствованию разработанной системы (раздел 3 отчёта по 3 этапу ПНИ, работы, выполняемые за счет средств субсидии).

1). Предложение, направленное на исключение проблем, связанных с вибрациями от работающего двигателя. Как следствие вибраций возможно возникновение деформации основания корпуса электронного блока в процессе эксплуатации системы управления. Для снижения влияния вибраций на корпус электронного блока целесообразно обеспечить стойкость резиновых опор корпуса блока к длительному воздействию дизельного топлива без изменения геометрических размеров резиновых опор более чем на 20...25%.

2). Для форсировки управляющего импульса на клапаны системы топливоподачи типа Common Rail дизельных двигателей в электронном блоке А360 необходимо увеличить значение индуктивности фильтра повышающего импульсного источника напряжения в 1,5 – 1,6 раза.

3). Следует сформировать комплекс мер для обеспечения отклонения от плоскости радиатора основания корпуса не более чем 0.1 мм. Это достигается обеспечением интенсивного отвода тепла, выделяемого силовыми элементами схемы электронного блока. Необходимо не допускать деформацию печатного основания, при которой возможны нарушения электрических контактов отдельных электронных компонентов, расположенных в зоне больших отклонений от «идеальной» плоскости печатного основания.

По пункту 3.4 ТЗ проведены теоретические исследования по разработке концепции и технических решений системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельного двигателя (раздел 3 отчёта по 1 этапу ПНИ).

Проведён расчёт параметров датчиков частоты вращения коленчатого и распределительного валов двигателя из условия обеспечения необходимой точности измерения частоты вращения.

Наиболее важными функциями системы управления в контуре регулирования топливоподачи являются: формирование характеристики впрыска и обеспечение необходимого качества переходных процессов дизельного двигателя. Проведено расчётное исследование переходных процессов системы управления дизельным двигателем Д200 при изменении настройки частоты вращения. Д200 является одним из перспективных двигателей, на которых планируется использование разработанной системы управления.

Для моделирования переходных процессов системы управления дизельным двигателем Д200 была составлена математическая динамическая модель дизеля в составе энергетической установки тепловоза и судна и в программном комплексе MATLAB/Simulink разработана компьютерная программа.

Математическая модель регулятора топливоподачи подключается к модели дизельного двигателя. Для анализа переходных процессов двигателя с системой управления при изменении нагрузки используются математические модели электромеханической трансмиссии. В модели энергетической установки тепловоза к двигателю подключён генератор, который питает энергией электродвигатель, приводящий во вращения колёса транспортного средства. При необходимости анализа работы дизеля с приводом на колёса или винт судна используются соответствующие характеристики момента нагрузки, например по закону винтовой характеристики.

Модель, реализованная в MATLAB/Simulink, состоит из нескольких смысловых слоёв. На внешнем уровне модели расположены модули, отвечающие за расчёт процессов, протекающих в дизеле, генераторе и электродвигателях с учётом инерционности поезда. Каждый из модулей содержит в себе алгоритм расчёта необходимых параметров. Модули взаимодействуют с помощью перекрёстных связей. Модуль регулятора описывает алгоритмы работы электронного блока управления с ПИ законом регулирования.

На первом этапе теоретического исследования проведён анализ влияния коэффициентов ПИ закона регулирования на качество переходных процессов при ступенчатом изменении настройки частоты вращения от 600 об/мин до 1000 об/мин. Критериями качества переходных процессов являлись максимальное отклонение ча-

стоты вращения от заданного значения (заброс) и время регулирования. Наилучшее качество переходных процессов получено при следующих значениях коэффициентов ПИ закона регулирования: для пропорциональной составляющей $K_p = 0.1$, для интегральной составляющей $K_i = 0.1$. Эти значения коэффициентов приняты для первичной калибровки системы управления.

На втором этапе исследования проводился анализ качества переходных процессов ступенчатого изменения настройки частоты вращения для различных режимов работы двигателя Д200 при выбранных на первом этапе коэффициентах закона регулирования.

Расчёт электрических компонентов и цепей системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельных двигателей проведён ООО «АБИТ».

Для выполнения законодательно установленных и перспективных экологических норм по удельным выбросам вредных веществ с отработавшими газами система управления для различных режимов работы двигателя должна обеспечить требуемые давление топлива в нагнетательной магистрали топливного насоса высокого давления и характеристику впрыска топлива. Как показали исследования системы управления, электронный блок формирует основной импульс впрыска и дополнительные импульсы: два пилотных впрыска и два пост-впрыска (раздел 1 отчёта по 3 этапу ПНИ; работы, выполняемые за счёт средств субсидии). Система управления обеспечивает настройку параметров основного и дополнительных импульсов – продолжительности импульсов и интервала между импульсами.

В алгоритме работы системы управления введён учёт работы систем дизельного двигателя: системы охлаждения, смазочной системы, системы наддува. Как показали исследования системы управления, электронный блок осуществляет коррекцию пусковой подачи топлива по показаниям датчика охлаждающей жидкости, отключает подачу топлива при падении давления масла ниже допустимого значения и корректирует подачу топлива в соответствии с давлением наддува (раздел 1 отчёта по 3 этапу ПНИ; работы, выполняемые за счёт средств субсидии).

В соответствии с пунктом 3.5 ТЗ были изготовлены экспериментальные (лабораторные) образцы и/или макеты:

– экспериментальный образец системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельного двигателя, учитывающей работу его системы охлаждения, смазочной системы и системы наддува (акт составлен по факту проверки изготовления системы на втором этапе ПНИ);

– экспериментальный образец модуля связи для электронного блока системы управления топливной аппаратурой нового поколения с компьютером (акт составлен по факту проверки изготовления модуля связи на втором этапе ПНИ).

Экспериментальные образцы системы управления и модуля связи изготовлены ООО «АБИТ».

Электронный блок экспериментального образца системы управления изготовлен в соответствии с конструкторской документацией ТРСС.А360.1000 КД, выпущенной на втором этапе ПНИ. Модуль связи для электронного блока изготовлен по конструкторской документации ТРСС.МС01.1000 КД (пункт 6.1.3.2 ТЗ). По факту изготовления элементов системы управления выпущены необходимые акты.

К окончательным испытаниям система управления нового поколения была доработана в рамках проведения работ по третьему этапу. Окончательный вариант системы соответствует конструкторской документации ТРСС.А360.0001 КД, выпущенной на третьем этапе ПНИ (пункт 6.1.3.1 ТЗ). Конструкторская документация, в соответствии с требованиями пункта 6.2 выполнена согласно ГОСТ 2.125-2008 и ЕСКД.

К проведению испытания системы управления топливной аппаратурой нового поколения на безмоторном стенде для отладки её алгоритмов согласно пункту 3.6 ТЗ был подготовлен экспериментальный образец, включающий:

электронный блок управления; жгуты; датчики:

- положения коленчатого вала;
- положения распределительного вала;
- положения педали акселератора;
- давления и температуры воздуха во впускном трубопроводе;
- давления и температуры масла в главной магистрали;
- температуры охлаждающей жидкости;

- давления и температуры топлива в магистрали низкого давления;
- давления топлива в топливном аккумуляторе;
- температуры отработавших газов, температуры электронного блока управления.

Состав разработанной системы управления соответствует техническим требованиям, представленным в пункте 4.3.1.1 ТЗ. Обоснование структуры и состава системы управления приведено в разделе 4 отчёта по первому этапу ПНИ. Определение состава и структуры системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельного двигателя проведено ООО «АБИТ».

Электронный блок системы управления выполнен в соответствии с требованиями пункта 4.3.1.2 ТЗ:

- необслуживаемый;
- пылевлагозащищённое исполнение;
- разъёмы электронного блока быстроразъёмные и содержат полимерные уплотнения для защиты от попадания влаги.

Электронный блок обеспечивает управление частотой вращения коленчатого вала дизельного двигателя и управление электростартером.

Испытания системы управления согласно пункту 3.6 ТЗ были проведены по программе и методикам испытаний ТРСС.А360.0000 ПМ, выпущенным на третьем этапе ПНИ. Испытания были проведены ООО «АБИТ».

Система управления позволяет определять техническое состояние дизельного двигателя и передачу информации о техническом состоянии по цифровой линии связи CAN2.0 (ISO-11892) в соответствии с протоколом информационного воздействия SAE J 1939 (пункт 4.3.1.3 ТЗ). Согласно требованиям пункта 4.3.1.3 ТЗ по воздействию климатических факторов внешней среды система управления соответствует общеклиматическому исполнению («О» по ГОСТ 15150-69).

При испытаниях подтверждена работоспособность системы управления в тестовом режиме при включении системы, работе системы в заданном диапазоне изменения напряжения питания в установившемся режиме и в условиях электростартерного пуска, согласно требованиям пункта 4.2 ТЗ:

- напряжение бортовой сети до 24 В;
- напряжения в установившемся режиме работы в пределах от 22,5 до 28,5 В;
- при электростартерном запуске дизельного двигателя допускается снижение напряжения до 19 В при длительности работы не более 15 с;

В рамках испытаний электронный блок функционировал без принудительного охлаждения, при этом, согласно пункту 4.2.1 ТЗ в корпусе блока предусмотрен канал для подачи топлива из линии низкого давления для снижения температуры в случае большей термической нагрузки на электронный блок.

На безмоторном стенде система управления прошла испытания совместно с топливной аппаратурой дизельного двигателя типа Common Rail, в состав которой входили топливный насос высокого давления, форсунки и соединительные трубопроводы. Электродвигатель стенда приводил во вращение вал топливного насоса с заданной частотой вращения. Стенд оборудован необходимой измерительной аппаратурой.

На первом этапе испытаний на безмоторном стенде проведена проверка обеспечения системой управления заданной продолжительности управляющего импульса: 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 мкс.

На втором этапе испытаний проведена проверка обеспечения системой управления формирования дополнительных импульсов управляющего сигнала: двух пилотных импульсов и двух пост-импульсов.

На третьем этапе испытаний проведена проверка обеспечения системой управления коррекции управляющего импульса в зависимости от показаний датчиков, установленных в системах двигателя: давления масла в системе смазки, давления наддува в системе воздухообеспечения, температуры жидкости в системе охлаждения.

Подробно результаты испытаний приведены в разделе 1 промежуточного отчёта на третьем этапе ПНИ.

Испытания подтвердили работоспособность системы управления и обеспечение ею необходимых функций по управлению системой топливоподачи дизельного двигателя в соответствии с требованиями пункта 4.1.2.2 ТЗ.

Согласно приложению 3 ТЗ достигнуты требуемые показатели результативности предоставления субсидии (Таблица 1).

Таблица 1 Показатели результативности

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Значение			
			2015 год		2016 год	
			План	Факт	План	Факт
Индикаторы						
1	Число публикаций по результатам исследований и разработок в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science), не менее	единиц	1	1	2	2
2	Число патентных заявок, поданных по результатам проекта, не менее	единиц	0	0	2	2
3	Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей участников проекта, не менее	%	76,67	83,9	76,87	82,8
4	Объем привлеченных внебюджетных средств (от общего объема финансирования работ), не менее	млн. руб.	17,75	17,75	17,75	17,75
Показатели						
1	Средний возраст исследователей – участников проекта, не более	лет	33,03	32,2	32,03	31,9
2	Количество мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки, в которых приняла участие и представила результаты проекта организация - исполнитель проекта	единиц	1	1	2	2

По результатам выполнения ПНИ опубликованы три статьи в журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science). Статья «A mathematical model of a diesel engine for simulation modelling of the control system» опубликована в журнале «Global Journal of Pure and Applied Mathematics». Статьи «Investigation on electromagnetic valve of fuel injector for accumulator

fuel equipment system» и «Numerical investigation of diesel engine characteristics during control system development» опубликованы в журнале «International Journal of Applied Engineering Research». Журналы индексируются в базе данных Scopus.

В рамках выполнения ПНИ получены результаты интеллектуальной деятельности, требующие регистрации (пункты 5.2-5.4 ТЗ). На втором этапе в Федеральный институт промышленной собственности было подано заявление о выдачу патента на полезную модель, №2016119225 от 18.05.2016 «Электромагнитный привод управляющего клапана форсунки системы подачи топлива в дизель». По состоянию на декабрь 2016 г. состояние делопроизводства: экспертиза по существу. На третьем этапе ПНИ подана заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ, заявка № 2016Э16576 от 15.12.16 "Система измерения, калибровки и диагностики АКМ".

Анализ выявленных охраняемых технических решений показывает, что на сегодняшний день задача измерения, калибровки и диагностики систем управления двигателями чаще решается отдельными программами. Предлагаемый комплекс, в свою очередь, объединяет в себе широкие возможности по измерению параметров, калибровке электронных блоков управления и их диагностике по различным протоколам связи.

По результатам анализа технического уровня разработок в области систем связи с системами управления следует отметить высокий технический уровень разработанного программного комплекса, объединяющего широкие возможности по настройке, универсальности применения и охвате современных стандартов в области передачи данных.

Анализ технического уровня разработок в исследуемой области техники и сравнение его с другими программами, например с оболочкой «DieselControl» показывает, что система измерения, калибровки и диагностики АКМ является новым техническим решением.

Новизна системы измерения, калибровки и диагностики АКМ заключается в комплексном подходе, объединении возможностей по работе с электронными бло-

ками управления, использовании большинства современных стандартов передачи данных.

На основе полученных при дополнительных патентных исследованиях сведений было принято решение о возможности регистрации полученных результатов интеллектуальной деятельности в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Согласно требованиям ТЗ организация – исполнитель проекта (ООО «Транс-Сенсор») принимала участие в следующих мероприятиях по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки.

В рамках первого этапа в 2015 году участие в IX международной научно-практической конференции «Перспективные направления развития автотранспортного комплекса», г. Пенза с докладом на тему: «Метод имитационного моделирования при проектировании систем управления двигателями».

На втором этапе ПНИ в 2016 году участие в международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения» г. Самара с докладом на тему: «Исследование электромагнитного привода клапана форсунки топливной системы дизеля».

На третьем этапе в 2016 году участие в XII международной научной-технической конференции «Интеграция науки, образования и производства» на секции в рамках 2nd International Forum «Instrumental Engineering, Electronics and Telecommunications» (Второго международного форума ИЕЕТ-2016) с докладом на тему «Electromagnetic actuator design of valve for diesel engine fuel management system».

Выводы к разделу 1

Обобщение результатов исследования показывает, что цели и задачи работы выполнены в полном объеме в соответствии с техническим заданием и планом-графиком на ПНИ.

В рамках выполнения ПНИ достигнуты требуемые показатели результативности предоставления субсидии.

Заключение

Проведён обзор научно-технической литературы с анализом влияния параметров рабочего процесса дизельного двигателя на показатели экологии и экономичности показал возможности достижения предъявляемых к двигателю требований методами направленного воздействия системы управления на параметры системы топливоподачи двигателя.

Выбор и обоснование направления исследований выполнены на основе патентных исследований и проработки вариантов возможных решений задачи.

При проектировании электромагнитного привода клапана форсунки системы топливоподачи дизельных двигателей проведено расчётное исследование влияния конструктивных параметров привода на его основные характеристики.

Проведены теоретические исследования по разработке концепции и технических решений системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельного двигателя.

Для моделирования переходных процессов системы управления дизельным двигателем Д200 была составлена математическая динамическая модель дизеля в составе энергетической установки тепловоза и судна и в программном комплексе MATLAB/Simulink разработана компьютерная программа.

Разработана конструкторская документация и согласно ней были изготовлены экспериментальные образцы и/или макеты:

- экспериментальный образец системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельного двигателя, учитывающей работу его системы охлаждения, смазочной системы и системы наддува;
- экспериментальный образец модуля связи для электронного блока системы управления топливной аппаратурой нового поколения с компьютером.

На безмоторном стенде система управления прошла испытания совместно с топливной аппаратурой дизельного двигателя типа Common Rail, в состав которой входили топливный насос высокого давления, форсунки и соединительные трубопроводы.

Испытания подтвердили работоспособность системы управления и обеспечение ею необходимых функций по управлению системой топливоподачи дизельного двигателя.

По результатам безмоторных испытаний системы управления топливной аппаратурой типа Common Rail дизельных двигателей следующие рекомендации и предложения по совершенствованию разработанной системы:

1. Для снижения влияния вибраций на корпус электронного блока целесообразно обеспечить стойкость резиновых опор корпуса блока к длительному воздействию дизельного топлива без изменения геометрических размеров резиновых опор более чем на 20...25%.
2. Для форсировки управляющего импульса на клапаны системы топливоподачи увеличить значение индуктивности фильтра повышающего импульсного источника напряжения в 1,5 – 1,6 раза.
3. Сформировать комплекс мер для обеспечения отклонения от плоскости радиатора основания корпуса электронного блока не более чем 0.1 мм.

Поставленные в рамках исследования задачи решены полностью в соответствии с техническим заданием и планом-графиком ПНИ.

Полученные при выполнении ПНИ результаты предназначены для использования в дальнейших работах по созданию системы управления топливной аппаратурой аккумуляторного типа для дизельных двигателей: моторных испытаниях, подготовке конструкторской документации на серийный образец системы управления, изготовлении и эксплуатации системы управления.

Внедрение системы управления дизельной топливной аппаратурой аккумуляторного типа с управляемыми характеристиками впрыска позволит обеспечить требования по экологическим и экономическим показателям, предъявляемые к современным дизельным двигателям.

Научно-технический уровень системы управления соответствует современным разработкам таких ведущих фирм, работающих в данном направлении, как Bosch, Heinzmann, Denso и др.

Информация о ходе выполнения работ приведена на официальном сайте организации-исполнителя: <http://www.transsensor.net/> .