

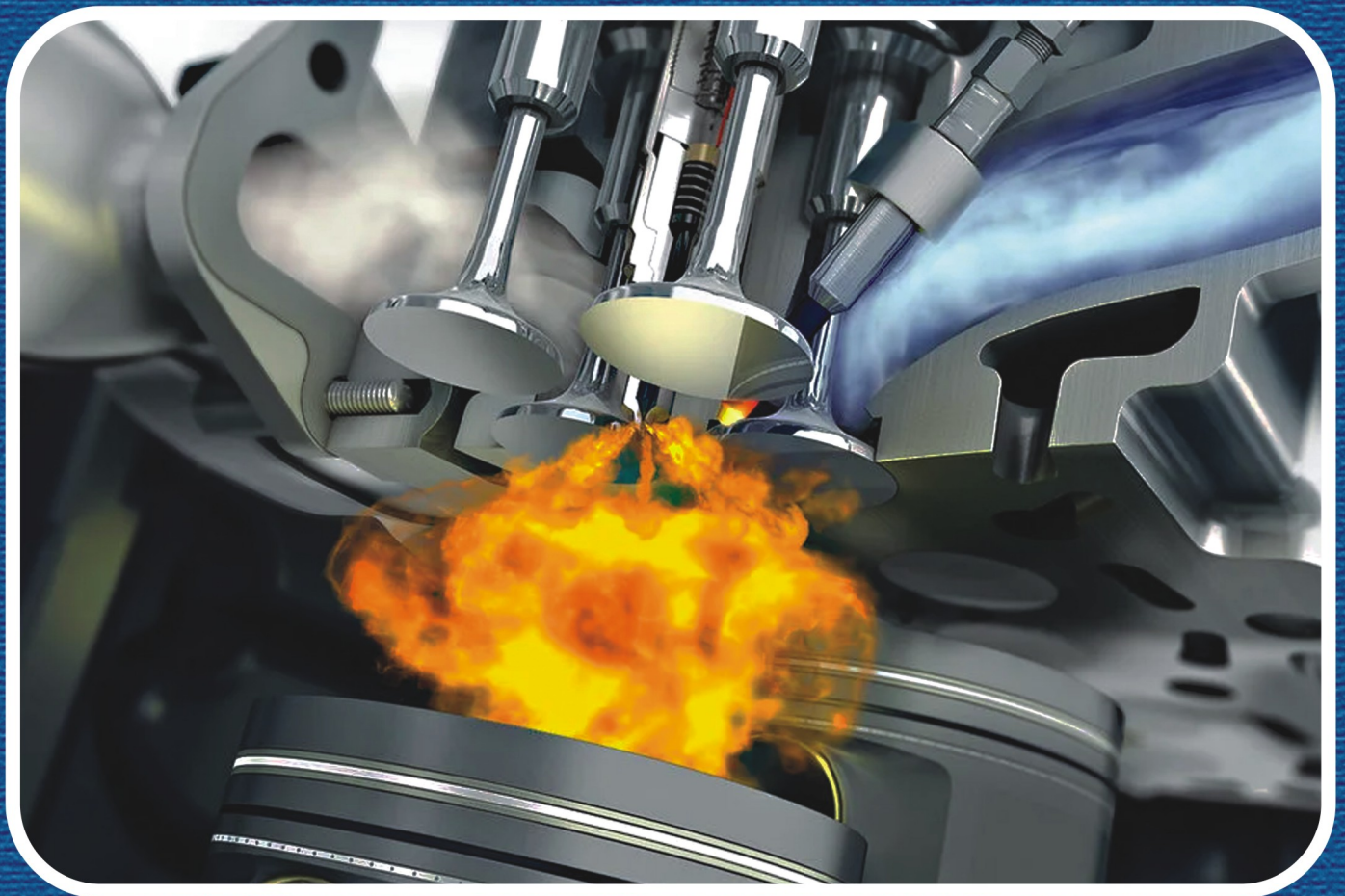
Санкт-Петербург

Индекс 70259

ISSN 0202-1633

# ДВИГАТЕЛЕ СТРОЕНИЕ

4 (286) октябрь–декабрь 2021 **DVIGATELESTROYENIYE**





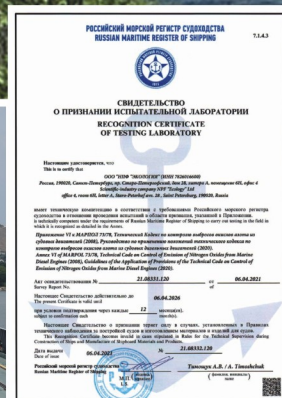
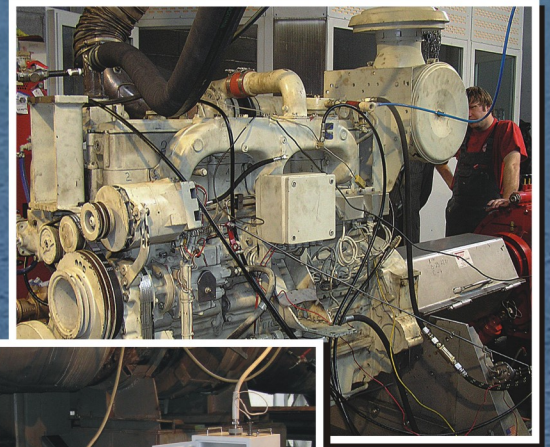
НПФ «Экология»

# Сертификационные испытания двигателей на стенде и на борту судна

Лаборатория контроля вредных выбросов ДВС (НПФ «Экология») проводит испытания судовых двигателей на соответствие требованиям Международной морской организации (ИМО) и ГОСТ Р с оформлением необходимой технической документации (технических файлов).

- 20-летний опыт испытаний и освидетельствований
- Более 200 сертифицированных двигателей
- Признание в системе МАКО

Россия, 190020,  
 Санкт-Петербург, а/я 9  
 Тел.: +7(812) 719-73-30  
 e-mail: ecology@rdiesel.ru  
 www.rdiesel.ru



Признание  
технической компетентности



РАСЧЕТЫ. КОНСТРУИРОВАНИЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ	ANALYSES, DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF ENGINES
<i>Калиниченко В.В., Буров С.В., Кондаков К.В.</i> Создание газового двигатель-генератора 9ГМГ для маневрового тепловоза	<b>3</b> <i>Kolesnichenko V.V., Burov S.V. and Kondakov K.V.</i> Engine-generator type 9GMG for shunting locomotives
<i>Абызов О.В., Метелев А.А.</i> Исследование индикаторного процесса двухтактного двигателя с противоположно-движущимися поршнями	<b>8</b> <i>Abyzov O.V. and Metelev A.A.</i> Analysis of indicated diagrams of two-stroke engine with opposite-moving pistons
<i>Маслов А.П., Рождественский Ю.В., Левцов М.В., Гонтарев К.А.</i> Формирование электрогидравлической системы управления механизмом газораспределения для W-образного двигателя с прицепными шатунам	<b>16</b> <i>Maslov A.P., Rozhdestvensky Yu.V., Levtsov M.V. and Gontarev K.A.</i> Electro-hydraulic valve control system for W-engine with slave connecting rods
СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЕЙ. АГРЕГАТЫ	ENGINE SYSTEMS AND UNITS
<i>Андрусенко С.Е., Фролов М.В., Фофанов А.В.</i> Адаптивная система управления рабочим процессом газопоршневого двигателя внутреннего сгорания	<b>22</b> <i>Andrusenko S.E., Frolov M.V. and Fofanov A.V.</i> Adaptive control system for operation of gas reciprocating engine
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ	ALTERNATIVE ENGINE TYPES
<i>Петров А.И.</i> К вопросу оптимизации теплообменного контура двигателя Стирлинга	<b>28</b> <i>Petrov A.I.</i> Anent optimization of Stirling engine heat exchange loop
НОВОСТИ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ	ENGINE BUILDING NEWS
Развитие газовых двигателей (по материалам конгресса CIMAC)	<b>31</b> Development of gas engines (based on CIMAC Proceedings)
ИНФОРМАЦИЯ	INFORMATION
Рефераты статей	<b>54</b> Synopsis
Перечень статей, опубликованных в журнале «Двигателестроение» за 2021 год	<b>56</b> List of articles published in magazine for year 2021

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Л.А. Новиков, главный редактор

## ПРЕДПРИЯТИЯ

А.Н. Кострыгин	<i>гл. конструктор</i>	<i>ООО ИЦД ТМХ, г. Коломна</i>
В.А. Шелеметьев	<i>зам. техн. директора</i>	<i>АО «Коломенский завод», г. Коломна</i>
С.В. Хильченко	<i>техн. директор</i>	<i>ООО «Морские пропульсивные системы», Санкт-Петербург</i>
А.К. Лимонов	<i>зам. гл. конструктора</i>	<i>ООО «Энергомаш», г. Щекино, Тульская обл.</i>
Е.И. Бирюков	<i>гл. конструктор</i>	<i>АО «Барнаултрансмаши», г. Барнаул</i>
А.В. Попов	<i>зам. ген. директора</i>	<i>АО «Волжский дизель им. Маминых», г. Балаково</i>
А.С. Куликов	<i>гл. констр. по двиг.</i>	<i>ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны</i>
В.И. Федышин	<i>директор</i>	<i>ООО МПЦ «Марине», Санкт-Петербург</i>
А.П. Маслов	<i>вед. инж.-конструктор</i>	<i>ООО «ЧТЗ-Уралтрак», г. Челябинск</i>
А.С. Калюнов	<i>начальник ИКЦ</i>	<i>ООО НЗТА, г. Ногинск</i>

## НИИ

В.А. Сорокин	<i>зав. отделом</i>	<i>ЦНИИМФ, Санкт-Петербург</i>
В.И. Ерофеев	<i>нач. отдела</i>	<i>И ЦНИИ МО РФ, Санкт-Петербург</i>
В.В. Альт	<i>рук. науч. направления</i>	<i>ГНУ СибФТИ, г. Новосибирск</i>
Ю.А. Микутенок	<i>президент</i>	<i>НПХЦ «Миакрон-Нортон», Санкт-Петербург</i>

## ВУЗЫ

В.А. Марков	<i>зав. кафедрой Э-2</i>	<i>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва</i>
Н.Д. Чайнов	<i>проф. кафедры Э-2</i>	<i>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва</i>
В.А. Рыжов	<i>проф. кафедры ТМС и САПР</i>	<i>КИ фил. МПУ, г. Коломна</i>
Ю.В. Галышев	<i>проф. ВШ энерг. маш.</i>	<i>СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург</i>
М.И. Куколев	<i>проф. ВШ гидротех. стр-ва</i>	<i>СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург</i>
О.К. Безюков	<i>проф. кафедры ТК СДВС</i>	<i>ГУМРФ им. С.О. Макарова, Санкт-Петербург</i>
А.А. Иванченко	<i>зав. кафедрой ДВС и АСЭУ</i>	<i>ГУМРФ им. С.О. Макарова, Санкт-Петербург</i>
Л.В. Тузов	<i>проф. кафедры ТК СДВС</i>	<i>ГУМРФ им. С.О. Макарова, Санкт-Петербург</i>
С.П. Столяров	<i>зав. кафедрой СДВС и ДУ</i>	<i>ГМТУ, Санкт-Петербург</i>
В.К. Румб	<i>проф. кафедры СДВС и ДУ</i>	<i>ГМТУ, Санкт-Петербург</i>
А.В. Смирнов	<i>проф. кафедры Д и ТУ</i>	<i>ВИ(ИТ) ВА МТО, Санкт-Петербург</i>
В.О. Сайданов	<i>проф. кафедры Д и ТУ</i>	<i>ВИ(ИТ) ВА МТО, Санкт-Петербург</i>
А.А. Обозов	<i>проф. кафедры ТД</i>	<i>БГТУ, г. Брянск</i>
А.В. Разуваев	<i>проф. кафедры ЯЭ</i>	<i>БИТИ фил. ФГАОУ МИФИ, г. Балаково</i>

---

Издатель журнала — ООО «НПФ «Экология», Санкт-Петербург

Журнал «Двигателестроение» включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Дата включения в обновленный перечень ВАК — 29.05.2017.

### Группы научных специальностей:

05.02.00 — Машиностроение и машиноведение

05.04.00 — Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение

05.14.00 — Энергетика

Электронные версии журнала (2005–2021 гг.) размещены на сайте «Научная электронная библиотека» ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)) и включены в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

---

Выпускающий редактор — Н.А. Вольская  
Редактор инф. отдела — Г.В. Мельник  
Верстка — А.В. Вольский

Сдано в набор 02.12.2021  
Подписано в печать 23.12.2021  
Формат бумаги 60 × 90 1/8

Бумага типографская.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7  
Зак. 418. Тираж 500 экз.  
Цена договорная

---

Почтовый адрес редакции журнала:  
ООО «НПФ «Экология», 190020, Санкт-Петербург, а/я 9

Тел.: +7 (921) 956-31-94  
+7 (812) 719-73-30

E-mail: [ecology@rdiesel.ru](mailto:ecology@rdiesel.ru)  
[www.rdiesel.ru](http://www.rdiesel.ru)

---

**ДВИГАТЕЛЕ  
СТРОЕНИЕ**

Типография «Светлица»  
Лиц. ПД № 2-69-618, 196158,  
Санкт-Петербург, Московское шоссе, 25, 215

© Журнал «Двигателестроение». 2021. № 4 (286)

## СОЗДАНИЕ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА 9ГМГ ДЛЯ МАНЕВРОВОГО ГАЗОТЕПЛОВОЗА

*В.В. Калиниченко, к.т.н., С.В. Буров, инж., К.В. Кондаков, инж.  
ООО «Инжиниринговый центр двигателестроения ТМХ»*

Специалистами АО «Коломенский завод» и ООО «Инжиниринговый центр двигателестроения ТМХ» разработан и испытан поршневой газовый двигатель-генератор 9ГМГ для маневрового газотепловоза работающего на сжиженном природном газе. Определен основной состав оборудования и конструкция газовых двигателей нового поколения, где в качестве прототипа использован серийный дизельный двигатель 8ЧН26/26 типа Д49, что позволило получить унификацию деталей и компонентов двигателей более чем на 80 %. В конструкции двигателя осуществляется внутренний способ смесеобразования. Для проведения испытаний газовых двигатель-генераторов построен современный испытательный стенд, оснащенный всем необходимым оборудованием для контроля параметров работы двигателя и поддержания заданных режимов работы. При испытаниях получен расход газового топлива, сопоставимые по тепловому эквиваленту с расходом дизельного топлива, что позволяет снизить на 30–40 % эксплуатационные затраты на топливо при использовании газотепловозов на сжиженном природном газе. Так же достигнуто значительное улучшение экологических показатели двигателя со снижением выбросов CO<sub>2</sub> до 50 % по сравнению с дизельным двигателем.

Учитывая мировую тенденцию использования природного газа в качестве моторного топлива в рамках Государственной программы Российской Федерации «Внедрение газомоторной техники с разделением на отдельные подпрограммы по автомобильному, железнодорожному, морскому, речному, авиационному транспорту и технике специального назначения» по соглашению с Министерством промышленности и торговли Российской Федерации специалистами машиностроительного предприятия АО «Коломенский завод» совместно с ООО «Инжиниринговый центр двигателестроения ТМХ» выполнены работы по созданию газового двигатель-генератора с искровым зажиганием для маневровых газотепловозов.

В 2018 году были начаты работы по созданию газового двигатель-генератора для маневрового



газотепловоза типа ТЭМ-29.

Для минимизации расходов, материалов и временных затрат на разработку газового двигатель-генератора проектирование разделили по определенным задачам, выполнение которых позволило спроектировать газовый двигатель-генератор в кратчайшие сроки.

Основные задачи, поставленные при проектировании двигатель-генератора:

1. Использовать серийный дизельный двигатель типа Д49 в качестве прототипа;
2. В качестве топлива необходимо применить сжиженный природный газ с содержанием метана более 95 %;
3. Обеспечить полную мощность двигателя не менее 940 кВт при номинальной частоте вращения 1000 об/мин;
4. Обеспечить расход топливного газа на режиме полной мощности, не более 186 кг/ч;
5. Обеспечить расход топливного газа на холостом ходу, не более 18 кг/ч;
6. Обеспечить показатели выбросов вредных веществ и дымности отработавших газов в соответствии с требованиями, применяемыми к дизельным двигателям для маневровых тепловозов.
7. Обеспечить показатели надежности с периодом необслуживаемой работы 480 часов при сроке службы двигателя 25 лет.
8. Обеспечить возможность компоновки двигателя в маневровом тепловозе капотного исполнения.

### **Выполнение работ по созданию газового двигатель-генератора**

Для решения вышеуказанных задач был использован опыт проектирования газовых двигатель-генераторов серии 6ГМГ и 8ГМГ для электростанций на базе двигателя типа Д49. Для сокращения сроков и стоимости работы выполнение проекта разделили на следующие этапы:

1. Выбор способа смесеобразования и типа исполнения топливной системы;
2. Конвертирование серийно выпускаемого дизельного двигателя в газовый двигатель;
3. Проектирование и изготовление испытательного стенда;
4. Анализ результатов испытаний и разработка предложений по доработке конструкции;
5. Определение направлений применения газовых двигателей для различных отраслей энергетического комплекса в Российской Федерации и за рубежом.

#### **Выбор способа смесеобразования и типа исполнения топливной системы для конвертирования двигателя**

При выполнении этапа были проработаны два способа конвертирования серийного дизельного двигателя в газовый с различной организацией подвода газового топлива и образования газозвдушной смеси, наиболее широко применяемые в мировой практике [1].

Первый способ — внешнее смесеобразование при подаче топливного газа на вход патрубка компрессора. Такой способ имеет существенные недостатки для транспортного двигателя выраженные в повышении коэффициента остаточных газов в камере сгорания из-за уменьшения продувки двигателя, снижении надежности и безопасности двигателя из-за повышения опасности утечки газозвдушной смеси из впускного тракта двигателя, опасности выброса газозвдушной смеси в выпускной коллектор при сбросах нагрузки, увеличение времени переходных процессов. Преимуществами данного способа являются: обеспечение высокой степени гомогенности смеси при смешивании газа и воздуха в компрессоре, упрощенное управление исполнительными механизмами за счет минимального количества исполнительных элементов топливной системы.

Второй способ — внутреннее смесеобразование газозвдушной смеси с подачей газа на такте впуска в цилиндры двигателя с применением быстродающих электромагнитных клапанов подачи газа установленных для каждого цилиндра. Этот способ позволяет повысить надежность и безопасность двигателя за счет исключения наличия газа во впускном тракте двигателя и осуществления продувки цилиндров двигателя, а также обеспечить высокий уровень приемистости

в переходных режимах работы при резком увеличении нагрузки на двигатель-генератор. Недостатками данного способа является увеличение количества соединений газотопливного трубопровода при использовании электромагнитных газовых клапанов установленных для каждого цилиндра двигателя и сложность обеспечения подачи малых расходов газа на холостом ходу и малых нагрузках.

Так как для силовой установки маневрового газотепловоза наиболее важным является обеспечение высокого уровня приемистости на переходных режимах работы, то в качестве метода конвертирования силовой установки для маневрового газотепловоза выбран способ с внутренним смесеобразованием газозвдушной смеси.

#### **Конвертирование серийно выпускаемого дизельного двигателя в газовый двигатель**

Для минимизации затрат в качестве базового двигателя для конвертирования был принят дизельный двигатель типа Д49. Двигатели этого типа широко применяются в железнодорожном транспорте, имеют развитую сеть обслуживания, высокую надежность в эксплуатации и позволяют обеспечить компоновку двигателя в маневровом тепловозе капотного исполнения.

Учитывая требования ОАО «Российские железные дороги» для маневровых газотепловозов за прототип принят серийный 8-цилиндровый V-образный двигатель 8ЧН26/26 типа Д49 для конвертирования которого были разработаны и установлены следующие узлы и системы двигатель-генератора:

- чашеобразная форма камеры сгорания в поршне с пониженной степенью сжатия для обеспечения стабильного рабочего процесса и равномерного сгорания газозвдушной смеси;
- система регулирования давления наддувочного воздуха в ресивере с электроуправляемой воздушной заслонкой;



**Рис. 1. Газовый двигатель-генератор 9ГМГ**

➤ система подачи топливного газа с электроуправляемой газовой заслонкой и быстродействующими электромагнитными дозирующими газовыми клапанами, установленными индивидуально на каждом цилиндре двигателя, для обеспечения количественного регулирования подачи газового топлива;

➤ электронная система зажигания, обеспечивающая возможность изменения угла опережения зажигания в соответствии с режимом работы двигателя;

➤ система контроля детонации для обеспечения защиты от возникновения явлений детонационного сгорания газозоудшной смеси в цилиндрах двигателя;

➤ система контроля коэффициента избытка воздуха в отработавших газах;

➤ новый тяговый агрегат, для уменьшения массовых и габаритных показателей двигатель-генератора.

Разработанный газовый двигатель-генератор получил заводское обозначение 9ГМГ (8ГЧН26/26) (рис. 1) при этом унификация деталей и узлов с двигателями, выпускаемыми АО «Коломенский завод», составляет более 80 %.

Основные параметры двигателя, полученные при проведении испытаний на специализированном стенде приведены в таблице.

**Параметры газового двигатель-генератора 9ГМГ**

Параметр	Значение
Номинальная мощность двигателя, кВт	940
Номинальная мощность двигатель-генератора, кВт	890
Частота вращения коленчатого вала, об/мин: при полной мощности; минимально устойчивая.	1000 450
Удельный расход топливного газа двигателя при 100 % нагрузке, кг/кВт·ч (м <sup>3</sup> /кВт·ч)	0,198 (0,281)
Удельный расход топливного газа двигатель-генератора при 100 % нагрузке, кг/кВт·ч (м <sup>3</sup> /кВт·ч)	0,209 (0,297)
Расход газа, кг/ч (м <sup>3</sup> /ч) при полной мощности на холостом ходу	186 (264) 18 (25)
Габаритные размеры газового двигатель-генератора, мм длина; ширина; высота.	4975 1620 2575
Масса газового двигатель-генератора (сухая), кг, не более	19 000
Назначенное время работы до первой плановой переборки, час	32 000
Срок службы двигатель-генератора, лет	25

**Испытательный стенд**

Для обеспечения требований серийного производства и проведения испытаний газовых двигатель-генераторов на АО «Коломенский завод» был построен современный специализированный испытательный стенд (рис. 2, 3) оснащенный всем необходимым оборудованием для проведения испытаний газовых двигатель-генераторов и их сертификации в соответствии с требованиями ОАО «Российские железные дороги».

Системы и оборудование стенда позволяют имитировать системы тепловоза и поддерживать в автоматическом режиме заданные параметры работы систем обслуживания двигатель-генератора, выполнять автоматическое управление нагрузкой на двигатель-генератор, а также вести автоматическую регистрацию всех необходимых параметров работы двигатель-генератора при испытаниях.

Для минимизации материальных затрат при проведении испытаний на стенде вместо сжиженного природного газа (СПГ) принято решение применить компримированный природный газ (КПГ) из магистральной газовой сети, идентичный по химическому составу с СПГ. При этом система газоснабжения стенда обеспечивает избыточное давление КПГ на входе в двигатель 0,295 МПа (3 кг/см<sup>2</sup>), что имитирует работу



**Рис. 2. Рабочее место инженера-испытателя испытательного стенда**



**Рис. 3. Испытательный стенд с установленным газовым двигатель-генератором**

оборудования подготовки газа, предназначенного для установки на тепловозе.

В 2020 году были проведены испытания двигатель-генератора 9ГМГ на специализированном стенде, в результате которых получено подтверждение проектных рабочих параметров газового двигателя.

#### Стендовые испытания двигатель-генератора

До установки газового двигатель-генератора на тепловоз были проведены стендовые испытания, во время которых выполнена настройка новой системы управления двигатель-генератором осуществляющей: контроль собственного оборудования; сбор и обработку информации с датчиков двигатель-генератора; выполнение аварийно-предупредительной сигнализации и защит двигателя, регулирование частоты вращения; регулирования давления наддувочного воздуха формирование и управление искрой зажигания; контроль коэффициента избытка воздуха в отработавших газах; обнаружение детонационного сгорания в цилиндрах двигателя и принятие мер по защите от детонации. Данный способ защищен патентом РФ RU 2 695 583 [2].

В системе управления по сигналам от имитатора контролера тепловоза выполняется настройка значений частот вращения и мощностей в соответствии с заданием (рис 4).

Для обеспечения устойчивости работы на режимах с изменением частоты вращения и резкими наборами нагрузки разработан специальный алгоритм согласования изменения подачи топливного газа быстродействующими электромагнитными газовыми клапанами и регулирования давления наддува путем управления воздушной дроссельной заслонкой с одновременным контролем коэффициента избытка воздуха в отработавших газа.

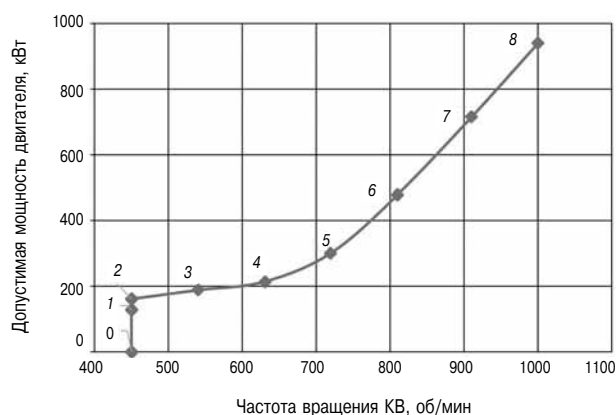


Рис 4 Изменение мощности и частоты вращения коленчатого вала двигателя по позициям контролера. (Цифрами обозначены позиции контролера)

При этом за счет регулирования давления газа перед быстродействующими электромагнитными газовыми клапанами по сигналу датчика давления воздуха в ресивере двигателя достигается равномерность подачи топлива газовыми клапанами по цилиндрам.

В результате доводочных работ получен расход топливного газа менее 18 кг/ч при работе на холостом ходу, что позволит существенно снизить эксплуатационные расходы на топливо, поскольку в маневрово-вывозном режиме тепловозы до 80 % времени работают на холостом ходу.

При настройке системы контроля коэффициента избытка воздуха в отработавших газах для каждого режима по позициям контролера определены допустимые значения сигнала от лямбда-зонда установленного за турбиной турбокомпрессора. При этом система управления позволяет производить настройку поддержания заданного значения коэффициента избытка воздуха в отработавших газах ( $\lambda$ ) по показаниям лямбда-зонда. Поддержание заданного значения коэффициента избытка воздуха в отработавших газах осуществляется системой регулирования давления наддувочного воздуха путем управления положением воздушной заслонки, установленной за компрессором.

При проведении стендовых испытаний двигатель-генератора получен расход газообразного топлива, который сопоставим с расходом дизельного топлива аналогичным дизельным двигателем (типа 1-ПДГ4Д4 производства ПО «Пензадизельмаш»). Учитывая более высокую мощность и увеличение полезной нагрузки при установке на тепловозе двигателя 9ГМГ вместо дизельного двигателя 1-ПДГ4Д4, а также, то что стоимость сжиженного газового топлива (СПГ) значительно меньше дизельного топлива, среднее годовая экономия на стоимости топлива при использовании двигатель-генератора 9ГМГ составит от 30 до 45 %.

При этом показатели выбросов вредных веществ с отработавшими газами газового двигателя значительно меньше по сравнению с дизельными двигателями. Так по показаниям газоанализатора «Эксперт Универсал ПРО» выбросы оксидов азота  $NO_x$  меньше предельно допустимых значений по ГОСТ 33754 на 70 %, а оксида углерода CO на 17 %. Суммарные выбросы углеводородов  $C_nH_m$  для газотепловозов использующих газообразное топливо (с содержанием метана более 95 %) не регламентируются.

Для газового двигатель-генератора 9ГМГ удельный выброс двуоксида углерода ( $CO_2$ ) с отработавшими газами составил 402,5 г/кВт·ч, что в два раза меньше выбросов  $CO_2$  дизельными двигателями (для дизельных двигателей соизмеримой мощности удельный выброс  $CO_2$  составляет



801,1 г/кВт·ч). Низкие показатели выбросов CO<sub>2</sub> достигаются за счет состава газового топлива — метана (CH<sub>4</sub>).

Так как выбросы CO<sub>2</sub> оказывают существенное влияние на образование парникового эффекта, снижение выбросов CO<sub>2</sub> является приоритетной задачей во всех областях двигателестроения.

Так же при испытаниях газового двигателя отмечено снижение дымности отработавших газов в 10 раз по сравнению с дизельным двигателем.

#### **Перспективы развития серии газовых двигателей**

По результатам выполненных работ намечены следующие этапы развития газовых двигателей типа Д49 (серии 9ГМГ).

Для повышения цилиндровой мощности двигателей необходимы исследования влияния на рабочий процесс следующих регулируемых параметров системы управления: угла опережения зажигания, коэффициента избытка воздуха, форкамерно-факельного зажигания и фаз газораспределения.

С целью расширения области применения газовых двигатель-генераторов необходима разработка новых исполнений газовых двигателей в мощностном диапазоне от 800 до 1100 кВт в качестве силовых установок для малой энергетики, морского и речного транспорта, или привода газонасосных агрегатов.

Для повышения экономического эффекта при эксплуатации газотепловоза в реальных рабочих условиях следует выполнить настройку системы управления для оптимизации режимов работы двигатель-генератора.

В перспективе применение газопоршневых двигатель-генераторов позволит обеспечить снижение уровня выбросов вредных веществ с отработавшими газами газопоршневых двигателей, применяемых не только на железнодорожном, но и на морском и речном транспорте, а также на электростанциях для снабжения электроэнергией

торговопромышленных комплексов и тепличных хозяйств.

#### **Выводы**

1. При конвертировании дизелей типа Д49, широко распространенных на железнодорожном транспорте, в газовые двигатели 9ГМГ, унификация основных узлов и агрегатов составляет более 80 %.

2. Для силовой установки маневрового газотепловоза целесообразно применение газового двигатель-генератора с внутренним смесеобразованием газозвушной смеси.

3. Газовый двигатель-генератор 9ГМГ обеспечивает требуемые характеристики по мощности, приемистости, ресурсным показателям, при минимальном расходе газового топлива на эксплуатационных режимах и холостом ходу, а также высокие показатели надежности.

4. Газовые двигатель-генераторы позволяют обеспечить нормативные требования по выбросам вредных веществ с отработавшими газами для поршневых двигателей различного назначения.

5. Применение газовых двигатель-генераторов вместо дизельных позволит в два раза снизить выбросы двуокиси углерода.

6. Газовый двигатель-генератор 9ГМГ, работающий на сжиженном природном газе, может быть использован в качестве силовой установки маневровых газотепловозов в сети железных дорог РАО «РЖД» с минимальными эксплуатационными затратами на топливо.

#### **Литература**

1. *Трегубов И.А., Фомин В.П., Сафронова Л.В.* Научно-технические решения по созданию новых источников электроснабжения и электротехнического оборудования // ВНИИГАЗ Москва 1985 год. — С. 56–66.
2. *Калининченко В.В., Буров С.В., Здоренко В.А.* Патент РФ номер RU 2 695 583.