ИЗДАЕТСЯ
С ЯНВАРЯ
1979 г.

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ

ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЕ

№ 4 (262)
октябрь–декабрь 2015

Санкт-Петербург

ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЕ В РОССИИ

Итоги и решение Всероссийской научно-технической конференции «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ» 3

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Сайданов В.О.
Анализ номенклатуры, технического состояния и опыта эксплуатации ДГУ на объектах военной инфраструктуры 8

Попов Д.В.
Новые разработки ДЭУ для объектов МО РФ на ОАО «Волжский дизель имени Маминых» и предложения по участию в программе импортозамещения 10

Усов М.С., Архипов А.О., Хильченко С.В.
ДГУ производства ПАО «Звезда» на базе серийных двигателей типа 12ЧН18/20 и двигателей нового поколения 12ЧН15/17,5 12

Левкович А.В.
Комплексные энергообъекты ОАО «Звезда-Энергетика» на базе дизельных энергетических установок (ДЭУ) для объектов МО РФ, созданные по программе импортозамещеня 13

Рудковский А.С.
Семейство двигателей ДМ-21 и ДМ-185 нового поколения для объектов военной инфраструктуры 15

Глазистов В.В.
Электроагрегаты и электростанции производства ПАО «КамАЗ» 17

Калиниченко В.В.
Применение дизель-генераторов производства ОАО «Коломенский завод» для объектов МО РФ в целях импортозамещения 19

Антипов М.А., Михайлин А.Б.
Опыт производства и модернизации ДЭУ на основе отечественных ДВС и автоматики собственной разработки 21

Новиков Л.А., Смирнов А.В.
Обеспечение экологической безопасности и импортозамещение в новых проектах автономных источников энергии для объектов МО РФ 23

РАСЧЕТЫ. КОНСТРУИРОВАНИЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ

Румб В.К.
Прогнозирование долговечности деталей ДВС средствами имитационного моделирования 26

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ

Ковальчук Л.И., Исаева М.В.
Экспериментально-теоретические модели для диагностирования рабочих процессов в цилиндрах судовых дизелей 30

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Иванов Д.А., Засухин О.Н.
Сочетание закалки сталей с обработкой пульсирующими газовыми потоками 34

НОВОСТИ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

Альтернативные и традиционные источники энергии (материалы конгресса CIMAC 2013) 37

ENGINE BUILDING IN RUSSIA

National Conference «Reciprocating Engines of Military Generator Sets. Modernization and Replacement of Imported Engines by Domestic Ones». Resume and Resolution 3

SUMMARIES

Saidanov V.O.
Diesel-Generators of Military Facilities: Analysis of Nomenclature, Technical State and Field Experience 8

Popov D.V.
Newly-Developed Diesel-Generator Sets for Military Infrastructure Components from JSC Mamin Brothers Volzhsky Diesel, and Proposals for Replacement Program 10

Usov M.S., Arkhipov A.O. and Khilchenko S.V.
Diesel-Generator Sets from Zvezda Works, Powered by Serial Engines Type 12ChN18/20 and New-Generation Engines Type 12ChN15/17,5 12

Levkovich A.V.
Integrated Power Packages from JSC Zvezda-Energetica, Based on Diesel-Generator Sets for Military Facilities, Developed under Import-Replacement Program 13

Rudkovsky A.S.
Engines Type DM-21 and DM-185 (New Generation) for Military Facilities 15

Glazistov V.V.
Diesel-Generator Sets and Power Plants from JSC KamAZ 17

Kalinichenko V.V.
Diesel-Generators from JSC Kolomna Works for Military Facilities 19

Antipov M.A. and Mikhailin A.B.
Experience of Producing and Modernization of Diesel Engine Sets Using Domestic Make Engines and Proprietary Control Systems 21

Novikov L.A. and Smirnov A.V.
Environmental Safety and Import Replacement Aspects in Development of New Power Supplies for Military Facilities 23

ANALYSES, DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF ENGINES

Rumb V.K.
Prediction of Engine Parts' Lifetime through Simulation Modeling 26

AUTOMATION AND DIAGNISTICS

Kovalchuk L.I. and Isaeva M.V.
Experimental-Theoretical Models for Combustion Diagnostics in Marine Diesel Engine 30

CONSTRUCTION MATERIALS

Ivanov D.A. and Zasukhin O.N.
Combined Treatment of Parts with Pulsating Gas Flows and Heat 34

ENGINE BUILDING NEWS

Conventional and Alternative Energy Sources (based on review of CIMAC-2013 papers) 37

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Л.А. Новиков, главный редактор

ПРЕДПРИЯТИЯ

В.А. Шелеметьев	*техн. директор*	*ОАО «Коломенский завод», г. Коломна*
В.А. Рыжов	*гл. конструктор*	*ОАО «Коломенский завод», г. Коломна*
Е.С. Васюков	*техн. директор*	*ЗАО УК БМЗ, г. Брянск*
А.К. Лимонов	*гл. конструктор*	*ОАО РУМО, Н. Новгород*
Е.И. Бирюков	*гл. конструктор*	*ОАО «Барнаултрансмаш», г. Барнаул*
В.М. Гребнев	*техн. директор*	*ОАО «Волжский дизель им. Маминых», г. Балаково*
Р.Х. Хафизов	*зам. гл. констр. по двиг.*	*ОАО КамАЗ, г. Набережные Челны*
А.А. Матюшин	*генеральный директор*	*ОАО ЗМЗ, г. Заволжье*
В.И. Федышин	*директор*	*МАН Ферросталь, Санкт-Петербургский филиал*
В.В. Коновалов	*1-й зам. ген.директора*	*ОАО «Звезда», Санкт-Петербург*
А.П. Маслов	*вед. инж.-конструктор*	*ООО ГСКБ «Трансдизель», г. Челябинск*
А.С. Калюнов	*начальник ИКЦ*	*ООО НЗТА, г. Ногинск*

НИИ

В.С. Папонов	*ген. директор*	*ОАО НИКТИД, г. Владимир*
Д.П. Ильющенко-Крылов	*гл. инженер*	*ЗАО ЦНИИМФ, Санкт-Петербург*
В.А. Сорокин	*зав. отделом*	*ЗАО ЦНИИМФ, Санкт-Петербург*
В.И. Ерофеев	*нач. отдела*	*I ЦНИИ МО РФ, Санкт-Петербург*
В.В. Альт	*директор*	*ГНУ СибФТИ, г. Новосибирск*
Ю.А. Микутенок	*президент*	*ООО НПХЦ «Миакрон-Нортон»*
Б.А. Зеленов	*директор*	*НТЦ ПМТ ФГУП ЦНИИМ, Санкт-Петербург*
А.М. Махмудов	*с.н.с.*	*ФГУП «Крыловский ГНЦ», Санкт-Петербург*

ВУЗЫ

Ю.В. Галышев	*зав. кафедрой ДВС*	*СПбГПУ, Санкт-Петербург*
Н.Д. Чайнов	*проф. кафедры Э-2*	*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва*
О.К. Безюков	*проф. кафедры ТК СДВС*	*ГУМРФ им. С.О. Макарова, Санкт-Петербург*
А.А. Иванченко	*зав. кафедрой СЭУ*	*ГУМРФ им. С.О. Макарова, Санкт-Петербург*
Л.В. Тузов	*проф. кафедры ТК СДВС*	*ГУМРФ им. С.О. Макарова, Санкт-Петербург*
А.С. Пунда	*проф. кафедры ДВС*	*ГУМРФ им. С.О. Макарова, Санкт-Петербург*
В.К. Румб	*проф. кафедры ДВС и АСЭУ*	*ГМТУ, Санкт-Петербург*
А.В. Смирнов	*нач. кафедры Д иТУ*	*ВИ(ИТ) ВА МТО, Санкт-Петербург*
В.О. Сайданов	*проф. кафедры Д иТУ*	*ВИ(ИТ) ВА МТО, Санкт-Петербург*
А.А. Обозов	*профессор кафедры ТД*	*ФГБОУ ВПО БГТУ, г. Брянск*
А.В. Разуваев	*профессор кафедры ТАМ*	*БИТТУ фил. ГОУ ВПО СГТУ г. Балаково*

Издатель журнала — ООО «ЦНИДИ-Экосервис», Санкт-Петербург.
Журнал издается при поддержке Военного института (инженерно-технического) — ВИ(ИТ) Военной академии материально-технического обеспечения (ВА МТО), Санкт-Петербург.

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата технических наук (www.vak.ed.gov.ru).
Электронные версии журнала (2005–2015 гг.) размещены на сайте «Научная электронная библиотека» (www.elibrary.ru) и включены в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Выпускающий редактор Н.А. Вольская
Редактор инф. отдела Г.В. Мельник
Ст. редактор О.Д. Камнева
Верстка — А.В. Вольский

Сдано в набор 30.10.2015
Подписано в печать 25.11.15
Формат бумаги 60 × 90 1/8

Бумага типографская.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7
Зак. 322. Тираж 700 экз.
Цена договорная

Почтовый адрес редакции журнала:
ООО «ЦНИДИ-Экосервис», 191123, Санкт-Петербург, а/я 65

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

E-mail: ecology@rdiesel.ru
www.rdiesel.ru

ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЕ

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

© Журнал «Двигателестроение». 2015. № 4 (262)

ИТОГИ И РЕШЕНИЕ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ДВС В СОСТАВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МО РФ»

17 ноября 2015 г. в Санкт-Петербурге состоялась Всероссийская научно-техническая конференция «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ». Инициаторами и организаторами конференции выступили кафедра двигателей и тепловых установок Военного института (инженерно-техничесого) Военной академии МТО (ранее Военный инженерно-технический университет — ВИТУ) и межотраслевой научно-технический и производственный журнал «Двигателестроение».

В конференции приняли участие более 30 руководителей конструкторских и технологических подразделений предприятий производителей промышленных двигателей и дизель-генераторов (представляющих более двадцати предприятий и организаций), представители органов военного управления ВС РФ, военных высших учебных заведений политехнического профиля, специалисты научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, войсковых частей и организаций МО РФ, а также других силовых ведомств, осуществляющих техническую эксплуатацию дизельных энергетических установок.

Основная цель проведения конференции была сформулирована как поиск эффективного решения проблемы коренной модернизации систем автономного и резервного энергообеспечения специальных объектов и военных городков Министерства обороны РФ.

Основу автономных систем энергоснабжения объектов военной инфраструктуры как составной части автономной малой энергетики составляют в основном дизель-энергетические установки (ДЭУ). Актуальность и своевременность проведения конференции вызвана назревшей необходимостью модернизации действующих автономных и резервных систем энергоснабжения объектов военной инфраструктуры МО, на которых используются дизель-генераторы устаревшей конструкции (в ряде случаев советского производства), давно выработавшие ресурс и срок службы. Кроме того, в связи с реализацией утвержденной Президентом Российской Федерации В.В. Путиным государственной стратегии развития Арктической зоны РФ в целях обеспечения военной безопасности и охраны государственной границы РФ в Арктике возникла острая необходимость в производстве и поставках в возрождаемые военные городки Севера автономных источников энергии на базе двигателей отечественного производства.

Решение этой проблемы осложняется тем, что несмотря на завершение подпрограммы «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 гг. дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» в составе Федеральной целевой программы (ФЦП) «Национальная технологическая база», состояние двигателестроения в России пока нельзя охарактеризовать как благополучное вследствие долговременного развития негативных явлений и факторов экономического характера и отсутствием рассчитанной на перспективу технической политики собственников приватизированных предприятий двигателестроения [1]. Опытные образцы двигателей нового поколения, созданные в процессе реализации ФЦП, проектировались (в том числе с участием инжиниринговых Европейских компаний) еще до введения странами ЕС и США экономических и секторальных санкций в отношении РФ, поэтому их комплектация предусмотрена в основном импортными компонентами, производимыми в странах ЕС и США. При этом нельзя ни при каких обстоятельствах рассматривать импортозамещение как замену американских и европейских поставщиков компонентов двигателей на китайских и корейских производителей. В силу сложившихся обстоятельств серийное производство двигателей нового поколения не может быть начато ранее 2018 г., а острая потребность в поставках новых отечественных дизель-генераторов на объекты МО сложилась уже сегодня.

В этих условиях отечественным дизелестроительным предприятиям, наряду с организацией производства двигателей нового поколения и развитием производства компонентной базы по программе импортозамещения, целесообразно развернуть комплекс НИОКР по модернизации отечественных двигателей серийного производства, далеко не исчерпавших потенциал модернизации. Реализация этого направления должна решаться с привлечением специализированных кафедр военных образовательных учреждений, что позволит одновременно решить проблему подготовки квалифицированных кадров для производителей двигателей и эксплуатирующих организаций.



Работу конференции открыл начальник ВИ(ИТ) генерал-майор С.Н. Смолинский. Во вступительном слове он поприветствовал участников и сформулировал ее основные цели и задачи.

Программой и тематикой работы конференции было предусмотрено рассмотрение следующих основных вопросов:

➢ анализ номенклатуры и технического состояния ДЭУ на действующих объектах военной инфраструктуры и проблемы их эксплуатации;

➢ основные положения стратегии развития поршневого двигателестроения в Российской Федерации, разработанной по поручению Министерства промышленности и торговли РФ Координационным советом по развитию поршневого двигателестроения в РФ;

➢ результаты разработки двигателей нового поколения, выполненные отечественными предприятиями и организация производства автономных ДЭУ на их основе (по программе импортозамещения);

➢ рассмотрение предложений по реализации программы модернизации ДЭУ на действующих и строящихся объектах военной инфраструктуры.

В соответствии с тематикой и программой работы конференции участниками были заслушаны следующие доклады.

Кафедра двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) представила развернутый анализ номенклатуры и технического состояния ДЭУ на действующих объектах военной инфраструктуры, на основании которого были определены типаж и потребность в силовых агрегатах и ДЭУ, подлежащих замене на новые двигатели отечественного производства в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Представители отечественных инжиниринговых компаний, разработчиков и производителей ДЭУ для потребителей в структурах силовых ведомств РФ (ООО ЭЦ «Президент-Нева», ОАО «Звезда-энергетика», ЗАО «НГ-Энерго») представили образцы энергетических генерирующих установок, укомплектованных двигателями отечественной конструкции и постройки. Представители отечественных заводов отрасли двига-







телестроения (ОАО «Коломенский завод», ПАО «Звезда», ПАО КамАЗ, ООО «Уральский дизельмоторный завод», ООО «ЧТЗ-Уралтрак», ОАО «Волжский дизель имени Маминых») предложили производителям ДЭУ и заказчикам в структурах МО РФ образцы серийных двигателей, в том числе двигателей нового поколения, созданных в рамках ФЦП «Национальная технологическая база».

В заключительном докладе кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) был представлен анализ технического уровня отечественных двигателей по показателям выбросов вредных веществ в атмосферу. Результаты анализа показали, что значительная часть серийной продукции отечественных заводов не соответствует требованиям новых государственных стандартов ГОСТ 31967–2012 (выбросы вредных веществ с отработавшими газами) и ГОСТ 24028–2013 (дымность отработавших газов), введенных с 01.07.2014 г. Преждевременное введение указанных стандартов значительно осложняет, а в ряде случаев исключает возможность поставки на военные объекты отечественных двигателей по программе импортозамещения, поэтому сроки их введения должны быть пересмотрены.

Тезисы докладов участников конференции представлены в специальном разделе этого выпуска журнала.

Основное содержание стратегии развития поршневого двигателестроения в Российской Федерации, разработанной по поручению Министерства промышленности и торговли РФ и представленной в распоряжение редакции журнала «Двигателестроение» Координационным советом по развитию поршневого двигателестроения в РФ, будет опубликовано в следующих выпусках журнала.



РЕШЕНИЕ
Всероссийской научно-технической конференции «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ»

РАССМОТРЕВ результаты анализа номенклатуры и технического состояния ДЭУ на действующих объектах военной инфраструктуры и предложения промышленности по модернизации этих объектов в условиях введения в отношении РФ секторальных санкций со стороны зарубежных поставщиков двигателей и их компонентов;

ВЫРАЖАЯ озабоченность недостаточными темпами повышения качества отечественных серийных двигателей и реализации программы импортозамещения на предприятиях отрасли двигателестроения при подготовке к выпуску двигателей нового поколения;

ПРИНИМАЯ ВО ВНИМАНИЕ изменение стратегии эксплуатации ДЭУ на объектах военной инфраструктуры МО РФ, которая состоит в отказе от системы аутсорсинга с передачей технической эксплуатации ДЭУ войсковым частям;

1. Конференция отмечает

1.1. В настоящее время на объектах МО РФ в диапазоне агрегатных мощностей 30–1600 кВт наибольшее распространение получили ДЭУ на базе ДВС, построенных на девяти предприятиях

бывшего СССР. Из них в составе РФ остались шесть заводов: ОАО ХК «Барнаултрансмаш», ОАО «Автодизель», ПАО «Звезда», ОАО «Коломенский завод», ОАО «Волжский дизель имени Маминых», ОАО РУМО. Три предприятия оказались за рубежом, из них: ПО «Первомайский моторный завод» и ПО «Харьковский завод им. Малышева» — на Украине; ПО «Минский моторный завод» — в Беларуси. Заводы, оставшиеся на Украине, прекратили выпуск продукции, вследствие чего двигатели старого выпуска, эксплуатирующиеся в составе ДЭУ на объектах МО РФ, оказались без технической поддержки.

1.2. Анализ номенклатуры и технического состояния ДЭУ, установленных на объектах МО РФ показывает, что большинство находящихся в эксплуатации установок агрегатной мощностью 30, 60, 100, 200, 315, 500, 630 и 1000 кВт практически выработали свой моторесурс и имеют превышение по нормативным срокам службы, поэтому необходима их постепенная плановая замена в соответствии с программой модернизации МО РФ. Наиболее актуальными являются вопросы замены ДГУ мощностью 30 кВт на базе двигателей 4Д10,8/12,7 (ЯАЗ-204) ОАО «Автодизель» (в настоящее время эти двигатели сняты с производства), ДГУ мощностью 315 кВт на базе двигателей 6ЧН25/34 Первомайского моторного завода и ДГУ мощностью 1000 кВт на базе двигателей 10ДН20,7/2×25,4 Харьковского завода. В качестве альтернативы указанным двигателям может быть рассмотрена продукция Российских предприятий ООО «ЧТЗ-Уралтрак», ПАО КамАЗ, ПАО «Звезда», ОАО «Волжский дизель имени Маминых», ОАО «Русские моторы», ОАО «Коломенский завод».

1.3. Серийная продукция отечественных дизелестроительных заводов в большинстве своем не соответствует нормам выбросов вредных веществ (ГОСТ 31967−2012) и дымности отработавших газов (ГОСТ 24028−2013), введенных с 01.07.2014 года. В соответствии с экспертной оценкой, выполненной специалистами кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ), серийные отечественные двигатели обладают достаточным потенциалом модернизации для приведения в соответствие с новыми экологическими стандартами, однако для выполнения требуемого объема модернизации необходимо время. Участники конференции считают необходимым обратиться в Федеральное агентство по техническому регулированию (Росстандарт РФ) с ходатайством о пересмотре значений и сроков введения новых технических нормативов выбросов вредных веществ промышленных дизелей.

1.4. Анализ новых проектов систем автономного энергоснабжения для объектов МО, в том числе для военных городков, расположенных в отдаленных районах и в условиях Крайнего Севера показывает, что при комплектации ДЭУ дизелями отсутствует продуманная система. В новых проектах ДЭУ используются двигатели различных фирм, в основном зарубежных, что при наличии отечественных аналогов, в значительной степени затрудняет и удорожает их техническое обслуживание и ремонт, делает практически невозможным подготовку квалифицированных кадров в системе образовательных учреждений МО РФ.

1.5. В условиях введения в отношении РФ странами ЕС и США экономических и секторальных санкций необходим пересмотр типажа двигателей, предназначенных для использования в новых проектах автономных источников энергии для потребителей в системе МО РФ с целью исключения из него двигателей зарубежного производства. Новые проекты автономных источников энергии для нужд МО РФ целесообразно подвергать обязательной технической экспертизе, осуществляемой экспертными советом, включающим специалистов по двигателям, генераторам, системам управления и программному обеспечению. Подготовку вопроса организации экспертного совета по автономным источникам энергии поручить кафедре двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ).

1.6. В целях реализации новой стратегии эксплуатации ДЭУ в системе МО РФ, состоящей в отказе от системы аутсорсинга и передаче технической эксплуатации ДЭУ войсковым частям, ВИ(ИТ) совместно с заводами-изготовителями разрабатывает ведомственные технические нормативы по эксплуатации существующей номенклатуры ДЭУ. Эти нормативы позволят обосновать новые штатные расписания эксплуатационных подразделений войсковых частей. Подготовка инженерно-технических кадров для эксплуатационных подразделений может быть организована в ВИ(ИТ), который на сегодняшний день имеет лицензию, учебно-материальную базу, научно-педагогический состав и многолетний опыт подготовки специалистов по аналогичным военно-учетным специальностям. При этом в программу модернизации автономных источников энергии МО РФ должны быть включены вопросы модернизации парка ДЭУ кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) для подготовки специалистов, владеющих вопросами эксплуатации двигателей нового поколения.

2. Конференция решила.

2.1. Программа модернизации и замены ДЭУ, установленных на объектах военной инфраструктуры, выработавших моторесурс и имеющих превышение по нормативным срокам службы (в диапазоне агрегатных мощностей 30, 60, 100,



200, 315, 500, 630 и 1000 кВт), может быть полностью реализована за счет применения на этих объектах серийных двигателей отечественного производства. Для установки на объектах МО РФ двигателей нового поколения, созданных в рамках ФЦП «Национальная технологическая база», отечественным дизелестроительным заводам необходимо в ближайшей перспективе реализовать программу импортозамещения ключевых компонентов импортного производства (топливная аппаратура, агрегаты турбонаддува, детали ЦПГ и т. д.).

2.2. В целях обеспечения реализации программы модернизации ДЭУ на объектах МО РФ оргкомитету конференции совместно с ВИ(ИТ) ВА МТО и заводами отрасли двигателестроения подготовить и направить в Росстандарт РФ от имени МО РФ аргументированное ходатайство о пересмотре сроков введения новых стандартов, регламентирующих выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов промышленных дизелей (ГОСТ 31967–2012 и ГОСТ 24028–2013), введенных с 01.07.2014 г.

2.3. Оргкомитету конференции совместно с ВИ(ИТ) ВА МТО направить в Министерство обороны РФ ходатайство о пересмотре стандартов высшего технического образования в институтах военного профиля в целях подготовки квалифицированных военных инженеров-энергетиков для эксплуатационных подразделений МО по соответствующим военно-учетным специальностям.

2.4. ВИ(ИТ) ВА МТО подготовить и направить в Министерство промышленности и торговли РФ (Минпромторг РФ) предложение о включении в состав Координационного совета Минпромторга РФ по развитию поршневых ДВС в РФ своего представителя в целях координации работы совета и потребителей продукции отрасли двигателестроения в системе МО РФ.

2.5. Оргкомитету конференции совместно с ВИ(ИТ) ВА МТО подготовить и направить в МО предложения по организации работы экспертного совета по оценке технического уровня новых проектов автономных источников энергии для объектов военной инфраструктуры на базе двигателей отечественного производства с привлечением ведущих специалистов отрасли двигателестроения.

2.6. ВИ(ИТ) ВА МТО совместно с заинтересованными организациями разработать предложения по изменению действующего типажа двигателей, предназначенных для использования в новых проектах автономных источников энергии объектов военной инфраструктуры с целью исключения из него двигателей зарубежного производства.

2.7. Научно-техническому и производственному журналу «Двигателестроение» опубликовать итоги конференции, направить ее решение и предложения участников заинтересованным организациям. Информировать руководство МО РФ, специализированные научные и проектные организации о необходимости приоритетной реализации программы импортозамещения в отрасли отечественного двигателестроения, имеющей стратегическое значение для развития экономики и укрепления обороноспособности страны.

Оргкомитет конференции

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ДВС В СОСТАВЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МО РФ»

АНАЛИЗ НОМЕНКЛАТУРЫ, ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДГУ НА ОБЪЕКТАХ ВОЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В.О. Сайданов, д.т.н. проф.,
Кафедра двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) ВА МТО



Основу резервного и автономного электроснабжения объектов военной инфраструктуры составляют дизель-генераторные установки (ДГУ).

Анализ номенклатуры действующих ДГУ показывает, что на объектах, подведомственных Департаменту эксплуатационного содержания и обеспечения коммунальными услугами воинских частей и организаций ДЭС и ОКУ МО РФ, в диапазоне агрегатных мощностей 30–1600 кВт наибольшее распространение получили ДГУ на базе промышленных дизелей, выпущенных девятью предприятиями бывшего СССР. Из них шесть осталось в составе РФ (ОАО ХК «Барнаултрансмаш», ОАО «Автодизель», ПАО «Звезда», ОАО «Коломенский завод», АО «Волжский дизель имени Маминых», ОАО РУМО) и три оказались за рубежом: ПО «Первомайский моторный завод» (Украина); ПО «Харьковский завод им. Малышева» (Украина); ПО «Минский моторный завод» (Белоруссия). Заводы, оставшиеся на Украине, прекратили выпуск продукции и установленные на объектах МО РФ дизели старого выпуска лишены технической поддержки.

Анализ сроков ввода в эксплуатацию указанных ДГУ (рис. 1) показывает, что большинство установок (примерно 70 %), за исключением агрегатов АО «Волжский дизель имени Маминых» эксплуатируются на объектах более 25 лет.

В связи с тем что, большая часть находящихся в эксплуатации ДГУ являются резервными (рис. 2), полностью выработали назначенный моторесурс (примерно 54 % установок).

Таким образом, необходима постепенная плановая их замена в соответствии с программой модернизации. При этом процесс модернизации следует проводить системно и продуманно, чтобы избежать тех ошибок, которые были допущены в 2008–2012 гг., когда на объекты военной инфраструктуры было поставлено около сотни ДГУ производства США и стран Евросоюза.

При разработке программы модернизации наиболее актуальными являются вопросы замены ДГУ на базе двигателей 4Д10,8/12,7 производства ОАО «Автодизель» (мощность 30 кВт), ДГУ на базе двигателей 6ЧН25/34 Первомайского моторного завода (мощность 315 кВт) и ДГУ на базе двигателей 10ДН20,7/2×25,4 Харьковского завода им. Малышева (мощность 1000 кВт).

ДГУ на базе двигателей 4Д10,8/12,7 (ЯАЗ-204М) сегодня эксплуатируются во всех военных округах,

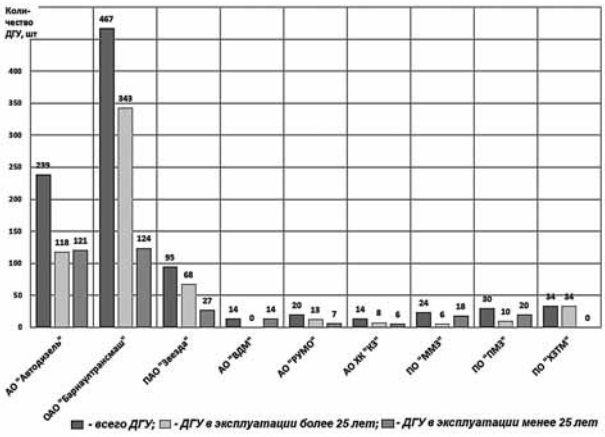


Рис. 1. Распределение действующих дизель-генераторных установок по срокам ввода в эксплуатацию

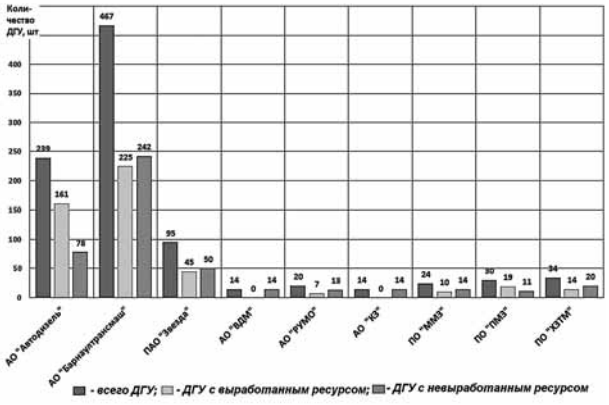


Рис. 2. Распределение дизель-генераторных установок по выработанному моторесурсу

главным образом в качестве резервных источников энергии, при этом треть из них являются передвижными. Пик ввода в эксплуатацию установок с двигателями этого типа приходится на 1980–1990 гг. Двигатели имеют весьма посредственные тактико-технические показатели и небольшой моторесурс, поэтому более 75 % установок назначенный ресурс уже полностью выработали. Двигатели ЯАЗ-204М давно сняты с производства, что затрудняет их техническую поддержку. Таким образом, дальнейшая эксплуатация ДЭУ с двигателями ЯАЗ-204М признана нецелесообразной и требуется их замена на более современные двигатели с лучшими тактико-техническими показателями. В качестве альтернативы двигателям 4Д10,8/12,7 рассматриваются новые двигатели серии «Т» (4Ч13/15) производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак» (г. Челябинск), двигатели воздушного охлаждения 4ЧН10,5/12 производства ОАО «Владимирский тракторный завод» (г. Владимир), а также двигатели 4Ч13/14 производства ОАО «Алтайский моторный завод» (г. Барнаул).

ДГУ мощностью 315 кВт на базе среднеоборотных двигателей 6ЧН25/34 Первомайского моторного завода (Украина) эксплуатируются в составе базовых электростанций гарнизонов Восточного военного округа, включая Сахалинскую область. Среднеоборотные двигатели имеют высокую надежность и достаточно хорошие тактико-технические характеристики, поэтому хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации. Последняя партия ДГУ с двигателями 6ЧН25/34 была поставлена на объекты в 2010 г. Анализ наработки ДГУ с двигателями 6ЧН25/34 показывает, что на сегодняшний день полностью выработали назначенный моторесурс примерно 60 % установок. Перспективы технической поддержки оставшихся 40 % ДГУ весьма неопределенные, поэтому в соответствии с программой импортозамещения необходима замена украинских двигателей на отечественные с аналогичной мощностью и моторесурсом.

В качестве альтернативы двигателям 6ЧН25/34 могут быть рассмотрены среднеоборотные двигатели 6ЧН21/21 мощностью 425 кВт производства ОАО ВДМ (г. Балаково) или высокооборотные 12ЧН14/14 (ТМЗ-8525.10) производства ОАО «Тутаевский моторный завод» (г. Тутаево, Ярославской обл.)

ДГУ на базе двигателей 10ДН20,7/2×25,4 мощностью 1000 кВт эксплуатируются в составе стационарных резервных электростанций гарнизонов Западного военного округа. Большая их часть введена в эксплуатацию в 1960–1980 гг. Нормативные сроки службы и моторесурс двигателей 10ДН20,7/2×25,4 превышены. Двигатели морально устарели, имеют низкие тактико-технические показатели и сняты с производства, поэтому дальнейшая эксплуатация их не целесообразна. В качестве альтернативы двигателям 10ДН20,7/2×25,4 могут быть рассмотрены высокооборотные двигатели 8ЧН21/21 ООО УДМЗ (г. Екатеринбург) или среднеоборотные 8ЧН26/26 ОАО «Коломенский Завод».

В настоящее время в МО РФ происходит изменение стратегии технической эксплуатации ДГУ. До 2009 г. техническую эксплуатацию осуществляли штатные структуры МО. Инженерные кадры для них готовились в военных образовательных университетах, в том числе в ВИТУ в составе которого с 1952 по 2011 г. находилась самостоятельная военная кафедра «Дизельных энергетических установок» (ДЭУ). С 2009 г. все ДГУ были переведены на аутсорсинг и до настоящего времени их техническую эксплуатации осуществляют подразделения ОАО «Оборонэнерго» — субхолдинга ОАО «Оборонсервис». При этом в 2011 г. кафедра ДЭУ института как самостоятельное подразделение была ликвидирована, большинство молодых преподавателей уволено из рядов ВС. Шестилетний опыт эксплуатации ДГУ силами ОАО «Оборонсервис» показал, что от перевода эксплуатации ДЭС на аутсорсинг МО РФ не только не получило существенной экономии, а наоборот, расходы, даже с учетом сокращения должностей военнослужащих, только возросли. Поэтому в мае 2015 г. руководством МО было принято решение об исключении из Государственного контракта обслуживание ДГУ силами ОАО «Оборонэнерго» с последующей передачей их на обслуживание штатным подразделениям войсковых частей.

Сегодня ВИ(ИТ) ВА МТО по заданию Департамента эксплуатационного содержания и обеспечения коммунальными услугами ВС РФ разрабатывает ведомственные технические нормативы (ВТН) эксплуатации существующих ДГУ, на основании которых будут сформированы штатные расписания эксплуатационных подразделений войсковых частей.

Подготовка инженерно-технических кадров для эксплуатации ДГУ в войсковых частях может быть возобновлена в нашем институте, который имеет многолетний опыт подготовки специалистов необходимого профиля. При этом необходима модернизация учебно-материальной базы кафедры, оборудование моторных лабораторий новыми современными ДГУ, чтобы готовить специалистов практическим навыкам работы на тех установках, которые будут установлены на объектах военной инфраструктуры. Целесообразно также рассмотреть вопрос о воссоздания самостоятельной военной кафедры ДЭУ.

УДК 621.431

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЭУ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МО РФ НА ОАО «ВОЛЖСКИЙ ДИЗЕЛЬ ИМЕНИ МАМИНЫХ» И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЧАСТИЮ В ПРОГРАММЕ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Д.В. Попов, зам. ген. директора
ОАО «Волжский дизель имени Маминых»



ОАО «Волжский дизель имени Маминых» (далее ОАО ВДМ) — одно из ведущих дизелестроительных предприятий России. Оно было основано балаковскими инженерами Яковом и Иваном Мамиными в 1899 г. как «Чугунолитейный механический завод братьев Якова и Ивана Маминых», а в 1903 г. переименовано в «Специальный завод нефтяных двигателей».

Продукцию завода им. Дзержинского и завода «Волгодизельмаш» (это исторические названия ОАО ВДМ в советский период) можно встретить в Восточной и Западной Европе, на Ближнем востоке и в Африке. В тяжелые для России 90-е годы завод сохранил свой производственный потенциал, квалифицированные рабочие кадры, конструкторскую школу и в настоящее время является стабильно действующим предприятием отечественной машиностроительной отрасли.

Предприятие выпускает дизельные и газопоршневые двигатели размерности ЧН21/21 и ЧН21/26, а также достаточно широкий спектр агрегатов на их основе мощностью от 350 до 1000 кВт. Основная специализация предприятия — производство энергоустановок суммарной мощностью до 10 МВт на базе собственных и заимствованных дизельных, газопоршневых и газо-дизельных двигателей.

Завод обладает собственным литейным производством, широким станочным парком, современными установками термической обработки деталей. Производственные площади завода составляют 88,6 тыс. кв. м. Потенциал собственного конструкторского бюро позволяет решать все научно-технические и практические прикладные задачи производства.

Система качества предприятия сертифицирована по ISO 9001, завод имеет признание Российского морского регистра судоходства и Российского речного регистра, лицензию ФСБ. За предприятием закреплено военное представительство Министерства обороны РФ — для организации контроля качества и приемки работ в рамках государственных контрактов для нужд МО РФ и других государственных заказчиков.

В связи с применением в отношении Российской Федерации экономических санкций со стороны Евросоюза и США, ограничивающих доступ к высокотехнологичным компонентам



Сборка двигателей на ОАО ВДМ



Чугунные литые блоки цилиндров производства ОАО ВДМ

зарубежного производства, ОАО ВДМ активно и достаточно успешно разворачивает работы по импортозамещению. Что касается производства промышленных дизель-электрических энергоустановок, стратегическим направлением стало продвижение и максимальное использование в силовых агрегатах базовых двигателей собственного производства, дизелей и газовых двигателей других отечественных производителей.

Одной из важнейших проблем завода как следствие плановой социалистической экономики является ограниченный по мощности и размерности типаж выпускаемых двигателей, что предполагает достаточно узкое адресное их применение.

Ведущие зарубежные производители изначально были ориентированы на «захват» максимального сектора рынка и развивали выпуск широкого спектра продукции. Успешные зарубежные фирмы (MAN, «Wartsila» и др.) выпускают двигатели различной размерности в диапазоне мощностей от нескольких десятков до нескольких тысяч кВт, образующих типоразмерные ряды, в которых объединены унифицированные по конструкции модификации двигателей (до нескольких десятков), отличающиеся числом цилиндров, частотой вращения, уровнем форсирования, комплектацией и др. Это позволяет им, в отличие от Российских компаний, существенно расширить номенклатуру модификаций и типаж двигателей, поднять их количественный выпуск, ускорить процесс разработки новых моделей для использования на любом промышленном или транспортном объекте.

К этой проблеме добавляется проблема недобросовестной конкуренции на рынке со стороны организаций-посредников, которые, не отягощаясь производственными, кадровыми, научными, социальными и прочими проблемами, активно навязывают зачастую сомнительную продукцию. В свете развития программы импортозамещения появилась категория «псевдо-производителей», занятых демонтажем «шильдиков» на импортном оборудовании и приклепыванием новых с надписью «Сделано в России».

Отечественной дизельной отрасли необходима значительно более фундаментальная помощь государства, которая за последние два десятилетия была оказана только однажды при реализации подпрограммы «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011– 2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» в составе Федеральной целевой программы (ФЦП) «Национальная технологическая база». В настоящее время целесообразно инициировать следующий этап программы, направленный на поддержку организации производства двигателей нового поколения. У многих дизелестроительных предприятий есть разработки новых типов двигателей, которые могут конкурировать с зарубежными аналогами, однако для реализации этих проектов не хватает своих финансовых возможностей. В этих непростых условиях ОАО «Волжский дизель им. Маминых» достаточно успешно функционирует и пытается развиваться, ищет новых партнеров и новые рынки сбыта.

Предприятие уже сегодня готово взять на себя организацию временного энергоснабжения различных объектов МО мобильными энергокомплексами на основе двигателей отечественного производства и их обслуживание высококвалифицированными специалистами, в том числе:

- изготовить, поставить и сдать заказчику дизельную (или газопоршневую) энергоустановку любой суммарной мощности как для постоянной генерации, так и для аварийного энергоснабжения;
- обеспечить качественное гарантийное и сервисное обслуживание оборудования.
- оборудовать дизельные энергетические установки производства ОАО ВДМ системой утилизации тепла отработавших газов.
- обеспечить при монтаже оборудования возможность, если необходимо, переноса энергокомплекса в кратчайшие сроки на новую площадку.

В свете программы импортозамещения специалистами завода проведены проработки, подготовлены технические спецификации и направлены в проектно-конструкторские бюро и судостроительные заводы технико-коммерческие предложения на поставку главных и вспомогательных двигателей для различных проектов кораблей, катеров и судов, проектируемых и строящихся в интересах ВМФ, других силовых ведомств и государственных компаний. Кроме этого, целенаправленно разработан широкий перечень силовых агрегатов для замены установленных двигателей зарубежных производителей, выработавших свой ресурс. Все предлагаемые агрегаты выпускаются по утвержденным Техническим условиям, что является гарантией получения заказчиком той продукции, которая ему необходима.

УДК 621.431

ДГУ ПРОИЗВОДСТВА ПАО «ЗВЕЗДА» НА БАЗЕ СЕРИЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА 12ЧН18/20 И ДВИГАТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ 12ЧН15/17,5

М.С. Усов, А.О. Архипов, С.В. Хильченко
ПАО «Звезда»



Завод «Звезда» основан в 1932 г. на базе машиностроительного отдела завода «Большевик». В настоящее время ПАО «Звезда» является ведущим предприятием по разработке и производству дизельных двигателей, а также дизель-генераторов различного назначения и автоматизированных дизельных электростанций на их базе.

Появление новых разработок в сфере микропроцессорных систем дало возможность проводить модернизацию серийной продукции, разработку новых проектов как в части управления, так и в конструкции дизелей и дизель-генераторных установок. Изменения, внесенные в базовую конструкцию двигателей типа 12ЧН18/20, позволили создать дизели М656 и М657 с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

В последнее время на ПАО «Звезда» реализовано два крупных проекта в области дизельных электростанций:

- установка КАС-500В1 для МО РФ (рис. 1);
- установка КАС-500Б для ОАО «Росэнергоатом».

ДЭА КАС-500В1 — комплектная автономная дизельная электростанция на базе дизеля М656 с микропроцессорным блоком управления, встроенным в щит управления электростанцией комбинированный (ЩУЭСК-В1), предназначенная для использования в качестве резервного или аварийного источника электропитания. ДЭА КАС-500В1 поставляется как агрегатированный дизельный электроагрегат со всем необходимым для обеспечения его автономной работы оборудованием. Мощность ДЭА КАС-500В1 составляет 500 кВт, выходное номинальное напряжение 400 В переменного трехфазного тока частотой 50 Гц.

ДЭА КАС-500В1 позволяет обеспечить автоматическое управление переключениями в цепях главного тока; автоматическое определение условий программного пуска, пуск и вывод под нагрузку с автоматическим определением условий синхронизации; автоматическую точную синхронизацию с подгонкой напряжения генератора; параллельную работу с сетью; работу по статической характеристике при работе с другими ДГУ; автоматическое распределение нагрузок; все необходимые защиты дизеля и генератора.

С 2011 г. ПАО «Звезда» ведет разработку нового семейства дизельных двигателей М150 (12ЧН15/17,5). Новое семейство дизельных двигателей М150 предназначено для различных сфер применения, в том числе для создания дизель-генераторных установок постоянного электроснабжения мощностью 630, 800 и 1000 кВт.

По состоянию на текущий момент, в числе прочих, создан комплект конструкторской документации на базовый образец двигателя М150Г1 для ДГУ мощностью 1000 кВт, изготовлен ряд опытных образцов базовых двигателей, проводятся их испытания. Завершение доводочных работ по базовым моделям двигателей и постановка их на серийное производство намечена на 2018 г.

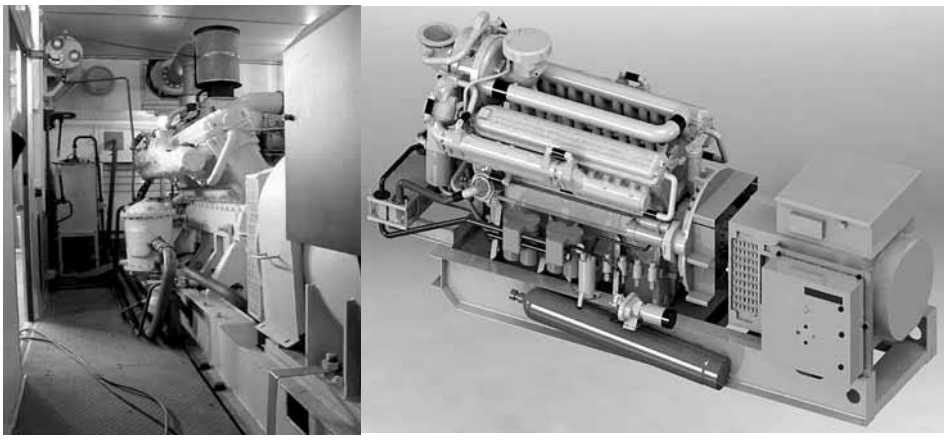


Рис. 1. Дизельная электростанция ДЭА КАС-500В1

В качестве базового двигателя нового семейства был принят 12-цилиндровый V-образный дизельный двигатель с углом развала блоков цилиндров 90°, диаметром цилиндра 150 мм и ходом поршня 175 мм.

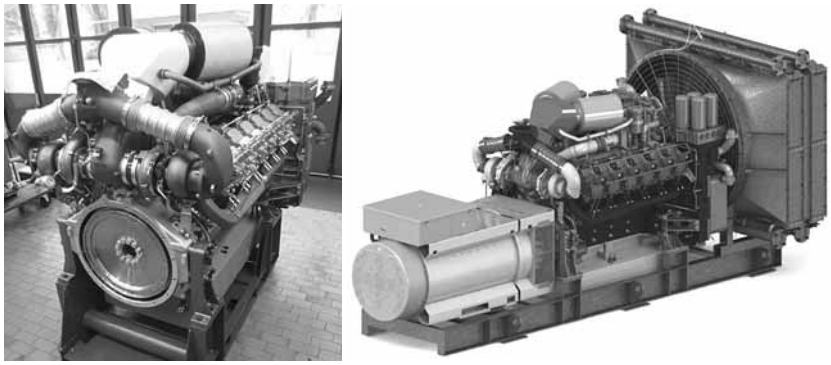


Рис. 2. Дизельная электростанция на базе двигателя нового поколения М150

Компоновка двигателя V12M150Г — модульного принципа — строится на базе чугунного блок-картера со среднеопорными гильзами и индивидуальными рубашками охлаждения. Главный отбор мощности выполнен в размере SAE № 0 по фланцу корпуса маховика и SAE № 18 — по фланцу маховика, что обеспечивает стыковку с любыми современными генераторами отечественного производства. Двигатель полностью агрегатирован. На двигатель устанавливаются топливные, масляные и воздушные фильтры, масляный теплообменник, генератор собственных нужд и прочие агрегаты, необходимые для его работы. В двигателе применяется одноступенчатая система турбонаддува с охлаждением наддувочного воздуха. Электронно-управляемый впрыск топлива под высоким давлением с аккумулятором давления типа common rail позволяет максимально сократить расход топлива, снизить уровень шума при сгорании. Двигатель оснащается встроенной микропроцессорной системой управления, контролирующей процессы топливоподачи, основные показатели систем двигателя с выдачей предупреждающих сигналов о нарушении работы. Двигатели V12M150Г спроектированы с учетом использования ГСМ отечественного производства, включенных в Ограничительный Перечень МО РФ.

ДЭА на базе двигателей V12M150Г могут комплектоваться генераторами ГС-630-Б1 (630 кВт), ГС-800-Б (800 кВт) и ГС-1000-Б (1000 кВт) производства ОАО «Электроагрегат»; ГСБ-630-1500 ОМ4 (630 кВт), ГСБ-1000-1500 У2 (1000 кВт) производства ОАО «Электросила»; перспективными генераторами мощностью 800 и 1000 кВт производства ОАО «Баранчинский электромеханический завод».

На двигатели V12M150Г может устанавливаться следующее опциональное оборудование: самоочищающийся масляный фильтр, электрический подогреватель масла, насос предварительной прокачки масла, динамический датчик уровня масла, теплоизоляция выпускного тракта, пневматический стартер, электрический подогреватель топлива, устройство электрофакельного подогрева воздуха на впуске, расширенная комплектация датчиков аварийно-предупредительной системы.

УДК 621.431

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭНЕРГООБЪЕКТЫ ОАО «ЗВЕЗДА-ЭНЕРГЕТИКА» НА БАЗЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (ДЭУ) ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МО РФ, СОЗДАННЫЕ ПО ПРОГРАММЕ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

А.В. Левкович, тех. руководитель проектов ОАО «Звезда-Энергетика» (Санкт-Петербург)



За 15 лет своего существования ОАО «Звезда-Энергетика» накопило богатый опыт в разработке, изготовлении и строительстве энергообъектов «под ключ» и энергооборудования различных видов сложности. Всего произведено более 2200 высокотехнологичных модульных единиц, работающих во всех климатических зонах нашей страны и ближнего зарубежья при температурах воздуха от −60 до +40 °С. Энергетическое оборудование работает на различных видах топлива, как газообразного (природный газ, биогаз, шахтный метан), так и жидкого (дизельное топливо, мазут, сырая нефть). Одним из основных преимуществ компании является комплексная автоматизация и диспетчеризация процесса выработки, распределения и учета потребления электрической и тепловой энергии, объединенная с системами безопасности и контроля технического состояния оборудования. Для потребителей, осуществляющих эксплуатацию технически сложных энергетических объектов своими силами, в компании создан и успешно работает учебный центр. Развитая сеть сервисных центров позволяет

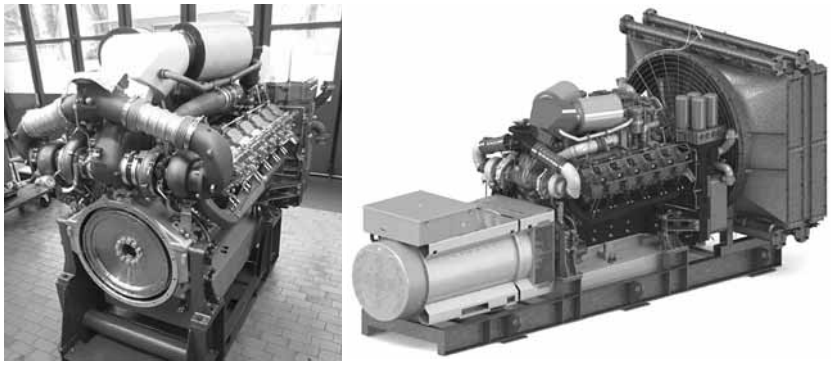


Рис. 2. Дизельная электростанция на базе двигателя нового поколения М150

Компоновка двигателя V12M150Г — модульного принципа — строится на базе чугунного блок-картера со среднеопорными гильзами и индивидуальными рубашками охлаждения. Главный отбор мощности выполнен в размере SAE № 0 по фланцу корпуса маховика и SAE № 18 — по фланцу маховика, что обеспечивает стыковку с любыми современными генераторами отечественного производства. Двигатель полностью агрегатирован. На двигатель устанавливаются топливные, масляные и воздушные фильтры, масляный теплообменник, генератор собственных нужд и прочие агрегаты, необходимые для его работы. В двигателе применяется одноступенчатая система турбонаддува с охлаждением наддувочного воздуха. Электронно-управляемый впрыск топлива под высоким давлением с аккумулятором давления типа common rail позволяет максимально сократить расход топлива, снизить уровень шума при сгорании. Двигатель оснащается встроенной микропроцессорной системой управления, контролирующей процессы топливоподачи, основные показатели систем двигателя с выдачей предупреждающих сигналов о нарушении работы. Двигатели V12M150Г спроектированы с учетом использования ГСМ отечественного производства, включенных в Ограничительный Перечень МО РФ.

ДЭА на базе двигателей V12M150Г могут комплектоваться генераторами ГС-630-Б1 (630 кВт), ГС-800-Б (800 кВт) и ГС-1000-Б (1000 кВт) производства ОАО «Электроагрегат»; ГСБ-630-1500 ОМ4 (630 кВт), ГСБ-1000-1500 У2 (1000 кВт) производства ОАО «Электросила»; перспективными генераторами мощностью 800 и 1000 кВт производства ОАО «Баранчинский электромеханический завод».

На двигатели V12M150Г может устанавливаться следующее опциональное оборудование: самоочищающийся масляный фильтр, электрический подогреватель масла, насос предварительной прокачки масла, динамический датчик уровня масла, теплоизоляция выпускного тракта, пневматический стартер, электрический подогреватель топлива, устройство электрофакельного подогрева воздуха на впуске, расширенная комплектация датчиков аварийно-предупредительной системы.

УДК 621.431

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭНЕРГООБЪЕКТЫ ОАО «ЗВЕЗДА-ЭНЕРГЕТИКА» НА БАЗЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (ДЭУ) ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МО РФ, СОЗДАННЫЕ ПО ПРОГРАММЕ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

А.В. Левкович, тех. руководитель проектов ОАО «Звезда-Энергетика» (Санкт-Петербург)



За 15 лет своего существования ОАО «Звезда-Энергетика» накопило богатый опыт в разработке, изготовлении и строительстве энергообъектов «под ключ» и энергооборудования различных видов сложности. Всего произведено более 2200 высокотехнологичных модульных единиц, работающих во всех климатических зонах нашей страны и ближнего зарубежья при температурах воздуха от −60 до +40 °С. Энергетическое оборудование работает на различных видах топлива, как газообразного (природный газ, биогаз, шахтный метан), так и жидкого (дизельное топливо, мазут, сырая нефть). Одним из основных преимуществ компании является комплексная автоматизация и диспетчеризация процесса выработки, распределения и учета потребления электрической и тепловой энергии, объединенная с системами безопасности и контроля технического состояния оборудования. Для потребителей, осуществляющих эксплуатацию технически сложных энергетических объектов своими силами, в компании создан и успешно работает учебный центр. Развитая сеть сервисных центров позволяет

обеспечить техническую поддержку энергетического оборудования, бесперебойное снабжение расходными материалами и запчастями. Подобный подход в реализации задач энергообеспечения называется «под ключ». Один из объектов, реализованных «под ключ», представлен на рис. 1. Это теплоэлектростанция в г. Салехарде, где под «единой крышей» в быстромонтируемых цельнометаллических модулях полной заводской готовности располагается теплоэлектростанция с генераторами, котлами, ЗРУ, АБК, всеми инженерными системами и системами жизнеобеспечения. Все системы управляются с единого автоматизированного рабочего места, что обеспечивает одновременную выдачу нескольких видов напряжения различных категорий надежности, разных частот и нескольких режимов тепло- и водоснабжения.

На рис. 2 представлена дизельная теплоэлектростанция установленной электрической мощностью 2,5 МВт для обеспечения тепловой и электрической энергией строящегося объекта



Рис. 1. Теплоэлектростанция в г. Салехарде



Рис. 2. Дизельная теплоэлектростанция мощностью 2,5 МВт

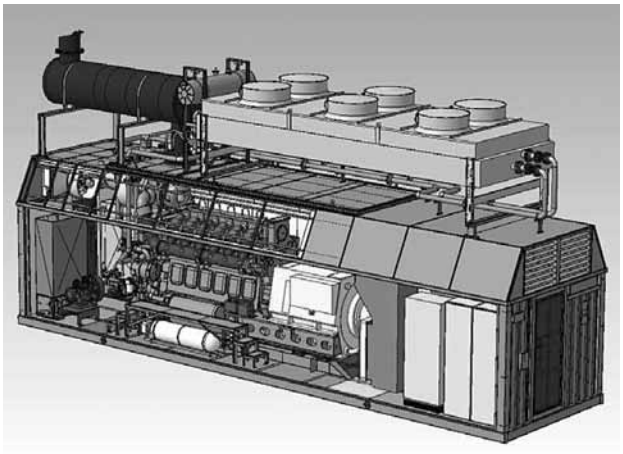


Рис. 3. Дизельная электростанция на базе ДГУ Коломенского завода

в арктической зоне Красноярского края. Представленная теплоэлектростанция является основным источником тепловой и электрической энергии и состоит из пяти основных модулей ДЭС «Звезда-500НК-45М3» контейнерного исполнения с утилизацией тепла. В качестве основного генерирующего оборудования использованы дизель-генераторы 6ДМ-21Л производства ООО «Уральский дизель-моторный завод». На случай исчезновения напряжения предусмотрены резервные модули ДЭС мощностью 100 и 315 кВт контейнерного исполнения для электропитания наиболее важных потребителей на объекте. Кроме того, в объеме поставки теплоэлектростанции предусмотрена пиковая котельная тепловой мощностью 1,6 МВт.

Для объектов МО РФ именно такой подход позволит создавать энергетические объекты для различных потребителей: жилых городов, РЛС, аэродромов и т. д., включая спецсооружения с минимальными сроками проектирования и строительства.

В качестве примера разработки электростанции с применением отечественного генерирующего оборудования можно привести проект электростанции мощностью 1100 и 1650 кВт на базе электроагрегатов 7ГДГ и 8ГДГ производства ОАО «Коломенский завод». На рис. 3 представлена трехмерная модель этой электростанции.

Таким образом, АО «Звезда-Энергетика», используя накопленный опыт разработки, поставки и введения в эксплуатацию современных электростанций на базе отечественного генерирующего оборудования, готова принять активное участие в модернизации и импортозамещении энергетических объектов Министерства Обороны РФ.

УДК 621.431

СЕМЕЙСТВО ДВИГАТЕЛЕЙ ДМ-21 И ДМ-185 НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ВОЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А.С. Рудковский, начальник управления продаж дизельной продукции ОАО «Синара-Транспортные Машины» (Екатеринбург)

Компания «Синара-Транспортные Машины» (СТМ) — машиностроительный холдинг, объединяющий научно-технический и производственный потенциал российских предприятий в области дизелестроения, локомотивостроения, инжиниринга и сервисного обслуживания. Дизелестроительный актив компании — ООО «Уральский дизель-моторный завод» расположен в Екатеринбурге. Ежегодный выпуск продукции предприятия — около 100 дизелей и дизель-генераторов различной номенклатуры и модификаций. Завод сертифицирован на соответствие стандартам Международной системы менеджмента качества ИСО 9001, имеет сертификат Военного регистра. Численность персонала предприятия — порядка 700 человек.

В настоящее время ООО УДМЗ специализируется на разработке и производстве дизельных двигателей и дизель-генераторов на базовой платформе ДМ-21 мощностью от 500 до 1600 кВт для нужд Военно-Морского флота РФ, транспортного машиностроения и малой энергетики.

Ключевые рынки сбыта Уральского дизель-моторного завода:

- ➢ судостроение морского назначения (изготовлено свыше 50 судовых дизель-генераторов для Военно-морского флота РФ);
- ➢ локомотивостроение (дизели и дизель-генераторы для магистральных и маневровых тепловозов);
- ➢ малая энергетика (резервные и аварийные источники питания для различных объектов);
- ➢ оборонно-промышленный комплекс (более 30 двигателей для ПВО и РВСН).

Уральский дизель-моторный завод имеет опыт поставки дизель-генераторов для надводных кораблей Военно-Морского флота РФ и неатомных ПЛ. Технические характеристики, показатели надежности и ресурса дизель-генераторов АДГ-630 (6ЧН21/21), АДГ-1000 (8ЧН21/21) в полной мере соответствуют требованиям Министерства Обороны РФ к силовым установкам для кораблей ВМФ РФ. Типаж судовых автоматизированных дизель-генераторов УДМЗ соответствует требованиям, предъявляемым к энергетическим установкам на живучесть в экстремальных условиях. Глубина проработок технических заданий судовых дизель-генераторов УДМЗ позволяет использовать силовые установки в разных проектах без доработки либо с минимальными изменениями. Показатели надежности и ресурса судовых дизель-генераторов УДМЗ не уступают зарубежным аналогам, в то время как стоимость полного жизненного цикла значительно меньше.



2010 год стал прорывным для компании в плане инноваций. Было подписано стратегическое соглашение с ведущей инжиниринговой компанией AVL List (Австрия) о модернизации дизельного двигателя ДМ-21.

В 2012 г., в рамках Федеральной целевой программы «Национальная технологическая база», завод подписал Госконтракт с Министерством промышленности и торговли РФ на разработку нового семейства дизельных двигателей ДМ-185 судового и промышленного назначения мощностью от 1000 до 3000 кВт. К разработке дизельных двигателей нового поколения были привлечены как международные инжиниринговые компании, так и российские центры академической и прикладной науки в области дизелестроения. При разработке двигателей учтен положительный опыт разработок мировых лидеров в двигателестроении, таких как «Caterpillar», «Cummins», MTU и других. Ключевым партнером

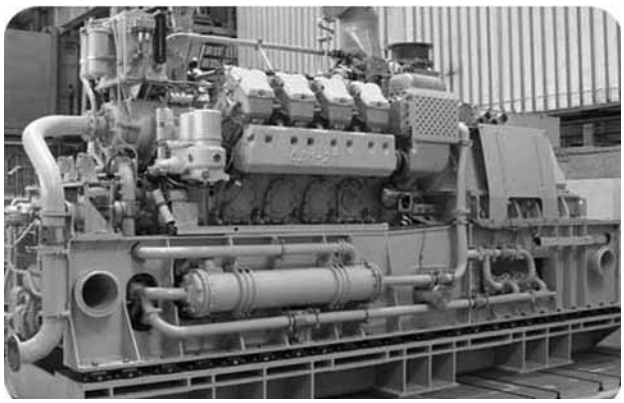


Рис. 1. Автоматизированный дизель-генератор АДГ-1000 (8ЧН21/21)

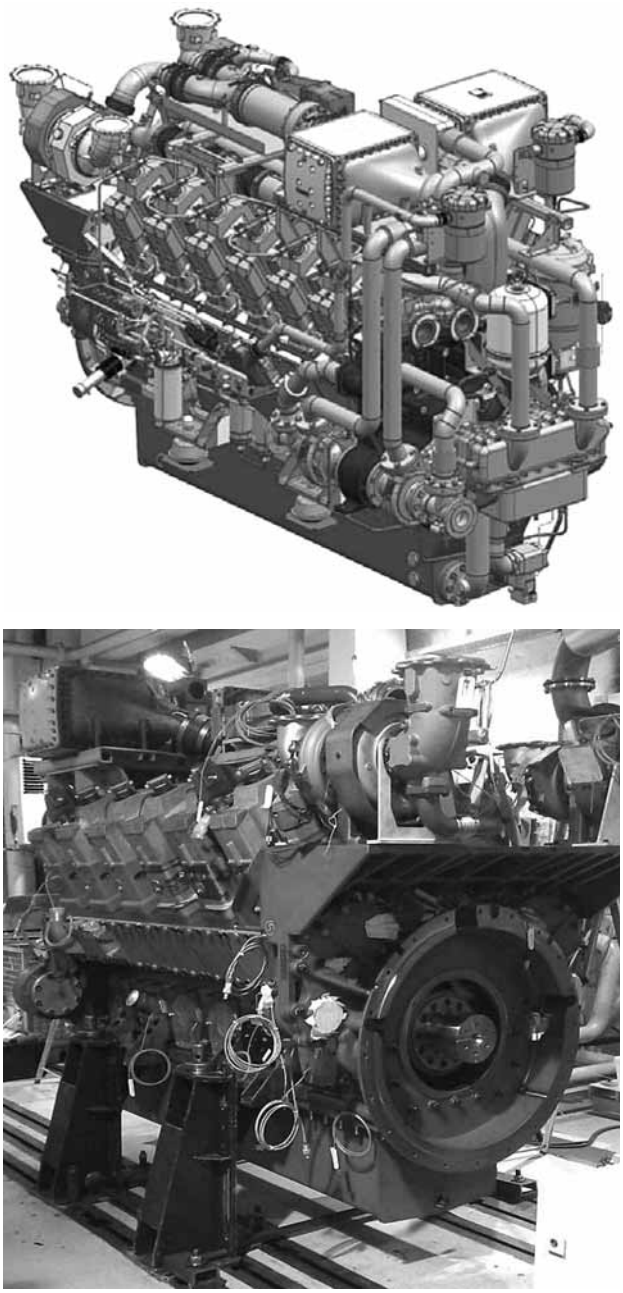


Рис. 2. Дизельный двигатель ДМ-185(12ЧН 18,5/21) мощностью 1900 кВт

проекта выступает инжиниринговая компания FEV Gmbh (Германия).

На сегодняшний день в рамках проекта разрабатываются новые V-образные 12-, 16- и 20-цилиндровые четырехтактные дизельные двигатели для дизель-генераторов и пропульсивных комплексов морских судов и кораблей Военно-Морского Флота. Разработки не имеют аналогов в Российской Федерации.

Дизельные двигатели нового семейства ДМ-185 будут представлены в ДГУ следующего типоразмерного ряда:

- АДГ-1500 и АДГ-2000 на базе двигателя 12ДМ-185;
- АДГ-2500 на базе двигателя 16ДМ-185С;
- АДГ-3200 на базе двигателя 20ДМ-185С.

Серийное производство нового семейства дизельных двигателей предполагается начать с 2017 г.

При постановке на производство нового семейства дизельных двигателей ДМ-185 ОАО СТМ реализует ряд решений в области импортозамещения оборудования, комплектующих узлов и агрегатов конечного продукта. С этой целью УДМЗ в 2014 г. принята «Программа импортозамещения и локализации комплектующих при производстве двигателей ДМ-21 и ДМ-185». Проводится работа по поиску российских поставщиков ключевых компонентов двигателя: турбокомпрессоров, топливной аппаратуры, поршневой группы, коленвала, головки цилиндров и других. В результате реализации программы импортозамещения локализация производства компонентов двигателей составит не менее 80 %.

В рамках проекта по созданию и развитию нового семейства дизельных двигателей ДМ-185, в целях обеспечения качества продукции, проводится модернизация и переоснащение производственно-технологического комплекса УДМЗ; планируемый объем инвестиций составит порядка 2,0 млрд рублей. Фактически на Урале создается новое конкурентоспособное производство отечественного двигателестроения.

Для обеспечения качественного сервисного обслуживания продукции УДМЗ разработана программа постпродажного сопровождения дизельных двигателей и дизель-генераторов на всех стадиях жизненного цикла. Сервисное обслуживание предполагает полный шеф-монтаж, технические консультации и обслуживание, обучение сервисного персонала заказчика, выезд сервисных бригад к месту проведения ремонта, организацию складов фирменных запасных частей в местах дислокации кораблей ВМФ, организацию полноценных сервисных центров.

Сегодня Уральский дизель-моторный завод обладает широким потенциалом к развитию и в ближайшей перспективе будет готов обеспечить все потребности Министерства Обороны РФ в оснащении ОПК современной инновационной продукцией уровня не ниже мировых аналогов.

УДК 621.431

ЭЛЕКТРОАГРЕГАТЫ И ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПАО «КАМАЗ»

В.В. Глазистов, нач. констр.-технологического отдела энергосиловых установок
Завод двигателей ПАО «КамАЗ» (г. Набережные Челны)

Электроагрегаты на базе серийных двигателей ПАО «КамАЗ»

Завод двигателей ПАО «КамАЗ» в настоящее время производит самостоятельно и с помощью официального партнера — ООО «Кама-Энергетика» — электроагрегаты и электростанции в диапазоне номинальных мощностей 60–200 кВт. Электроагрегаты ПАО «КамАЗ» предназначены для использования в качестве автономных источников электроэнергии и обеспечивают различных потребителей в различных климатических зонах с диапазоном температур окружающей среды от −50 до +50 °С переменным трехфазным током напряжением 400 В частотой 50 Гц.

Перечень выпускаемой продукции включает следующие позиции.

Электроагрегаты дизельные различных модификаций мощностью от 100 до 200 кВт:

АД 100С-Т400-1Р на базе двигателя 740.19-200;

АД 150С-Т400-1Р на базе двигателя 740.58-300;

АД 200С-Т400-1Р на базе двигателя 740.39-380.

Электроагрегаты газопоршневые, работающие на природном газе мощностью от 60 до 100 кВт:

АП 60С-Т400-1Р на базе двигателя 820.01-115;

АП 100С-Т400-1Р на базе двигателя 820.20-200.

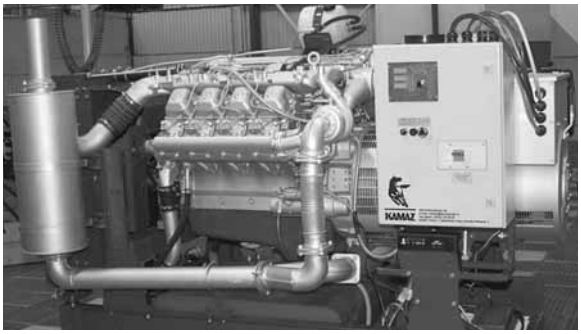


Рис. 1. Электроагрегат дизельный АД 150С-Т400-1Р



Рис. 2. Электроагрегат газопоршневой АП 100С-Т400-1Р



Электоагрегатами ПАО «КамАЗ» комплектуются электростанции в блок-контейнерах, электростанции передвижные на автомобильном шасси КамАЗ, электростанции передвижные на шасси прицепов.

В номенклатуре спецтехники на шасси автомобилей КамАЗ имеется группа специализированных автомобилей, а именно передвижные ремонтно-сварочные мастерские и передвижные комплексы сварочных работ (ПКСР-М), которые ранее комплектовались электроагрегатами на базе двигателей ЯМЗ. Специально под эту задачу на заводе двигателей был разработан электроагрегат мощностью 100 кВт с возможностью его поперечного расположения в кузове спецавтомобиля.



Рис. 3. Электроагрегат АД 200 в контейнерном исполнении типа «Север»

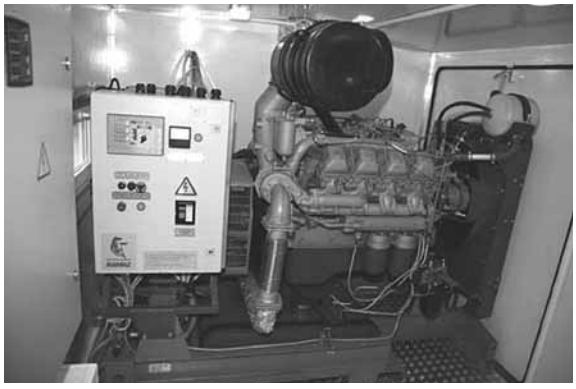


Рис. 4. Передвижной комплекс сварочных работ (ПКСР-М) на шасси спецавтомобиля КамАЗ с электроагрегатом мощностью 100 кВт

Дизельные и газовые двигатели ПАО «КамАЗ» нового поколения

Одним из перспективных направлений, по которому в настоящее время активно ведутся работы на заводе двигателей ПАО «КамАЗ», является освоение производства перспективных шестицилиндровых рядных двигателей рабочим объемом 12 л для применения на автомобильной технике КамАЗ нового поколения:

➢ семейство дизельных двигателей 910.10 мощностью 380–550 л. с. с возможностью форсировки до 700 л. с.;

➢ семейство газовых двигателей 950.10 мощностью 300–450 л. с.

Шестицилиндровые рядные двигатели соответствуют экологическому классу 5 с перспективой достижения уровня Евро-6 без существенных изменений конструкции двигателей.

Комплексный автоматизированный модуль газовой теплоэлектростанции

Комплексный автоматизированный модуль теплоэлектростанции в контейнере — КамТЭС 100-1К на базе газопоршневого электроагрегата АП100С-Т400-1Р с двигателем КамАЗ 820.20-200 представляет собой когенерационную установку, которая вырабатывает 100 кВт электрической и 128 Вт (0,11 Гкал/ч) тепловой энергии.

Установка работает на природном газе (метане), который подается под давлением 2,8±0,2 кгс/см^2 из газопровода среднего давления. Газ поступает непосредственно на отсечный клапан двигателя.

Газопоршневой двигатель КамАЗ 820.20-200 оборудован электронной системой управления фирмы «АБИТ» (Санкт-Петербург). Электронный блок управления типа М20 позволяет стабильно поддерживать частоту вращения двигателя 1500 об/мин при различных изменениях нагрузки.

В качестве системы управления электроагрегата выбран контроллер ComAp (Чехия), позволяющий обеспечить управление до 32 параллельно работающих электроагрегатов с модулями мини-ТЭС на их основе и обеспечить синхронизацию с электрической сетью. Генератор мощностью 100 кВт вырабатывает трехфазный электрический ток напряжением 400 В, частотой 50 Гц.

Тепло, выделяемое двигателем во время работы, передается потребителю в виде горячей воды, нагретой с помощью трубчатых теплообменников двух типоразмеров:

➢ утилизатор тепла «Отработанные газы–тосол»;

➢ теплообменник «Тосол–вода.

Схема комплексного автоматизированного модуля теплоэлектростанции КамТЭС 100-1К приведена на рис. 5.

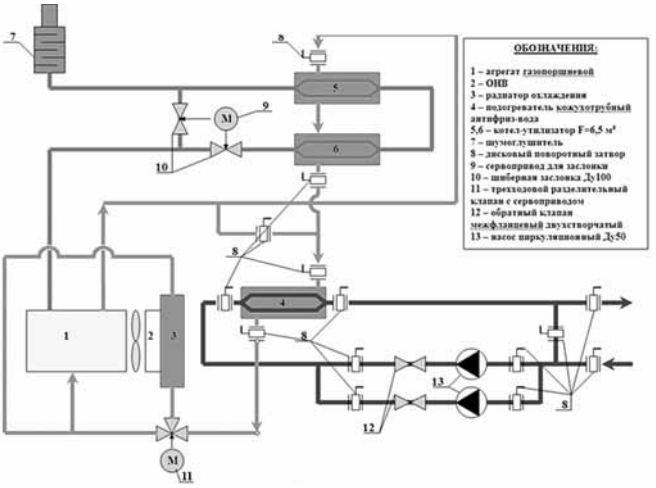


Рис. 5. Схема утилизации тепла теплоэлектростанции КамТЭС 100-1К



Рис. 6. Теплоэлектростанция на базе трех модулей КамТЭС 100-1К

Учитывая особенности и технические характеристики двигателя, была выбрана такая схема утилизации тепла, в которой тосол циркулирует по контуру через оба теплообменника, а автоматизированная система терморегулирования постоянно поддерживает его температуру около 95–98 °С. Это позволяет обеспечить тепловой режим воды потребителя 80–90 °С на выходе из мини-ТЭС и 60–70 °С на входе после использования.

В 2012 г. завод двигателей изготовил и установил на территории станции газификации жидкой углекислоты ООО «КамАЗ-Энерго» опытный образец энергетического центра-комплекса состоящего из трех модулей КамТЭС100-1К Модули в контейнерном исполнении рассчитаны на параллельную работу между собой и с электросетью. Срок окупаемости установки составил 17 месяцев.

В 2014 г. была проведена модернизация модулей с целью снижения уровня шума и увеличения ресурса двигателя. Система охлаждения перенесена на крышу, штатные вентиляторы охлаждения двигателей заменены на электрические. В результате ресурс двигателя увеличен до 32 тыс. ч, уровень шума снижен до 70 дБА расход газа снижен на 14 % и составляет 32 нм^3/ч.

УДК 621.431

ПРИМЕНЕНИЕ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «КОЛОМЕНСКИЙ ЗАВОД» ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МО РФ В ЦЕЛЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

В.В. Калиниченко, к.т.н., зам. гл. конструктора ОАО «Коломенский завод» (г. Коломна)

ОАО «Коломенский завод» в 1903 г. одним из первых в России освоил производство дизельных двигателей и с тех пор является одним из основных производителей среднеоборотных дизелей в стране.

Дизельные двигатели завода используется на магистральных тепловозах, кораблях и судах различного назначения, большегрузных автосамосвалах, морских буровых платформах, в стационарных, передвижных и модульных электростанциях, а также в качестве резервных и аварийных источников электроэнергии на АЭС и источников энергоснабжения специальных объектов.

Организационно завод входит в состав ЗАО «Трансмашхолдинг» — одного из крупнейших в мире производителей железнодорожной техники. На заводе действует сертифицированная по ISO 9001−2000 система менеджмента качества, имеются все необходимые лицензии, кроме того, на постоянной основе действуют внешние приемки Министерства обороны, РЖД и Морского регистра судоходства.

Сегодня основной типоразмер дизеля, производимого ОАО «Коломенский завод», — это дизели типа Д49 (ЧН26/26), которых выпущено более 17 000 штук в составе различных силовых агрегатов. Производственные мощности завода составляют около 500 дизель-генераторов в год.

Отсутствие в РФ специализированных производств комплектующих изделий и агрегатов высокого качества привело к необходимости применения импортных комплектующих, однако их номенклатура сведена к минимуму. К наиболее проблемным с точки зрения импортозамещения, по состоянию на сегодня, относятся турбокомпрессоры производства компании АВВ (Швейцария) для высокофорсированных двигателей.

Двигатели типа Д49 сконструированы по блочно-модульному принципу, что обеспечивает удобство при обслуживании, а также хорошую ремонтопригодность в условиях эксплуатации, что особенно важно для объектов расположенных в удаленных районах.

Заводом выпускаются V-образные двигатели типа Д49 (ЧН26/26) в 8-, 12-, и 16-ти цилиндровом исполнении с цилиндровой мощностью от 80 до 260 кВт. Достигнутый ресурс до капитального ремонта на некоторых модификациях превышает 100 тыс. часов. При этом используются смазочные масла и топлива российского производства.



Мощностной диапазон дизель-генераторов типа Д49 составляет в зависимости от количества цилиндров:

8ЧН26/26 — от 800 до 1700 кВт;

12ЧН26/26 — от 1650 до 2000 кВт;

16ЧН26/26 — от 1600 до 4000 кВт.

Бо*л*ьшие значения мощностей приведены для резервных и аварийных дизель-генераторов, а меньшие — для дизель-генераторов установленных на базовых электростанциях, работающих в режиме постоянной генерации.

Для объектов МО РФ в ближайшее время может быть предложены серийно-выпускаемые дизель-генераторы следующих типов:

➢ 7ГДГ (8ЧН26/26) мощностью 1100 кВт, работающих в режиме постоянной генерации с возможностью работы на различных видах топлив;

➢ 2-28ДГ (8ЧН26/26) мощностью 1700 кВт для резервного электроснабжения;

➢ 8ГДГ (12ЧН26/26) мощностью 1650 кВт с возможностью работы на различных видах топлив;

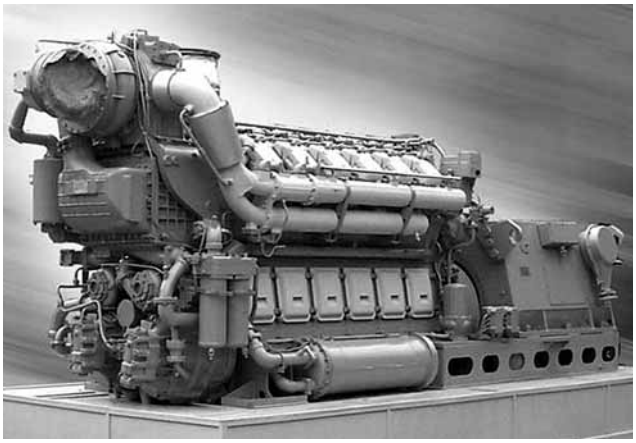


Рис. 1. Дизель-генератор 2-АД2000 (12ЧН26/26), мощностью 2000 кВт

➢ 1-АД2000, 2-АД2000 (12ЧН26/26) мощностью 2000 кВт для резервного электроснабжения объектов специального назначения;

➢ 15-9ДГ (16ЧН26/26) мощностью 3100 кВт для аварийного электроснабжения АЭС, с возможностью одновременной работы в спаренных установках мощностью 6200 кВт;

➢ 24-9ДГ (16ЧН26/26) мощностью 3200 кВт и 25-9ДГ (16ЧН26/26) мощностью 4000 кВт для аварийного электроснабжения АЭС.

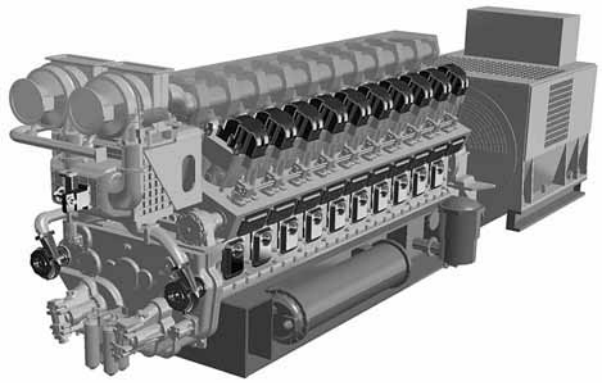
Сейсмостойкость оборудования обеспечивает его работоспособность при землетрясении более 11 баллов, учтены также специальные требования для объектов МО.

Значительное внимание уделяется экологическим показателям двигателей, которые соответствуют современным требованиям национальных Российских стандартов.

В 2015 г., в рамках выполнения федеральной целевой программы развития двигателестроения России, были разработаны и изготовлены опытные образцы перспективных дизелей типа Д500 размерности ЧН26,5/31. Ввиду отставания развития технологической базы изготовление многих узлов двигателей пришлось заказывать зарубежным производителям по собственной документации. По мере освоения отечественной промышленностью новых технологий доля узлов импортного изготовления будет уменьшаться.

Дизель-генераторы типа Д49 для малой энергетики (резервные электростанции)

Параметры	8ЧН26/26	12ЧН26/26	16ЧН26/26
Номинальная мощность, кВт	1100–1700	1650–2000	3100–4000
Максимальная мощность, кВт	1870	2200	4400
Номинальная частота вращения, об/мин	1000	1000	1000
Номинальное напряжение, кВ	6,3, 10,5	6,3, 10,5	6,3, 10,5
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	238+11,9	242+12,1	229+11,5
Часовой расход масла, кг/ч	1,7	2,0	4,0
Назначенный ресурс до переборки, лет	6	6	6
Назначенный ресурс до капитального ремонта, лет	20	20	20
Срок службы, лет	30	30	40
Класс автоматизации	3	3	3
Время до готовности принять нагрузку, с	15	15	15
Класс безопасности для АЭС	4	4	2, 3, 4
Выбросы вредных веществ, г/кВт · ч:			
— NO_x	10	10	10
— CO	3	3	3
— CH	1,0	1,0	1,0
— дымность, FSN	1,3	1,3	1,3



Дизель-генератор типа 20ЭГД500 (20ЧН26,5/31) мощностью 6300 кВт

Разработка дизель-генераторов мощностью 6300 кВт обусловлена необходимостью обеспечения строящихся и модернизируемых энергоблоков АЭС аварийными дизель генераторами систем безопасности. Для энергоснабжения каналов безопасности унифицированного энергоблока с водо-водяным реакторами типа АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ необходимая мощность составляет от 6000 до 6300 кВт. Дизель-генераторные установки такой мощности в России не производятся. Поэтому проектанты были вынуждены применять импортные дизель-генераторы.

Отсутствие в России производителей подобной техники отрицательно сказывается на обеспечении экономической безопасности страны. Принимая во внимание наличие производственных мощностей и научно-технического задела, ОАО «Коломенский завод» готов обеспечить поставки дизель-генераторов мощностью от 800 до 6300 кВт для нужд специальных объектов МО РФ в рамках импортозамещения.

Дизель-генераторы типа Д500 для малой энергетики (резервные электростанции)

Параметры	12ЧН 26,5/31	16ЧН 26,5/31	20ЧН 26,5/31
Номинальная мощность, кВт	4000	5000	6300
Максимальная мощность, кВт	4400	5500	6930
Номинальная частота вращения, об/мин	1000	1000	1000
Номинальное напряжение, кВ	6,3, 10,5	6,3, 10,5	6,3, 10,5
Удельный расход топлива, г/кВт·ч (дизелем)	195 +5 %		
Часовой расход масла, кг/ч	4	5	6,3
Назначенный ресурс до переборки, лет	6	6	6
Назначенный ресурс до капитального ремонта, лет	20	20	30
Срок службы, лет	40	40	60
Класс автоматизации	3	3	3
Время до готовности принять нагрузку, с	15	15	15
Класс безопасности для АЭС	4	4	2, 3, 4

УДК 621.431

ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И МОДЕРНИЗАЦИИ ДЭУ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ДВС И АВТОМАТИКИ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ

М.А. Антипов, А.Б. Михайлин (докладчик)
ООО «Президент-Нева» Энергетический центр (Санкт-Петербург)

Российская производственно-инжиниринговая компания ООО «Президент-Нева» Энергетический центр» основана в 1996 г. и в настоящее время владеет производственными мощностями в Санкт-Петербурге и Барнауле.

Инжиниринговые подразделения укомплектованы специалистами с фундаментальным образованием и опытом работы в направлениях:

— автономной и сетевой электроэнергетики;
— теплофикации;
— электроники;
— поршневого и турбинного двигателестроения;
— котельного и холодильного оборудования;
— АСУ ТП и IT технологий.

В компании успешно работают выпускники военно-инженерных вузов, в том числе и ВИТУ (сегодня ВИ(ИТ)). В течение ряда лет компания принимает участие в учебном процессе, как при подготовке дипломных работ выпускников ВИТУ, так и при проведении практических ознакомительных занятий по изучению особенностей эксплуатации современных ДЭУ.

Компания имеет соответствующий допуск к работе с документами; производство прикреплено к военной приемке.

Производство компании в Санкт-Петербурге и Барнауле адаптировано для выпуска дизельных электроагрегатов, шкафного оборудования и энергетических блок-модулей контейнерного типа полной заводской готовности на основе собственных проектно-конструкторских разработок. Производственно-ремонтная база и сервисная сеть, включающая девять филиалов компании, обеспечивают монтаж, пуско-наладку и эксплуатационное сопровождение поставляемого оборудования на протяжении всего жизненного цикла во всех регионах России.

Основным видом производства является выпуск дизельных энергетических установок (ДЭУ), построенных на основе дизельных двигателей и синхронных генераторов (СГ). Для комплектации ДЭУ в мощностном диапазоне от 4 до 315 кВт (от АД4-230 до АД315-Т400) используются отечественные дизели Тульского, Ярославского, Алтайского, Тутаевского и Камского заводов. Всего по техническим условиям компании номенклатура выпускаемых дизельных электроагрегатов типа АД составляет 67 позиций.



Системы управления ДЭУ построены на основе специализированного контроллера (тип ПН), серийно выпускаемого с 2004 г. Конструктивные решения и программное обеспечение контроллера являются собственной разработкой, предназначенной для создания отечественных средств управления резервными ДЭУ различных потребителей.

При разработке контроллера реализовано требование локализации, состоящее в использовании только отечественного алгоритмического и программного обеспечения, гарантированно не содержащего несанкционированных возможностей (типа «закладок»).

Производство контроллеров типа ПН налажено в Санкт-Петербурге на производственной базе компании. С 2004 г. только для нужд РЖД изготовлено более 700 шкафов управления ДЭУ. Оборудование испытано на электробезопасность и электромагнитную совместимость в испытательном центре железнодорожной автоматики и телемеханики ПГУПС и рекомендовано для применения в системах централизации, блокировки и связи железных дорог РФ.



ДЭУ типа АД мощностью 30 кВт со шкафом управления на базе контроллера типа ПН

Основное назначение контроллера ПН — управление ДЭУ и автоматом ввода резерва (АВР). Контроллер состоит из двух частей — центрального процессорного устройства и монитора.

Существенное отличие от существующих аналогов состоит в возможности подключения к центральному процессорному устройству нескольких мониторов по шине передачи данных для организации мониторинга или управления с основного и запасных диспетчерских пунктов на расстоянии сотен метров.

Контроллер выпускается в трех основных функциональных модификациях — для управления только ДЭУ, для управления только АВР и совмещенная модификация для управления ДЭУ и АВР. Изменение модификации сопровождается изменением мембранной клавиатуры с соответствующей мнемосхемой и перепрограммированием монитора.

Контроллер позволяет:

➢ измерять однофазное и трехфазное переменное напряжение (60–400 В), ток, активную, реактивную и полную мощности, значение cos φ, количество выработанной электроэнергии;

➢ измерять напряжения постоянного тока (0–2 В и 0–36 В);

➢ принимать и оценивать до 16 дискретных и до 6 аналоговых сигналов от датчиков напряжения или сопротивления;

➢ генерировать 18 дискретных сигналов (команд) управления и 2 сигнала 12-разрядного цифро-аналогового преобразователя 0–5 В/ 0–20 mA;

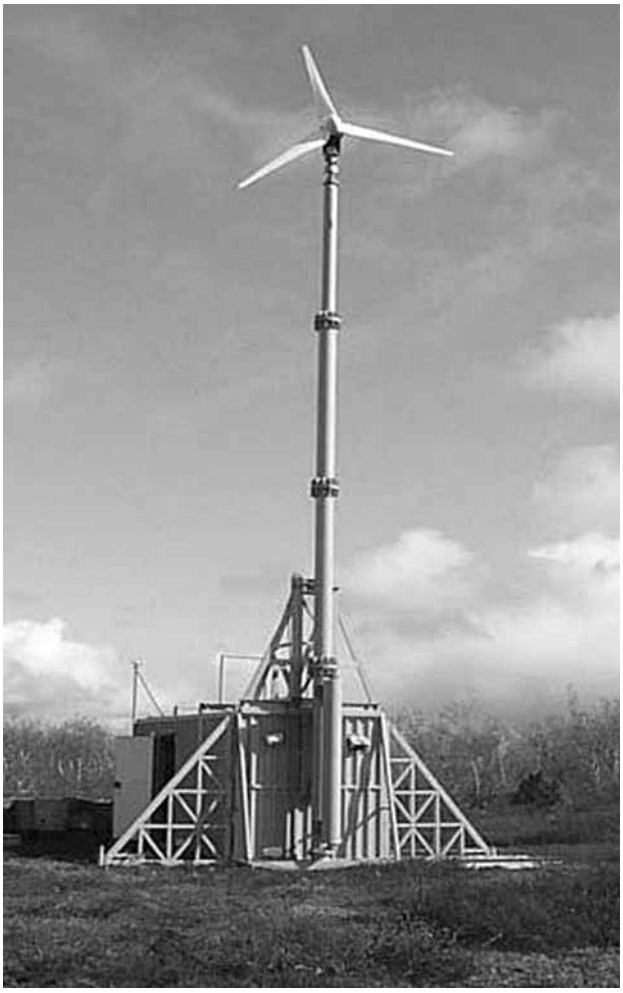
➢ осуществлять обмен данными по полевой шине RS485 с помощью протокола MODBUS RTU;

➢ выполнять функцию расширителя для приема аварийных сигналов или передачи сигналов управления.

В настоящее время выпущено более 1800 контроллеров типа ПН для оснащения шкафов управления и других средств автоматики, производимых компанией.

Благодаря широким функциональным возможностям базовой версии контроллера на его основе разработаны и успешно испытаны технические решения «интеллектуального» шкафа управления комбинированной электростанцией, состоящей из ДЭУ и ветроэнергетической установки.

В 2014 г. разработана специальная модификация контроллера, предназначенного для комплектования энергетического оборудования, применяемого силовыми структурами РФ. Опытный образец контроллера, а также другое оборудование, выпускаемое компанией, а именно: статическое подзарядное устройство, индикаторы уровней топлива, система мониторинга — находятся на испытаниях в профильном институте МО РФ.



Комбинированная мобильная электростанция инновационного проекта ГБТЭС-2 «Тундра»

Новыми этапными разработками компании являются:

➢ электронный регулятор напряжения синхронного генератора;

➢ электронный регулятор скорости ДВС;

➢ системы измерения расхода топлива.

Новые разработки по электронным регуляторам направлены на повышение функционального качества традиционных ДЭУ (с постоянной скоростью вращения вала) за счет более точной стабилизации внешних характеристик по частоте и напряжению при переходных процессах и при работе на сложную нагрузку.

УДК 621.431

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В НОВЫХ ПРОЕКТАХ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МО РФ

Л.А. Новиков, к.т.н., доцент (докладчик), А.В. Смирнов, д.т.н., проф.
Кафедра двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) ВА МТО

1.Общее состояние отечественного двигателестроения

Основу автономного энергоснабжения объектов военной инфраструктуры МО РФ составляют установки с поршневыми ДВС, в которых доминируют дизель-генераторы. Большинством действующих установок ресурс практически выработан, и требуется их постепенная плановая замена. Решение этой проблемы осложняется тем, что несмотря на завершение подпрограммы «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» в составе Федеральной целевой программы (ФЦП) «Национальная технологическая база», состояние двигателестроения в России пока нельзя охарактеризовать как благополучное. Во-первых, в программе участвовали далеко не все действующие заводы — производители промышленных двигателей, традиционные поставщики продукции для заказчиков из МО. Во-вторых, концепция программы не учитывала потребности и специальные требования МО РФ (за исключением потребностей ВМФ) к наземным источникам энергоснабжения объектов военной инфраструктуры. И наконец, в-третьих, опытные образцы двигателей нового поколения, созданные в процессе реализации ФЦП, проектировались (в том числе с участием инжиниринговых Европейских компаний) еще до введения странами ЕС и США экономических и секторальных санкций в отношении РФ, поэтому их комплектация предусмотрена в основном импортными компонентами, производимыми за рубежом.

Таким образом, реализация ФЦП, задав начальный импульс развития, безусловно нуждается в продолжении, особенно в отношении постановки на производство высокотехнологичных компонентов двигателей. В силу сложившихся обстоятельств серийное производство двигателей нового поколения не может быть начато ранее 2018–2020 годов, а острая потребность в поставках новых отечественных дизель-генераторов на объекты МО сложилась уже сегодня. Именно поэтому в обновленный типаж двигателей, предназначенных для замены и нового строительства объектов военной инфраструктуры МО РФ, были включены двигатели зарубежного производства (известных мировых брендов стран ЕС). Однако санкции, введенные в отношении РФ, и в особенности в отношении предприятий ВПК, полностью исключили возможность использования зарубежных двигателей на военных объектах РФ.



2. Требования к показателям выбросов двигателей

В настоящее время все основные показатели двигателей, такие как расход топлива, ресурс, надежность, удельная масса и т. д., сведены к разряду их потребительских свойств, которые могут быть у одних моделей лучше, а у других хуже. И только соответствие действующим нормам показателей выбросов вредных веществ в атмосферу определяет возможность продолжения производства конкретной модификации двигателя.

Законодательство РФ в области охраны окружающей среды запрещает эксплуатацию установок с двигателями в случае превышения предельно допустимых технических нормативов выбросов вредных веществ.

В настоящее время работа по унификации национальных и зарубежных стандартов, устанавливающих требования к показателям вредных выбросов промышленных дизелей практически завершена. Основные положения и обязательные требования, в соответствии с которыми проводятся испытания двигателей на соответствие нормам вредных выбросов, содержатся в следующих стандартах:

➢ ГОСТ 31967–2012 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения» (введен с 01.07.2014 взамен ГОСТ Р 51249–99, соответствует ISO 8178, часть 1);

➢ ГОСТ 24028–2013 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения» (введен с 01.07.2014 взамен ГОСТ Р 51250–99, соответствует ISO 8178, часть 9).

Предельно допустимые значения выбросов дизелей по ГОСТ 31967–2012

Наименование нормируемого параметра	Назначение дизеля	Предельно допустимые значения удельных средневзвешенных выбросов	
		Постановка на производство до 2016 г.	Постановка на производство после 2016 г.
Удельный средневзвешенный выброс оксидов азота (NO_x), в приведении к NO_2, г/(кВт · ч)	Тепловозный	12,0	7,4
	Промышленный	10,0	6,0
	Судовой	См. примечания*	
Удельный средневзвешенный выброс окиси углерода (CO), г/(кВт · ч)	Любое	3,5	1,5
Удельный средневзвешенный выброс углеводородов (CH) в приведении к $CH_{1,85}$ г/(кВт · ч)	Любое	1,0	0,4

* Для судовых дизелей, поставленных на производство после 01.01.2011 года:
— при частоте вращения, $n \le 130$ об/мин — $e_{NOx} = 14{,}4$ г/(кВт · ч);
— в диапазоне частот $130 < n < 2000$ об/мин, рассчитывают по формуле $e_{NOx} = 44\, n^{-0{,}23}$ г/(кВт · ч);
— при частоте вращения $n > 2000$ об/мин, $e_{NOx} = 7{,}7$ г/(кВт · ч)

Значения норм выбросов вредных веществ по ГОСТ 31967–2012 приведены в таблице.

В результате проведенной гармонизации природоохранного законодательства оказалось, что большинство из серийно выпускаемых промышленных двигателей отечественного производства требованиям новых стандартов не соответствует, и нуждаются в существенной доработке конструкции. Данные о соответствии двигателей российской постройки действующим национальным стандартам, представлены признанной в системе МАКО испытательной лабораторией и приведены на рис. 1.

Кафедра «Двигателей и тепловых установок» ВИ(ИТ) располагает необходимым научным заделом и практическим опытом для выполнения НИОКР по заявке МО РФ в целях нормализации выбросов вредных веществ совместно с заводами-производителями. Специальный раздел НИОКР должен быть посвящен задаче частичного или полного устранения демаскирующих факторов места дислокации источника автономного энергоснабжения по показателям видимой дисперсии (дымности), тепловой или концентрационной следности по факторам «инфракрасный шлейф», «шлейф CO_2» или «шлейф NO_x».

Выполненные на кафедре расчеты кинетики образования вредных выбросов при горении топлива в дизелях и многочисленные экспериментальные исследования показали, что серийные двигатели российской постройки обладают достаточным потенциалом модернизации для достижения требований новых стандартов. Совокупный эффект по снижению выбросов, полученный за счет совершенствования конструкции и систем двигателя, позволяет сократить выбросы не менее чем на 40 %. Однако для устранения демаскирующих факторов энергетических установок специальных объектов потребуется использование технологий и оборудования для очистки отработавших газов.

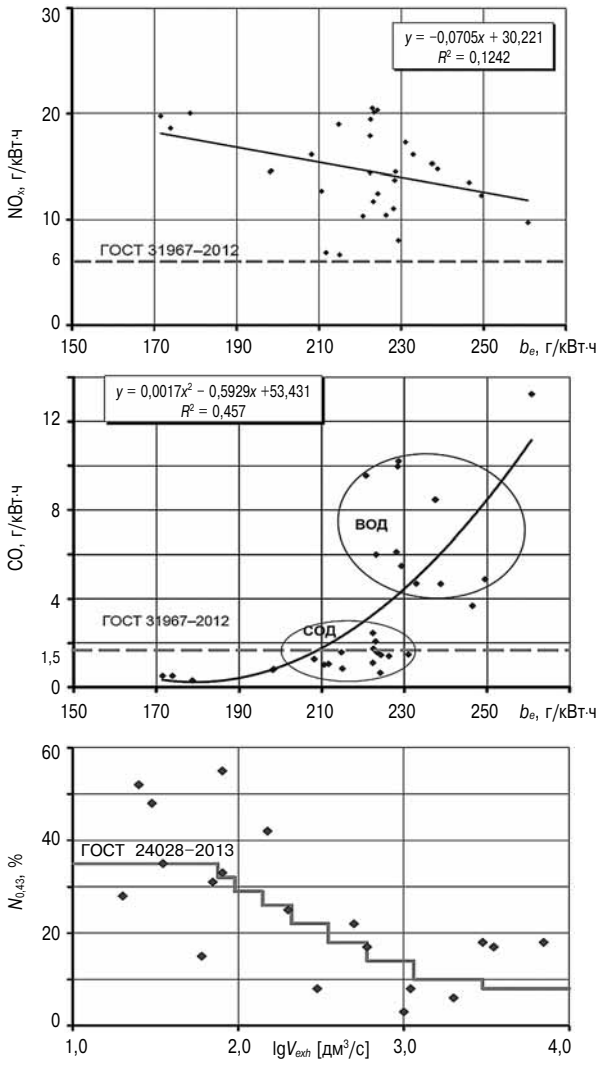


Рис. 1. Выбросы вредных веществ и дымность ОГ промышленных двигателей отечественной постройки по отношению к действующим нормам

3. Альтернативные топлива

Применение альтернативных видов топлив дает возможность радикально воздействовать на показатели вредных выбросов двигателей. Это

одно из возможных направлений модернизации парка двигателей, обещающих значительный экологический эффект, в особенности для снижения выбросов NO_x и сажи. К таким топливам, уже прошедшим экспериментальную, а в ряде случаев и эксплуатационную проверку, можно отнести спирты (смесь глицерина и этанола), кислородсодержащие синтетические топлива, например диметилэфир, сжиженный природный и попутный газ.

Значительные перспективы имеют синтетические топлива, например диметилэфир (ДМЭ) или смесь глицерина и этанола содержащее в своем составе более 35 % кислорода. При горении синтетических топлив образуется в 2–3 раза меньше вредных веществ, чем при горении стандартного топлива.

Создание двигателей двойного топлива (газодизелей) или газовых двигателей на конструктивной базе дизелей уже много лет активно и успешно осваивается промышленностью (ОАО РУМО). Одно из бесспорных преимуществ газового топлива выражается практически в полном отсутствии частиц в отработавших газах, что исключительно важно при утилизации тепла отработавших газов (когенерация). Применение газового топлива в газодизельном цикле имеет хорошие перспективы для новых проектов энергетических установок, предназначенных для условий крайнего Севера и Заполярья, что связано с завершением строительства нового газового терминала «Ямал-СПГ» (порт Сабетта).

4. Очистка газов

Каталитические системы очистки газов, работающие на основе процессов окисления или восстановления вредных компонентов на современном уровне развития техники наиболее надежны и работоспособны. В то же время для двигателей, использующих традиционное топливо, актуальной и пока нерешенной проблемой является защита катализаторов от сажи и аэрозолей топлива и масла.

В дополнение к традиционным технологиям, таким как селективное каталитическое восстановление NO_x продуктами разложения мочевины (SCR-процесс), продолжают развиваться новые, обладающие лучшими эксплуатационными свойствами технологии очистки отработавших газов. Для применения в газовых двигателях хорошие перспективы имеет процесс каталитического восстановления NO_x пропаном (SCR-CH процесс). Его эффективность несколько уступает процессу с аммиаком, но бесспорными преимуществами являются применение промышленно освоенных катализаторов и отсутствие токсичного восстанавливающего реагента.

Выводы

Проблема достижения действующих технических нормативов выбросов вредных веществ и дымности отработавших газов серийных российских двигателей, в том числе предназначенных для энергоснабжения объектов военной инфраструктуры МО РФ, является комплексной и ее решение требует совместных усилий ученых, конструкторов, производителей двигателей и производителей топлива.

Преждевременное введение новых стандартов, регламентирующих выбросы вредных веществ (ГОСТ 31967–2012) и дымность отработавших газов (ГОСТ 24028–2013), значительно осложняет, а в ряде случаев исключает возможность поставки на военные объекты отечественных двигателей по программе импортозамещения, поэтому сроки их введения должны быть пересмотрены.

С учетом уникального научного задела, созданного в этой области прикладной науки специалистами кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ), имеющегося опыта внедрения этого задела и традиционных связей с дизелестроительными заводами, МО как государственному заказчику целесообразно поставить НИОКР по этой тематике.

На базе кафедры двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) целесообразно создать постоянно действующий экспертный совет по решению проблемы импортозамещения в автономных источниках энергоснабжения для объектов военной инфраструктуры МО РФ. Основными целями и задачами экспертного совета считать определение перечня поставщиков двигателей, генераторов и их компонентов, запасных частей и комплектующих агрегатов, систем управления и программного обеспечения, предназначенных на замену и новое строительство. В состав совета включить специалистов прикладной науки, дизелестроительных заводов, проектных организаций, представителей государственного заказчика.

Литература

1. *Новиков Л.А.* Анализ потенциала модернизации дизелей семейства ЧН21/21 для достижения действующих норм вредных выбросов // Двигателестроение. — 2011. — № 4. — С. 31–38.

2. *Новиков Л.А., Вольская Н.А.* Обобщенные данные для расчета выбросов в атмосферу двигателями водного транспорта // Двигателестроение. — 2009. — № 4. — С. 24–30.

3. HELCOM 32/2011, «Proposal to designate the Baltic Sea as an Emission Control Area for Nitrogen Oxides», Report of the NECA correspondence group, Document 4/4, Helsinki, Finland, March 2011, 88 p.

4. MEPC 65/4/7 «Final report of the Correspondence Group on Assessment of Technological Developments to Implement the Tier 3 NO_x Emission Standards under MARPOL Annex VI» IMO, London, February 2013, 22 p.

УДК 621.43

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДВС СРЕДСТВАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.К. Румб, к.т.н., проф.
СПбГМТУ

Рассмотрены методические основы прогнозирования усталостной долговечности деталей ДВС с привлечением имитационного моделирования, что позволяет с наибольшим приближением к действительности учитывать рассеяние характеристик прочности детали и действующих в ней напряжений, а также имитировать различные сценарии развития усталостных трещин. Предложенный метод способствует лучшему пониманию поведения материала при циклических нагружениях и позволяет точнее прогнозировать ресурс деталей.



В четвертом номере журнала «Двигателестроение» за 2014 г. опубликована статья, в которой приведены расчетные зависимости для оценки долговечности деталей ДВС по критерию усталости материала [4]. Напомним, основная идея той статьи сводилась к необходимости пересмотра сложившихся взглядов на расчеты прочности, которые должны дополняться, а в будущем и заменяться прогнозированием ресурса — продолжительности работы детали от начала эксплуатации до наступления предельного состояния.

Методические аспекты определения ресурса основываются на необратимом росте усталостной трещины в результате последовательного накопления повреждений. Когда полная накопленная поврежденность достигнет некоторой критической величины, происходит усталостное разрушение. Существуют как линейные, так и нелинейные гипотезы накопления повреждений. Например, хорошо известная гипотеза линейного накопления повреждений Пальмгрена–Майнера исходит из того, что за один цикл при напряжении σ_1 поврежденность составит $1/N_1$, где N_1 — число циклов, при котором произойдет разрушение при непрерывном действии напряжения σ_1. При числе циклов действия этих напряжений p_1, где $p_1<N_1$, материал получит частичное разрушение. При этом доля поврежденности составит

$$D_1 = \frac{p_1}{N_1}.$$

Воздействие переменных напряжений различного уровня дает соответствующие доли поврежденности. Полное разрушение будет, когда сумма этих долей станет равной a_p, т. е.

$$a_p = D_1 + D_2 + D_3 + \cdots = \\ = \frac{p_1}{N_1} + \frac{p_2}{N_2} + \frac{p_3}{N_3} + \cdots = \sum_{i=1}^{k} \frac{p_i}{N_i}, \qquad (1)$$

где k — количество уровней напряжений, для которых выполняется условие $\sigma_{max}>0{,}5\sigma_{-1}$.

В упомянутой гипотезе Пальмгрена—Майнера принято $a_p = 1$. Между тем результаты многочисленных испытаний образцов на усталость показали, что значение a_p к моменту поломки имеет большие отклонения от единицы. По опубликованным данным a_p может находиться в пределах от 0,05 до 4. Столь большой разброс естественно отражается на точности: двух- или даже трехкратная ошибка в оценке долговечности по линейной гипотезе суммирования повреждений считается нормой. На этом основании более оправданно пользоваться корректированной линейной гипотезой суммирования повреждений. Она предложена В.П. Когаевым на основе обобщения соответствующих экспериментальных данных [2]. Строго говоря, корректировка известной гипотезы Пальмгрена—Майнера касалась не принципа суммирования повреждений, а величины a_p, т. е. суммарной поврежденности, после которой следует разрушение. В предлагаемом варианте гипотезы a_p подсчитывается по формуле

$$a_p = \frac{\sigma_{a\,max}\xi - 0{,}5\,\sigma_{-1}}{\sigma_{a\,max} - 0{,}5\,\sigma_{-1}},$$

где ξ — коэффициент коррекции, отражает общий уровень напряженного состояния

$$\xi = \sum_{i=1}^{p} \frac{\sigma_{a\,i}}{\sigma_{a\,\max}} \frac{\nu_i}{\nu_\Sigma},$$

где ν_i — число циклов нагружения с амплитудой σ_{ai}; ν_Σ — суммарное число циклов нагружения, удовлетворяющее условию $\sigma_{ai} > 0{,}5\sigma_{-1}$.

Понятно, что в реальных условиях эксплуатации ДВС напряжения, входящие в приведенные формулы, представляют собой случайную функцию времени, т. е. $\sigma = f(t)$. Даже на установившихся режимах наблюдаются случайные отклонения напряжений от их среднего значения. Такие отклонения могут вызываться как внешними неконтролируемыми возмущениями, так и динамическими явлениями, происходящими внутри самого двигателя. По этой причине усталостная долговечность не может быть детерминированной величиной. Ее случайность обусловлена влиянием большого количества факторов на процессы зарождения и развития усталостных трещин. Из-за неодинакового влияния этих факторов сценарии накопления повреждений могут существенно отличаться друг от друга, что в конечном итоге приводит к разбросу ресурса даже однотипных деталей.

Достаточно точно определить усталостную долговечность деталей удается только в результате экспериментальной проверки. Однако проведение подобной проверки в полном объеме сопряжено с большими затратами времени и средств. К тому же она возможна лишь в условиях крупносерийного производства, когда нет особых препятствий для усталостной поломки нескольких деталей. В случае отсутствия таких условий и особенно на этапе проектирования новых конструкций приходится ограничиваться имитационным моделированием. По своим возможностям оно напоминает статистический натурный эксперимент, но, в отличие от него, имеет более широкие возможности и менее трудоемкое, так как выполняется на ЭВМ (рис. 1).

Основные положения имитационного моделирования и практические аспекты его применения подробно рассмотрены в [7]. Не пытаясь повторить их полностью, отметим лишь то, что имитационное моделирование служит всего лишь средством, которое помогает решать задачи при неопределенных исходных данных. Они в имитационном моделировании не задаются, а разыгрываются с помощью специального генератора случайных чисел. Сначала генерируются случайные числа ξ, равномерно распределенные в диапазоне от 0 до 1, а затем эти псевдослучайные числа преобразуются в случайные числа с требуемыми вероятностными характеристиками

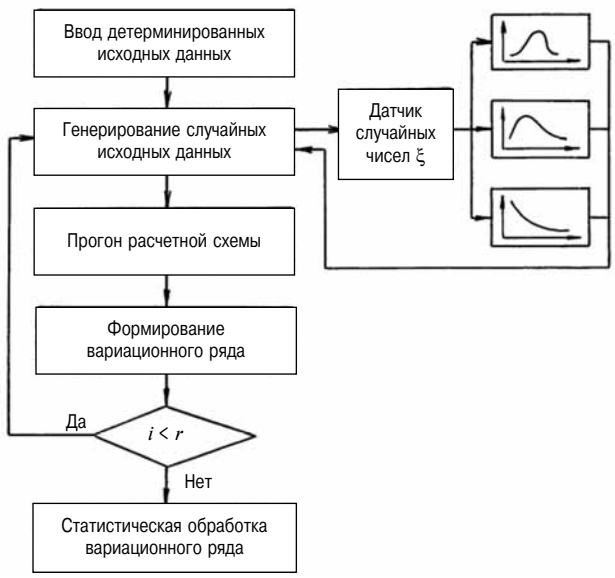


Рис. 1. Блок-схема имитационного моделирования

Генераторы случайных чисел

Вид распределения	Расчетная формула	Математическое ожидание	Дисперсия
Равномерное	$x = a + (b-a)\xi$	$\mu = \frac{b+a}{2}$	$S^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$
Экспоненциальное	$x = -\frac{1}{a}\ln\xi$	$\mu = 1/a$	$S^2 = 1/a^2$
Нормальное	$x = a + (\sum_{1}^{12}\xi_i - 6)b$	$\mu = a$	$S^2 = b^2$
Вейбулла	$x = a[-\lg(1-\xi)]^{1/b}$		
Логарифмически нормальное	$x = \exp(b\xi + a)$		

по формулам, которые приведены в таблице. Получение случайных чисел по данному алгоритму принято называть процедурой или методом Монте-Карло. В настоящее время такие процедуры включены в виде встроенных функций в библиотеки практически всех языков программирования. В Турбо Паскале — это функция «Random».

Переходя от общих рассуждений к вероятностной оценке долговечности деталей, подвергающихся циклическому нагружению, сначала рассмотрим случай, когда расчетной схемой для имитационного моделирования служит формула [5]

$$T = t_б \frac{a_p (\sigma_{-1}^n)^m N_б}{\sum_{i=1}^{r} (\nu_i \sigma_{a\,i}^m)}.$$

По данной формуле подсчитывают усталостную долговечность, выраженную в часах работы детали, при блочном нагружении. Такое нагру-

жение характерно для машин с циклически выполняемыми технологическими операциями. Входящие в нее аргументы $t_б$, σ^n_{-1}, $N_б$, ν_i, σ_{ai} и m являются случайными числами с присущими им законами распределений. Как функция случайных параметров величина T также будет случайной. Чтобы найти функцию распределения T надо многократно повторить расчет по этой формуле, задавая каждый раз значения указанных аргументов с помощью метода Монте-Карло. В результате получим вариационный ряд из значений T, статистическая обработка которого даст математическое ожидание μ_T, среднее квадратическое отклонение S_T и данные, необходимые для установления функции распределения $f(T)$. Для объективности статистического заключения число прогонов должно быть достаточно большим (обычно больше 1000).

Таким образом, в результате имитационного моделирования удается с высокой степенью достоверности выявить и математически описать функцию распределения усталостной долговечности. Знание этой функции позволяет достаточно легко определить вероятность усталостного разрушения детали за время μ_T. Однако в целях безопасной эксплуатации машин оправдано задавать долговечность деталей не по среднему, а по так называемому гамма-процентному ресурсу. В рассматриваемом случае гамма-процентный ресурс — это время эксплуатации детали, в течение которого усталостная трещина не достигнет критического размера с заданной вероятностью γ. Иначе говоря, величина γ характеризует вероятность отсутствия усталостного разрушения. Так, если функция $f(T)$ подчиняется нормальному распределению, то γ-процентный ресурс подсчитывается по формуле [1]

$$T_\gamma = \mu_T(1 - \vartheta_T U_\gamma),$$

где ϑ_T — коэффициент вариации; $\mu_T = S_T/\mu_T$; U_γ — квантиль нормированного нормального распределения, определяемый для заданного значения γ.

Например, при μ_T = 32 000 часов и ϑ_T = 0,25 85 % гамма-ресурс составит

$$T_{\gamma=0,85} = 32\,000(1 - 0,25\cdot 1,0364) = 23\,712 \text{ часов}.$$

Здесь $U_{\gamma=0,85}$ = 1,0364 принято по таблицам нормированного нормального распределения.

Для других распределений функции $f(T)$ гамма-процентный ресурс вычисляют по формулам:

➢ при логарифмически нормальном распределении

$$T_\gamma = \mu_T \exp[-(U_\gamma\, b + 0,5b^2)],$$

где b — параметр, связан с коэффициентом вариации соотношением

$$b = \sqrt{\ln\left(1 + \vartheta_T^2\right)}$$

➢ при распределении Вейбулла

$$T_\gamma = a\left(\ln\frac{1}{\gamma}\right)^{1/b},$$

где a и b — параметры распределения [7];

➢ при экспоненциальном распределении

$$T_\gamma = \mu_T \ln\frac{1}{\gamma}.$$

Рассмотренный случай является простейшим, и, по сути, он служит демонстрацией практического решения прикладных задач с помощью имитационного моделирования. Более сложный случай — имитация функции $\sigma = f(t)$. Возникающие при этом трудности связаны с получением репрезентативной выборки случайных напряжений, позволяющей получать детерминированные показатели, характеризующие процесс в целом. К таким уже неслучайным показателям относят: математическое ожидание, дисперсию или среднее квадратическое отклонение и плотность распределения. Необходимая для их вычисления длительность выборки устанавливается в результате построения корреляционной функции. Эта функция характеризует степень связи ординат случайного процесса во времени и совместно с математическим ожиданием и дисперсией дает исчерпывающую информацию о случайном процессе. При дискретном представлении случайного процесса в виде чисел σ_i (i = = 1, 2, ..., $N_б$) ординаты корреляционной функции вычисляются по следующей формуле [4]:

$$R(t) = \frac{1}{N_б - m - 1}\sum_{i=1}^{N_б - m}\left[(\sigma_i - \mu_\sigma)(\sigma_{i+m} - \mu_\sigma)\right]$$

где m = 0, 1, 2, ..., $(p - 1)$ — число, определяющее величину сдвига; p — число ординат корреляционной функции, обычно $p = 0,1N_б$; μ_σ — среднее арифметическое реализации случайного процесса.

Часто пользуются нормированной корреляционной функцией. Ее ординаты

$$\rho(t) = \frac{R(t)}{S_\sigma^2},$$

где S_σ^2 — дисперсия случайного процесса.

При построении графика корреляционной функции по оси абсцисс откладывают произведения $t = m\Delta t$ (Δt — шаг квантования), а по оси ординат значения $R(t)$ или $\rho(t)$. Корреляционная функция — всегда положительная и действительная функция, при $t = 0$ достигает максимума, с ростом t затухает (рис. 2). Иногда корреляционная функция с некоторого момента времени не затухает, что свидетельствует о наличии детерминированного процесса, который маскируется

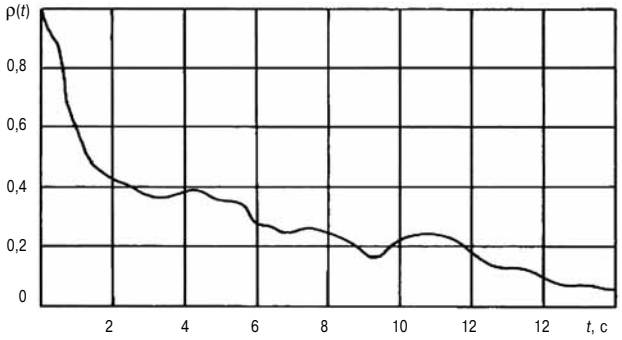


Рис. 2. График нормированной корреляционной функции

случайным фоном. Однако чаще всего график корреляционной функции представляет собой затухающие колебания. Это означает, что случайный процесс сопровождается периодическими колебаниями.

Мерой протяженности корреляционной связи ординат случайного процесса считается время корреляции τ_k. По существу, τ_k делит всю выборку на временные промежутки, между которыми можно пренебречь вероятностными связями. В практических расчетах время корреляции назначают из соотношения

$$\rho(t \geq \tau_k) < k,$$

где k — некоторое наперед заданное число, например, $k = 0{,}01$.

После того как определена необходимая длительность реализации, позволяющая получить исчерпывающую информацию о случайном процессе, переходят к следующему этапу — непосредственной схематизации функции $\sigma = f(t)$. Под схематизацией понимают правило подсчета амплитуд напряжений, которые вызывают усталостные повреждения. Известно довольно большое число методов схематизации. Наиболее широкое применение в инженерной практике получили методы максимумов и размахов. При первом методе за амплитуду напряжений принимают отклонение между максимальным значением и средним уровнем. При методе размахов амплитудами напряжений считают половину между двумя соседними экстремумами. В инженерных расчетах применяются и другие методы схематизации. Например, перспективным считается схематизация случайной функции $\sigma = f(t)$ методом «дождя» (стока). С алгоритмом метода можно познакомиться в [3]. Окончательное суждение о приемлемости того или иного метода схематизации можно получить только после сопоставления фактической долговечности с ее расчетной оценкой.

В результате схематизации получают дискретный ряд амплитуд напряжений σ_{ai}. Статистическая обработка этого ряда позволяет подсчитать искомые математическое ожидание и дисперсию или среднее квадратическое отклонение, а также принять решение о плотности распределения напряжений, т. е. по существу определить параметры, входящие в приведенную формулу для подсчета усталостной долговечности.

Еще более сложным случаем является имитация самого процесса накопления усталостных повреждений во времени. Стохастическая природа этого процесса связана с двумя основными причинами: рассеяние механических свойств конструкционных материалов и геометрических параметров детали, а также большие вариации режимов работы машины и условий ее эксплуатации. Сами по себе эти причины весьма сложны, а если учесть еще корреляционную связь между ними, то понятно, что воспроизвести процесс усталости материала и дать ему эволюционное описание удастся в полной мере только с использованием вероятностных моделей. Разработке таких моделей посвящено всего несколько работ. Одной из них является [6], в которой предлагается несколько моделей усталостного накопления повреждений. Между тем считать эту книгу исчерпывающей по данному вопросу пока рано. Необходимы дополнительные исследования, чтобы эти модели стали пригодными для инженерных расчетов.

Литература

1. *Ефремов Л.В.* Практика инженерного анализа надежности судовой техники. — Л. : Судостроение, 1980. — 176 с.

2. *Когаев В.П.* Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. — М. : Машиностроение, 1977. — 232 с.

3. *Коллинз Дж.* Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. — М. : Мир, 1978. — 624 с.

4. *Румб В.К.* Переход от расчетов прочности к расчету долговечности — задача современного проектирования деталей ДВС // Двигателестроение. — 2014. — № 4. — С. 3–9.

5. Р*умб В.К.* Прочность и долговечность судовых машин и механизмов: учебное пособие. — СПб. : Изд-во СПбГМТУ, 2014. — 237 с.

6. Сиратори М. Вычислительная механика разрушения / М. Сиратори, Т. Миеси, Х.Мацусита. — М. : Мир, 1986. — 334 с.

7. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М. : Мир, 1978. — 418 с.

УДК 621.436

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ЦИЛИНДРАХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Л.И. Ковальчук, д.т.н., проф., М.В. Исаева, асп.
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

В статье сформулированы принципы построения экспериментально-теоретических моделей, обладающих свойством инвариантности относительно характеристик винта и условий плавания. Приведен пример построения моделей для судового многоцилиндрового двигателя. Выполнен анализ результатов практического диагностирования и диагностических возможностей предлагаемых моделей.

Практические трудности оценки качества сгорания топлива в цилиндрах главных судовых дизелей обусловлены нестабильностью характеристик винта. Под воздействием переменных возмущений со стороны винта возможные вариации показателей рабочего процесса существенно превышают отклонения, вызванные изменением технического состояния двигателя [1, 2]. По этим причинам прямое использование теплотехнических параметров для оценки качества функционирования цилиндров главных двигателей не позволяет обнаружить возможные нарушения процесса сгорания топлива на ранней стадии их проявления.

Эффективность контроля качества функционирования цилиндров главных двигателей в эксплуатационных условиях может быть существенно повышена применением специальных моделей, обладающих свойством инвариантности относительно характеристик винта.

Исправный двигатель вырабатывает механическую энергию в поле допустимых для длительной работы режимов. Под упомянутым полем понимается область координатной плоскости P_e–n, ограниченная слева и справа вертикалями $n_{\min}$ = = const и $n_н$ = const; сверху — внешней ограничительной характеристикой, снизу — координатной осью n. Очевидно, что ограниченная таким способом область включает всю совокупность режимов, которыми определяются приемлемые условия сгорания топлива в цилиндрах исправного двигателя. Положение границ этой области не зависит от того, какую характеристику имеет потребитель энергии, т. е. она обладает свойством инвариантности относительно возможных возмущений со стороны потребителя. Поэтому примем ее за эталон и перейдем к количественным оценкам, последовательность выполнения которых покажем на конкретном примере.

Для этой цели используем результаты стендовых испытаний двигателя 6ЧН25/34-3 по серии нагрузочных характеристик в диапазоне частот вращения от $n_н$ = 500 об/мин до $n_{\min}$ = = 350 об/мин с шагом Δn = 50 об/мин.

В процессе испытаний проводились измерения следующих информативных параметров: t_g — температура отработавших газов на выходе из цилиндров, °С; n — частота вращения коленчатого вала, об/мин; S — положение указателя нагрузки, условные единицы.

В последующих вычислениях используем безразмерные значения информативных параметров

$$t_g = \frac{t_g}{t_{gн}}; \quad n_0 = \frac{n}{n_н}; \quad S_0 = \frac{S}{S_н}, \tag{1}$$

где $t_{gн}$, $n_н$ и $S_н$ — нормирующие параметры, численные значения которых в данном случае приняты следующими: $t_{gн}$ = 390 °С; $n_н$ = 500 об/мин; $S_н$ = 4,9.

Использование безразмерных информативных параметров исключает вопрос о размерностях левой и правой частей модели. Кроме этого, приближенные значения информативных параметров выражаются числами одного порядка, что способствует повышению устойчивости вычислительного процесса.

На рис. 1 приведены нагрузочные характеристики первого цилиндра двигателя 6ЧН 25/34-3 в системе координат $t_{go} = f(S_0)$.

Видно, что это монотонные кривые, поэтому каждая из них с высокой степенью достоверности ($R^2 \geq 0{,}99$) может быть аппроксимирована полиномом второго порядка вида

$$t_{go} = k_1(n_0) \cdot S_0^2 + k_2(n_0) \cdot S_0 + k_3(n_0), \tag{2}$$

а вся серия нагрузочных характеристик системой следующих полиномов:

$$\begin{aligned} t_{go} &= -0{,}8732 \cdot S_0^2 + 2{,}0501 \cdot S_0 - 0{,}1789, \; n = 1{,}0; \\ t_{go} &= -1{,}0884 \cdot S_0^2 + 2{,}3587 \cdot S_0 - 0{,}3218, \; n = 0{,}9; \\ t_{go} &= -1{,}316 \cdot S_0^2 + 2{,}6532 \cdot S_0 - 0{,}449, \; n = 0{,}8; \\ t_{go} &= -1{,}6797 \cdot S_0^2 + 3{,}073 \cdot S_0 - 0{,}6827, \; n = 0{,}7. \end{aligned} \tag{3}$$

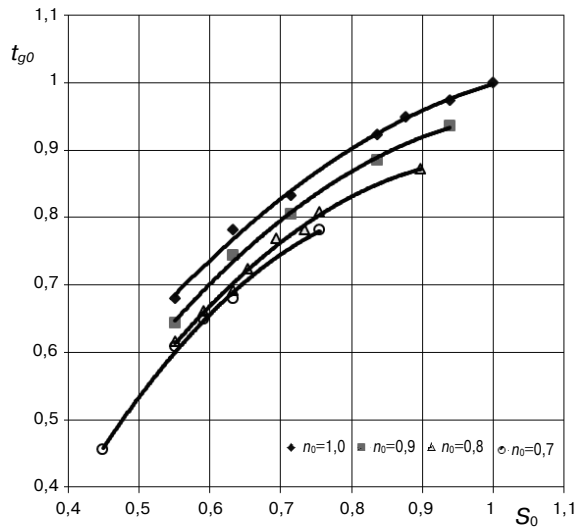


Рис. 1. Нагрузочные характеристики первого цилиндра двигателя 6ЧН25/34-3 в системе координат $t_{go} = f(S_0)$

Система полиномов (3) позволяет выявить закономерности изменения определяемых параметров $k_i = f(n_0)$.

На рис. 2 дано графическое представление зависимостей $k_i = f(n_0)$, $k_2 = f(n_0)$, $k_3 = f(n_0)$. Видно, что это также монотонные кривые, поэтому с высокой степенью достоверности ($R^2 \geq 0{,}99$) аппроксимированы полиномами второго порядка:

$$\begin{aligned} k_1(n_0) &= -3{,}8625 \cdot n_0^2 + 9{,}2073 \cdot n_0 - 6{,}2251; \\ k_2(n_0) &= 2{,}78 \cdot n_0^2 - 8{,}0892 \cdot n_0 + 7{,}3663; \\ k_3(n_0) &= 0{,}23 \cdot n_0^2 + 0{,}9476 \cdot n_0 - 1{,}3576. \end{aligned} \quad (4)$$

Подстановкой (4) в (2) получено уравнение поверхности, образованной последовательным смещением отрезка монотонной кривой $t_{go} = f(S_0)$ первого цилиндра в диапазоне изменения частоты вращения $0{,}7 \leq n \leq 1{,}0$:

$$\begin{aligned} t_{gop}^{\mathrm{I}} = {} & (-3{,}8625 \cdot n_0^2 + 9{,}2073 \cdot n_0 - 6{,}2251) \cdot S_0^2 + \\ & + (2{,}78 \cdot n_0^2 - 8{,}0892 \cdot n_0 + 7{,}3663) \cdot S_0 + \\ & + (0{,}23 \cdot n_0^2 + 0{,}9476 \cdot n_0 - 1{,}3576). \end{aligned} \quad (5)$$

По изложенным принципам получены уравнения поверхностей, образованные последовательным смещением нагрузочных характеристик остальных цилиндров двигателя 6ЧН25/34-3:

$$\begin{aligned} t_{gop}^{\mathrm{II}} = {} & (-11{,}287 \cdot n_0^2 + 23{,}087 \cdot n_0 - 12{,}32) \cdot S_0^2 + \\ & + (12{,}336 \cdot n_0^2 - 25{,}275 \cdot n_0 + 14{,}441) \cdot S_0 + \\ & + (-3{,}2025 \cdot n_0^2 + 6{,}8727 \cdot n_0 - 3{,}5649); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{gop}^{\mathrm{III}} = {} & (-8{,}8975 \cdot n_0^2 + 17{,}977 \cdot n_0 - 9{,}7956) \cdot S_0^2 + \\ & + (10{,}085 \cdot n_0^2 - 20{,}396 \cdot n_0 + 12{,}105) \cdot S_0 + \\ & + (-2{,}665 \cdot n_0^2 + 5{,}6359 \cdot n_0 - 3{,}666); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} t_{gop}^{\mathrm{IV}} = {} & (-7{,}91 \cdot n_0^2 + 17{,}174 \cdot n_0 - 9{,}6694) \cdot S_0^2 + \\ & + (6{,}86 \cdot n_0^2 - 16{,}026 \cdot n_0 + 10{,}408) \cdot S_0 + \\ & + (-0{,}7625 \cdot n_0^2 + 2{,}8269 \cdot n_0 - 1{,}8519); \end{aligned}$$

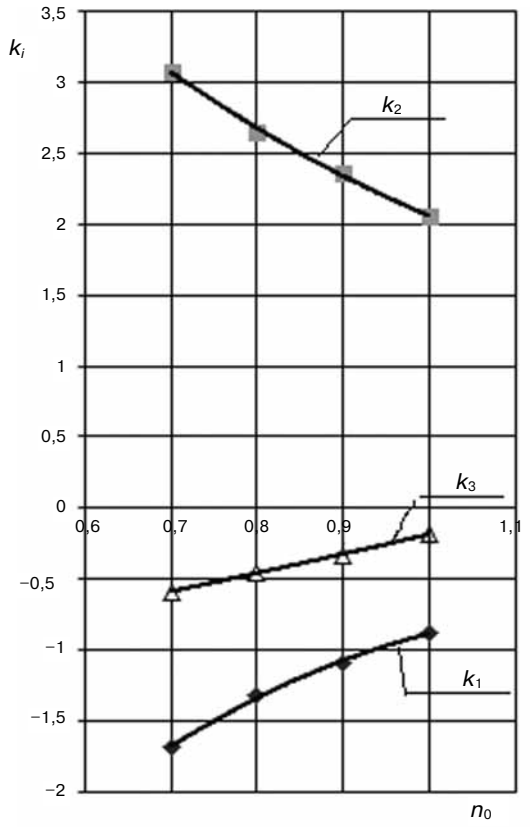


Рис. 2. Графическое представление зависимостей $k_1 = f(n_0)$, $k_2 = f(n_0)$, $k_3 = f(n_0)$

$$\begin{aligned} t_{gop}^{\mathrm{V}} = {} & (-16{,}197 \cdot n_0^2 + 35{,}987 \cdot n_0 - 19{,}943) \cdot S_0^2 + \\ & + (14{,}125 \cdot n_0^2 - 35{,}074 \cdot n_0 + 21{,}775) \cdot S_0 + \\ & + (-1{,}5 \cdot n_0^2 + 6{,}355 \cdot n_0 - 4{,}5003); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{gop}^{\mathrm{VI}} = {} & (-16{,}395 \cdot n_0^2 + 35{,}273 \cdot n_0 - 19{,}498) \cdot S_0^2 + \\ & + (12{,}93 \cdot n_0^2 - 31{,}331 \cdot n_0 + 19{,}994) \cdot S_0 + \\ & + (-0{,}69 \cdot n_0^2 + 4{,}3364 \cdot n_0 - 3{,}6266). \end{aligned}$$

На основе (5) и (6), посредством представления $t_{go\text{э}} = f(t_{gop})$, может быть сформирован единый инвариантный эталон двигателя 6ЧН25/34-3, представленный на рис. 3.

На рис. 4 приведена гистограмма распределения погрешностей расчета по всему массиву исходных данных. Видно, что уравнения (5), (6) воспроизводят опытные данные с погрешностью, не превышающей ±3 %.

Диагностирование рабочих процессов в цилиндрах двигателя посредством моделей (5), (6) и единого инвариантного эталона производится по нижеследующему алгоритму.

1. В произвольный период эксплуатации регистрируются значения информативных параметров t_{go}, n и S на 4–5 режимах, принадлежащих области, принятой за эталон.

2. По соотношениям (1) определяются безразмерные значения информативных параметров t_{go}, n_o и S_0.

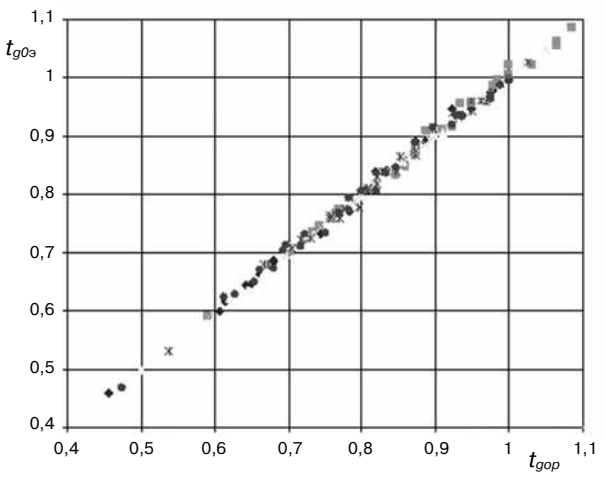


Рис. 3. Единый инвариантный эталон двигателя 6ЧН25/34-3

3. По уравнениям (5), (6) определяются расчетные значения температуры отработавших газов по цилиндрам t_{gop}.

4. Строятся зависимости $t_{gоэ} = f(t_{gop})$, соответствующие фактическим условиям сгорания топлива в цилиндрах.

5. С учетом реальных отклонений построенных зависимостей от эталона делается заключение о качестве функционирования цилиндров.

Результаты практического диагностирования двигателя 6ЧН25/34-3 по описанному алгоритму приведены на рис. 5 и 6.

Результаты диагностирования, приведенные на рис. 5, соответствуют условиям испытаний двигателя с разрегулированными форсунками первого и второго цилиндров и увеличенными зазорами в приводе клапанов третьего и четвертого цилиндров.

Давление впрыска топлива форсункой первого цилиндра снижено до 5,0 МПа, т. е. было в четыре раза меньше номинального. Здесь чрезмерное

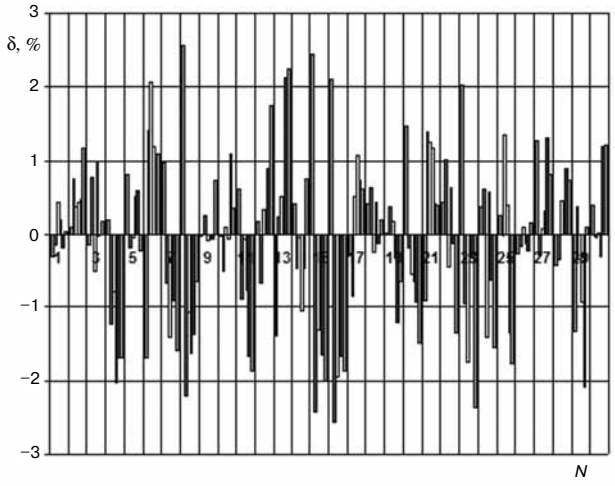


Рис. 4. Гистограмма распределения погрешностей расчета по всему массиву исходных данных

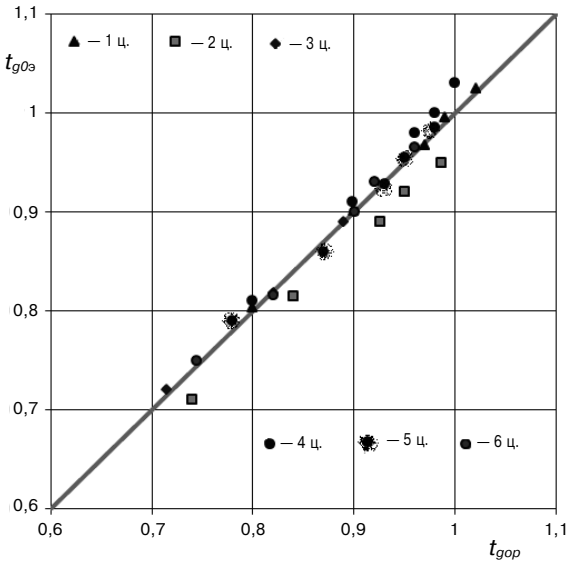


Рис. 5. Результаты практического апробирования экспериментально-теоретических моделей

Неисправности: 1-й цилиндр — давление снижено до 5 МПа; 2-й цилиндр — давление снижено до 7,5 МПа; 3-й цилиндр — увеличены зазоры в приводе клапанов до 1 мм; 4-й цилиндр — увеличены зазоры в приводе клапанов до 1,5 мм

снижение давления начала впрыска топлива на протекание рабочего процесса проявляется в соответствии с условием $t_{gоэ} < t_{gop}$, т. е. измеренные значения температуры отработавших газов на всех исследованных режимах оказываются меньше расчетных. Видимо в этом случае совокупное влияние факторов, определяющих тонкость распыла топлива и дальнобойность топливных факелов проявляется в том, что часть впрыснутого топлива попадает на стенки камеры сгорания и не участвует в процессе горения. При длительном воздействии именно такое проявление неисправности топливной аппаратуры может привести к

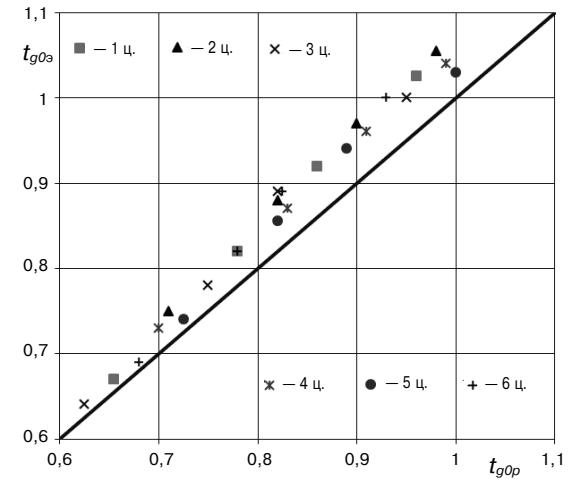


Рис. 6. Результаты практического апробирования экспериментально-теоретических моделей.

Неисправность: уменьшено на 50 % проходное сечение воздушного фильтра

наиболее тяжелым последствиям. Несгоревшее топливо смывает смазку со стенок цилиндра и коксуется на боковой поверхности поршня, что создает системные условия для его разогрева. В конечном счете воздействие этих факторов может привести к задирам на поверхности трения. То есть в случаях, когда измеренные значения температуры отработавших газов в каком-либо цилиндре оказываются меньше расчетных, следует искать неисправность в работе форсунки данного цилиндра.

Давление впрыска топлива форсунки второго цилиндра было снижено до 7,5 МПа. Видно, что для этого цилиндра с разбросом, не превышающим погрешности измерения, температура отработавших газов, укладывается на эталон. Очевидно данное давление впрыска близко к минимально допустимому, при котором заметного ухудшения смесеобразования не происходит.

В процессе эксплуатации двигателя фазы газораспределения изменяются. Основной причиной их изменения является износ кулачных шайб и увеличение зазоров в приводе клапанов. В результате сокращается продолжительность фаз открытия клапанов, ухудшается очистка и снижается воздушный заряд цилиндров. Согласно полученным результатам увеличение зазора в приводе клапанов до 1,0 мм (третий цилиндр) мало влияет на качество процесса сгорания в диапазоне исследованных нагрузок. Можно сказать, что уровень этого влияния не превышает погрешностей измерения температуры отработавших газов. При увеличении зазора до 1,5 мм (четвертый цилиндр), на режимах, близких к номинальному, достаточно отчетливо проявляется тенденция отклонения измеренных значений температуры отработавших газов от расчетных в соответствии с условием $t_{goэ} > t_{gop}$.

Перечень неисправностей, возникающих в элементах воздушно-газового тракта судовых дизелей, достаточно разнообразен. Наибольшее распространение получили неисправности, связанные с загрязнением воздушного тракта. В результате степень согласованности характеристик дизеля и турбокомпрессора частично нарушается, снижается коэффициент наполнения цилиндров, повышается температура деталей цилиндропоршневой группы, ухудшается расход топлива.

Описанный механизм проявления неисправностей элементов воздушно-газового тракта позволяет предположить, что реакция инвариантного эталона на эти неисправности должна соответствовать условию $t_{goэ} > t_{gop}$.

На рис. 6 приведены результаты испытаний двигателя при уменьшенном на 50 % проходном сечении воздушного фильтра. В исследованном диапазоне нагрузок данная неисправность проявляется на всех цилиндрах в соответствии с условием $t_{goэ} > t_{gop}$.

Аналогична реакция инвариантного эталона на увеличение противодавления выпуску и загрязнение охладителя наддувочного воздуха.

В связи с полученными результатами практического диагностирования можно отметить некоторые особенности и диагностические возможности инвариантных экспериментально-теоретических моделей.

Прежде всего ни один из рассмотренных факторов, вызвавших изменение условий сгорания топлива, в явном виде в модели (5, 6) не входит и тем не менее имеет место проявление их влияние на рабочий процесс. Этот факт свидетельствует о том, что в структуре моделей (5, 6) содержится некий обобщенный параметр роль которого выполняет температура отработавших газов по цилиндрам.

Применение обобщенных переменных обеспечивает моделям важные преимущества. Прежде всего достигается уменьшение числа переменных. Важным является и то обстоятельство, что в каждом конкретном случае имеется возможность определить тот минимум переменных, который необходим для построения модели, обладающей свойствами инвариантности относительно возможных режимов работы двигателя. Ясен и механизм, посредством которого инвариантные модели реагируют на проявление неисправностей в системах и механизмах, влияющих на условия горения топлива в цилиндрах.

Действительно, модели (5, 6) можно рассматривать как тождества, в которых заданным значениям параметров t_{go}, n и S, являющихся независимыми переменными, могут соответствовать только вполне определенные численные значения коэффициентов, т. е. величин, представляющих собой зависимые переменные. Такое строго однозначное соотношение между независимыми переменными и решениями возможно только для определенных условий сгорания топлива в цилиндрах. Если условия сгорания топлива изменяются необходимо построение нового эталона, соответствующего новым условиям.

В заключении отметим, что предлагаемые модели и алгоритмы их практического применения сравнительно просто программируются. Поэтому могут использоваться в бортовых системах автоматизированного контроля качества процессов сгорания топлива в цилиндрах судовых двигателей.

Литература

1. *Соболев Л.Г., Залитис В.А. и др.* Эксплуатационные испытания системы технического диагностирования главного судового дизеля // Судостроение. — 1980. — № 9. — С. 21–24

2. *Карпов Л.Н., Лютов И.Л., Гаврилов В.С.* Двигатели с турбонаддувом. — М. : Транспорт, 1971 — 280 с.

УДК 621.785

СОЧЕТАНИЕ ЗАКАЛКИ СТАЛЕЙ С ОБРАБОТКОЙ ПУЛЬСИРУЮЩИМИ ГАЗОВЫМИ ПОТОКАМИ

Д.А. Иванов, к.т.н., доц.,
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
О.Н. Засухин, зав. лаб.
Балтийский государственный технический университет ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова

Рассмотрены результаты применения экономичной и экологически безопасной технологии закалки сталей с использованием в качестве закалочной среды пульсирующего воздушного потока. Показано, что предлагаемая технология обеспечивает сочетание высокой закалочной твердости деталей при наименьших закалочных напряжениях и деформациях.





Прогресс в области машиностроения тесно связан не только с созданием и освоением новых материалов, но и с развитием и внедрением в производство новейших технологий упрочнения традиционных сталей.

Многие современные технологии упрочнения материалов в машиностроении и других отраслях промышленности основаны на использовании струйных течений газа. Подобная обработка материалов позволяет улучшать их свойства и работоспособность в несколько раз.

Среди упрочняющих струйных технологий особое место занимает обработка изделий пульсирующим дозвуковым потоком воздуха (газоимпульсная обработка). Данный метод прост, экономичен, экологически безопасен и позволяет не только упрочнять изделие, но и формировать в нем благоприятное напряженное состояние, а значит повысить его надежность.

Известно положительное влияние воздействия на конструктивную прочность металлических материалов и изделий нестационарных газовых потоков при сочетании этого воздействия с традиционной термической обработкой [1–9].

Вместе с тем нуждаются в уточнении оптимальные режимы подобной обработки, включая выбор оптимальных амплитудно-частотных характеристик газового потока, воздействующего на металлические изделия и заготовки, продолжительность воздействия, а также положение изделия в потоке, обеспечивающее наилучший результат, в том числе с учетом направления эксплуатационной нагрузки.

При закалке сталей закалочная среда должна, прежде всего, обеспечивать высокую твердость. С другой стороны, режим охлаждения должен быть таким, чтобы исключить возникновение значительных закалочных напряжений, приводящих к деформации изделия и образованию закалочных трещин.

Существующие закалочные среды лишь в бо́льшей или меньшей степени соответствуют этим требованиям, также не все они являются экономичными и экологически безопасными.

В связи с этим актуальной является задача разработки экономичных и экологически чистых способов закалки, способных обеспечить сочетание высокой закалочной твердости с меньшими, чем при стандартной закалке закалочными напряжениями и деформациями.

Ранее авторами был разработан способ термической обработки конструкционных сталей на высокопрочное состояние [3, 9], в соответствии с которым подвергают стандартной для сталей данной марки закалке на мартенсит с последующим воздействием пульсирующего дозвукового воздушного потока, имеющего частоту 1130–2100 Гц и звуковое давление 120–140 дБ при комнатной температуре. Этот способ инициирует процессы, аналогичные происходящим в закаленной стали при низком отпуске.

Недостатком данного способа является разделение операций закалки и обработки пульсирующим воздушным потоком, что снижает производительность процесса. При этом использование стандартных закалочных сред не обеспечивает получение высокой твердости материала без сопутствующих закалочных напряжений и деформаций.

Для совершенствования этой технологии была поставлена задача повысить производитель-

ность процесса за счет объединения закалки и обработки стали пульсирующим воздушным потоком при одновременном снижении закалочных напряжений и деформаций.

Задача была решена следующим образом. Конструкционные стали подвергают закалке на мартенсит в пульсирующем воздушном потоке, имеющем частоту до 2300 Гц и звуковое давление до 145 дБ, что обеспечивает скорость охлаждения выше критической скорости закалки. За счет пульсаций газового потока происходит сглаживание пиков закалочных напряжений, уменьшая тем самым деформацию при закалке. При последующем воздействии на закаленную сталь в течение 10–15 минут пульсирующего дозвукового воздушного потока при комнатной температуре, имеющего частоту 1130–2100 Гц и звуковое давление 120–140 дБ, на метастабильную структуру мартенсита закаленной стали оказывается комплексное влияние, способствующее протеканию в ней процессов, аналогичных превращениям при низком отпуске, вызывая более значительное, чем при низком отпуске, снижение остаточных напряжений. При этом закалка и последующее воздействие на закаленную сталь пульсирующего воздушного потока осуществляется за одну операцию, без перемещения обрабатываемого изделия.

Импульсное воздействие воздушного потока в процессе мартенситного превращения аустенита увеличивает количество центров образования новой фазы, повышая дисперсность мартенсита.

Увеличение дисперсности мартенсита в результате закалки в пульсирующем воздушном потоке обеспечивает стали более высокую твердость в сравнении с закалкой в стандартных средах при той же скорости закалочного охлаждения. Повышение дисперсности мартенсита способствует увеличению дисперсности продуктов его распада, инициированного последующим воздействием пульсирующего дозвукового воздушного потока, результатом которого является релаксация остаточных микронапряжений, что обеспечивает рост ударной вязкости и пластичности без снижения прочности.

Так, в случае конструкционной легированной стали 40Х закалка осуществлялась с температуры 860 °С в пульсирующем воздушном потоке, обдувающем образец со скоростью около 250 м/с, что позволило обеспечить скорость охлаждения образца выше критической скорости закалки. Уровень звукового давления составлял 140 дБ. Образцы при закалке располагались параллельно щели сопла (поперек истекающей струи). Последующее воздействие на закаленную сталь пульсирующего воздушного потока осуществлялось за одну операцию (без перемещения обрабатываемого изделия) в течение 15 минут. При этом скорость воздушного потока была снижена на треть, обеспечив экономию воздуха. Уровень звукового давления составлял 130 дБ. Направление обдува совпадало с направлением статического и динамического нагружения при механических испытаниях.

В табл. 1 приведены сравнительные механические свойства стали 40Х после различных видов термической обработки. Твердость стали после газоимпульсной обработки составила 53–54 единиц HRC, при этом ударная вязкость KCU достигала значения 1,1 МДж/м^2 благодаря ультрадисперсной мартенситной структуре в результате закалки в пульсирующем газовом потоке и снятию закалочных напряжений при последующем обдуве. Закалочные напряжения, судя по практически отсутствующей закалочной деформации, изначально могли быть существенно меньше, чем при стандартной закалке.

Приведенные данные показывают, что пластические свойства у образцов, обработанных по экспериментальной технологии, не уступают соответствующим свойствам после стандартных закалки и отпуска, а прочностные их превышают.

Применение воздействия нестационарных газовых потоков может существенно повысить конструктивную прочность деталей машин и других изделий, изготовленных из конструкционных металлических материалов традиционных марок.

Механические волны, возникающие в металлическом изделии при воздействии на него пульсирующим газовым потоком, способны оказать значительное влияние на подвижность дислокаций, напряженное состояние, а значит, и механические свойства материала детали.

Вместе с тем при упрочнении стандартно термообработанных металлических изделий с использованием газовых потоков необходимо ориентировать эти изделия относительно воздействующего потока с учетом направления будущих рабочих нагрузок. Устранение возникающей при этом в изделии анизотропии механических

Таблица 1

Механические свойства стали 40Х

Обработка	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	KCU, МДж/м^2	δ, %	HRC
Закалка	585	—	0,0125	0	54–55
Закалка и обдув закаленной стали в пульсирующем газовом потоке. Направление обдува совпадает с направлением статического и динамического нагружения	1983	1640	1,1	3	53–54
Закалка и отпуск 200° 1,5 ч	1800	1543	0,2	3	50–51

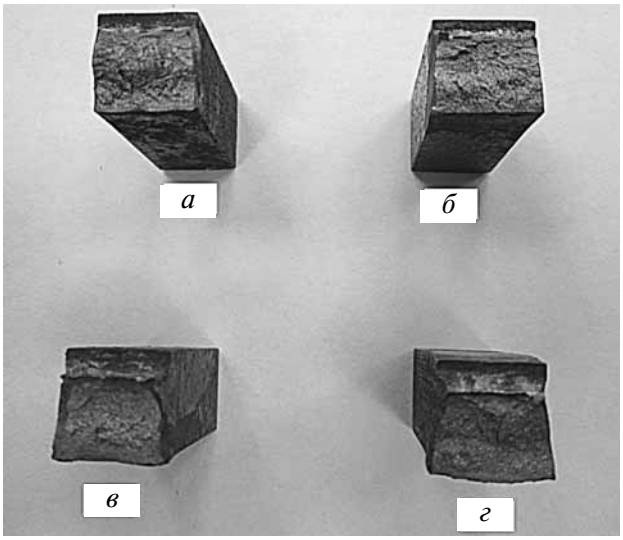


Рис. Сталь 40, газоимпульсная обработка после нормализации. Вид изломов ударных образцов (Менаже) в зависимости от размещения ударного образца относительно пульсирующего воздушного потока:
а — без обдува (KCU 0,8 МДж/м^2); *б* — вдоль потока (KCU 0,725 МДж/м^2); *в* — поперек потока (KCU 1,225 МДж/м^2); *г* — вдоль и поперек (KCU 1,725 МДж/м^2)

Таблица 2

Сталь 40, нормализация. Значения показателей ударной вязкости в зависимости от направления газоимпульсной обработки

Ударная вязкость в зависимости от направления газоимпульсной обработки KCU, МДж/м^2			
Без обработки	Направление обдува совпадает с направлением динамического нагружения	Направление обдува перпендикулярно направлению динамического нагружения	Обдув в продольном и поперечном направлении
0,8	1,225	0,725	1,725

свойств будет способствовать дальнейшему повышению его эксплуатационной стойкости.

Как показали результаты исследований, повысить показатели надежности термобработанных металлических изделий, подвергаемых газоимпульсной обработке, возможно вне зависимости от направления эксплуатационного нагружения (рис.).

Для этого стандартно термообработанные изделия размещают на выходе из успокоительной камеры установки, генерирующей колебания параметров газового потока, и обрабатывают пульсирующим газовым потоком при комнатной температуре последовательно в двух или более направлениях, до обеспечения изотропии свойств относительно направлений испытываемых эксплуатационных нагружений. Обработка изделия пульсирующим газовым потоком в каждом из направлений составляет 10–20 минут. Суммарная продолжительность обработки зависит от геометрических параметров изделия и условий его эксплуатации.

В случае изделий из стандартно нормализованной стали 40, обработанных пульсирующим газовым потоком с частотой порядка 900 Гц и звуковым давлением до 130 дБ (табл. 2) последовательно в продольном и поперечном направлениях, значение показателей ударной вязкости благодаря воздействию механических волн, генерируемых в изделии пульсациями газового потока, на 23 % превышают максимальные значения, полученные при односторонней обработке.

Литература

1. *Иванов Д.А.* Повышение конструктивной прочности машиностроительных сталей путем импульсного воздействия при отпускном охлаждении // Двигателестроение. — 2005. — № 4. — С. 30–32.

2. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Газоимпульсная обработка машиностроительных материалов без предварительного нагрева // Двигателестроение. — 2010. — № 2. — С. 20–22.

3. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Повышение конструктивной прочности машиностроительных материалов в результате сочетания термической и газоимпульсной обработки // Двигателестроение. — 2012 — № 3. — С. 12–15.

4. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Обработка пульсирующим газовым потоком высокопрочных и пружинных сталей // Двигателестроение. — 2014. — № 3. — С. 34–36.

5. *Иванов Д.А.* Воздействие газоимпульсной обработки на структуру и механические свойства нормализуемых сталей // Технико-технологические проблемы сервиса. — 2013. — № 3. — С. 19–22.

6. *Булычев А.В., Иванов Д.А.* Воздействие газоимпульсной обработки на структуру, свойства и напряженное состояние металлических изделий // Технология металлов. — 2013. — № 11. — С. 30–33.

7. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Использование пульсирующего дозвукового газового потока для повышения эксплуатационных свойств металлических изделий // Технология металлов. — 2015. — № 1. — С. 34–38.

8. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Повышение коррозионной стойкости конструкционных сталей газоимпульсной обработкой // Технология металлов. — 2015. — № 10. — С. 27–31.

9. Пат. 2506320 С1 Российская Федерация, (51) МПК C21D 1/78. Способ термической обработки конструкционных сталей на высокопрочное состояние / Иванов Д.А., Засухин О.Н., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. — № 2012125788/02, заявл. 20.06.2012, опубл. 10.02.2014. Бюл. № 4. — 3 с.

УДК 621.43

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ (материалы конгресса CIMAC 2013)

Обзор, включенный в этот выпуск, содержит перевод двух докладов, сделанных на Конгрессе CIMAC 2013.

Тематика первого из них относится к альтернативным экологически чистым источникам энергии на основе твердооксидных топливных элементов, которым свойственна высокая эффективность преобразования химической энергии в электрическую. Дальнейшее увеличение общего КПД системы возможно за счет использования тепла отработавших газов в газовой микротурбине. Общий КПД гибридной установки согласно результатам математического моделирования достигает 66,8 %. Данная установка была задумана как прототип силовой установки судна с электродвижением. Одним из недостатков топливных элементов является относительно большая инерционность процессов. В то же время судовая силовая установка должна обеспечить хорошую приемистость и, следовательно, маневренность судна. С учетом этих требований авторами разработана схема синхронного управления обоими источниками энергии — топливными элементами и микротурбиной — поддерживаемыми аккумуляторной батареей.

Второй доклад посвящен дизель-генераторам (АДГ) как источникам аварийного энергоснабжения атомных электростанций (АЭС). Отмечается, что атомными электростанциями производится от 13 до 18 % электроэнергии во всем мире. Срок эксплуатации АЭС, обычно составляющий 40 лет, по большей части продлевается по специальному разрешению. При этом, как правило, возникает необходимость модернизации или замены АДГ в связи с тем, что энергоемкость аварийных потребителей в ходе эксплуатации станции постепенно растет вследствие ее модернизации. В докладе подробно рассматриваются технические и организационные аспекты работы по форсировке или замене существующих АДГ. Нередко оказывается, что за время работы АЭС многие производители АДГ уже ушли с рынка, поэтому техническая поддержка существующих АДГ становится проблематичной. Вместе с тем все операции по форсировке или замене существующих АДГ необходимо провести в период перегрузочного простоя энергоблока, что обусловливает необходимость тщательного планирования такой работы.

Перевод докладов выполнен к.т.н. Г. Мельником

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ СУДОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ГАЗОВОЙ МИКРОТУРБИНЫ

Jiqing He, PL Zhou, David Clelland,
University of Strathclyde, Великобритания

Реферат

Для удовлетворения постоянно растущих требований международных нормативных документов, регламентирующих допустимый уровень вредных выбросов в атмосферу исследователи затрачивают огромные усилия для создания высокоэффективных и экологически чистых судовых силовых установок. В качестве одного из вариантов таких установок могут рассматриваться топливные элементы, отличающиеся высоким КПД и практически нулевым уровнем вредных выбросов. В настоящем докладе описана гибридная судовая силовая установка, представляющая собой комбинацию твердооксидного топливного элемента (solid oxide fuel cell — SOFC) и газовой микротурбины (micro gas turbine — MGT). В топливном элементе типа SOFC химическая энергия топлива преобразуется непосредственно в электрическую энергию и тепловую энергию горячих отработавших газов, которая может быть превращена в электричество с помощью газовой микротурбины. Общий КПД такой установки может достигать 80 %, при чрезвычайно низком уровне вредных выбросов. В то же время специфика судового применения, помимо выполнения основных функциональных требований, связанных с работой установки в качестве главного судового двигателя, вызывает необходимость разработки концепции управления гибридной системой. Такая концепция определяет характер взаимодействия и баланс между двумя источниками энергии — химической реакцией, протекающей в SOFC, и вращением ротора MGT. В настоящем исследовании с помощью программного пакета Matlab/Simulink было выполнено моделирование взаимодействия топливных элементов SOFC и MGT. При этом моделировались электрохимические процессы в SOFC и в установке реформинга топлива (природного газа), а также работа теплообменника и турбины. На основе разработанных математических моделей были предложены способы регулирования мощности гибридной системы, а также методы определения основных параметров и распределения вырабатываемой мощности между SOFC и MGT. Результаты моделирования подтвердили, что предложенные методы способны обеспечить эффективную и безопасную работу подсистем SOFC и MGT в судовых условиях.

Введение

В настоящем докладе рассматривается силовая установка нового типа, предназначенная для судовых условий и представляющая собой комбинацию топливных элементов SOFC газовой микротурбины. Система SOFC вырабатывает электрическую энергию в ходе химической реакции, в которой расходуется природный газ. Тепловая энергия отработавших газов SOFC утилизируется в MGT для производства дополнительной электроэнергии, увеличивая тем самым общий КПД установки.

Модель гибридной установки SOFC–MGT

Описание системы SOFC

Гибридная система SOFC–MGT (рис. 1) разработана на основе топливных элементов, которые производят электричество и тепловую энергию отходящих газов SOFC [2]. В данной системе циркулирует природный газ (метан) *1*, который через клапаны *2* и *6* и десульфуратор *3* подается в установку реформинга газа *9*, где протекает соответствующая химическая реакция. В ходе этой реакции вырабатывается водород, поступающий в окружающее топливный элемент пространство (*11*). С другой стороны в топливную сборку подается воздух *20* при помощи воздуходувки *18*. В рекуператоре *16* воздух нагревается за счет тепла отработавших газов SOFC. Далее

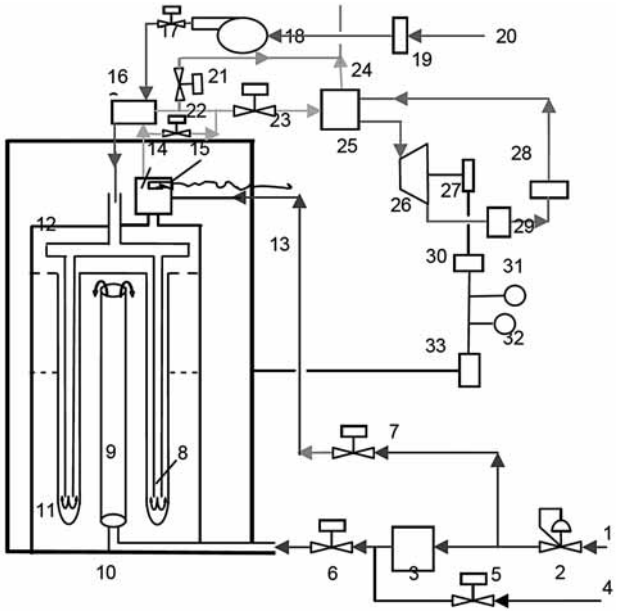


Рис. 1. Гибридная система SOFC и газовой микротурбины: *1* — природный газ; *2* — регулятор; *3* — десульфуратор; *4* — продувочный газ; *5–7*, *17*, *20–22* — регулирующие газовые клапаны; *8* — трубка подачи воздуха; *9* — установка реформинга топлива; *10* — топливная сборка; *11* — топливный элемент; *12* — воздушная емкость; *14* — камера сгорания; *15* — устройство зажигания; *16* — рекуператор; *18* — воздуходувка; *19* — воздушный фильтр; *20* — воздух; *21* — выход отработавших газов; *25* — теплообменник; *26* — турбина MGT; *27* — генератор; *28* — компрессор; *29* — охладитель; 30, 33 — инверторы; 31, 32 — нагрузка

нагретый воздух поступает в воздушный ресивер *12*, а оттуда через воздушные трубки (air supply tubes — ast) *8* — в пространство, окружающее топливные элементы, размещенные в стойке (топливной сборке). При этом внутри топливной сборки происходит химическая реакция между кислородом, содержащимся в воздухе, и водородом, в результате которой возникает электрический ток. Одновременно из топливного элемента выделяется тепло, отводимое отработавшими газами (*24*). Установка включает в себя также камеру сгорания, в которой, при необходимости, сжигаются излишки водорода и частично — поступающего природного газа. Смесь продуктов сгорания и отходящих газов является источником дополнительной энергии для газовой турбины или для поддержания температуры топливной сборки на необходимом уровне. Для выработки дополнительной электроэнергии используется MGT система, работающая по циклу Рэнкина [3]. Тепло отработавших газов поступает в систему не напрямую, а через теплообменник *25*.

Модель SOFC

Модель SOFC состоит из двух основных компонентов — блока реформинга и электрохимического блока. Первый блок служит для преобразования природного газа (метана) в водород, окись углерода и двуокись углерода, которое описывается уравнениями (1–3). Образовавшийся водород поступает во второй блок, где реагирует с кислородом воздуха (уравнения 3–5), в результате чего вырабатывается электрический ток.

$$CH_4 + H_2O(x) \rightarrow CO + 3H_2 \quad (1)$$

$$CH_4 + H_2O(y) \rightarrow CO_2 + H_2 \quad (2)$$

$$H_2 + S\,O_2(z) \rightarrow H_2O \quad (3)$$

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \quad (4)$$

$$O_2 + 2e^- + 2H^+ \rightarrow H_2O \quad (5)$$

где x, y и z — величины скорости преобразования (молярных расходов) CH_4, CO и H_2 соответственно.

При разработке системы SOFC были приняты следующие допущения.

➢ Все газы являются идеальными. В ходе реакций фазовые превращения отсутствуют.

➢ Утечки тепла через наружные стенки топливных элементов отсутствуют, отсутствует теплообмен между топливными элементами.

➢ Газ распределяется равномерно как внутри топливного элемента, так и между топливными элементами.

➢ Потоки среды описываются одномерной моделью.

На основании указанных допущений, при известных характеристиках химических и физических реакций в рабочих диапазонах температур и давлений, по уравнениям (1 и 2)

можно рассчитать выход водорода из установки реформинга газа. В реакции диссоциации водорода возникает электрический заряд и образуется электрическая энергия, при этом образуется ряд новых химических соединений, включая H_2, CO, CO_2 и H_2O. С использованием упомянутых выше уравнений и программного пакета «Matlab–Simulink» можно промоделировать электрохимические реакции и процессы реформинга [2]. Основные уравнения для вычисления электрического напряжения и тока топливного элемента имеют вид:

$$V = E_0 + \frac{RT}{2F}\ln\frac{p_{H_2}p_{O_2}^{1/2}}{p_{H_2O}} - \\ - \eta_{act} - \eta_{conc,a} - \eta_{conc,c} - \eta_{\Omega}; \quad (6)$$

$$I = 2\dot{n}_{H_2}F, \quad (7)$$

где E_0 — потенциал, практически линейно зависящий от температуры T; R и F — соответственно газовая постоянная и постоянная Фарадея; η_{act}, η_{conc}, η_{Ω} — активационные, концентрационные и омические потери соответственно; n — молярный расход.

Модель MGT

Энергоотдача MGT может быть рассчитана по изменению энтальпии и расходу отработавших газов SOFC. Адиабатическая мощность W_{ise}, фактическая выходная мощность W_{act} и температура на выходе турбины T_t могут быть рассчитаны соответственно по уравнениям:

$$W_{ise} = \dot{m}(\bar{h}_{t,in} - \bar{h}_{t,out}) = \\ = \dot{m}c_{t,p}T_{t,in}\left(1 - \frac{1}{(p_{t,in}/p_{t,out})^{\frac{1-r}{r}}}\right); \quad (8)$$

$$W_{act} = \eta_t \cdot W_{ise}; \quad (9)$$

$$T_{t,out} = T_{t,in}\left[1 - \eta_t\left(1 - (p_{t,in}/p_{t,out})^{\frac{1-r}{r}}\right)\right], \quad (10)$$

где m — массовый расход отработавших газов SOFC; $h_{t,in}$, $h_{t,out}$ — энтальпия соответственно на входе и на выходе из газовой турбины; $c_{t,p}$ — средняя удельная теплоемкость газа; $T_{t,in}$, $T_{t,out}$, $p_{t,in}$, $p_{t,out}$ — значения температур и давлений соответственно на входе и выходе из газовой турбины; r — коэффициент объемного расширения газа, и η_t — адиабатический КПД турбины.

Управление гибридной системой SOFC/MGT

Алгоритмы пуска и останова

Одной из важнейших задач проекта является создание системы регулирования, которая бы позволила обеспечить значения расходов топлива и воздуха, необходимых для поддержания заданной мощности. Перед запуском гибридной установки необходимо выполнить проверку подсистем SOFC и MGT, а также других компонентов, которые должны находиться в соответствующих состояниях или положениях. Проверка может проводиться как в ручном, так и в автоматическом режимах. В числе прочего должны проверяться: топливная сборка, газовый баллон для продувки, положение топливного клапана, фильтр, воздуходувка, насос и аккумуляторная батарея, а также смазочное масло и охлаждающая вода (или масло).

В процессе запуска сборка SOFC должна быть сначала медленно прогрета до температуры, достаточной для того, чтобы в установке реформинга газа началась реакция между CH_4 и H_2O. Для достижения нужной температуры SOFC может потребоваться включение камеры сгорания, работающей на дополнительном топливе. Запуск гибридной установки должен осуществляться в следующем порядке.

1. Запуск инициируется пусковой кнопкой.

2. Медленно (с заданным темпом) закрываются клапаны байпаса топлива, уменьшается подача дополнительного топлива (через регулирующий клапан *7*). Температура топливной сборки должна быть увеличена примерно до 1273 K. Для этого нужно обеспечить подачу топлива (воздействуя на клапан *23*) и воздуха в необходимых количествах.

3. Закрывается продувочный клапан *5*, при этом прекращается подача инертного газа.

4. При достижении необходимой температуры топливной сборки подача топлива и воздуха к горелке плавно снижается до нуля. К этому моменту коэффициент использования топлива в топливной сборке должен соответствовать значению ~ 0,85.

5. За счет увеличения подачи CH_4 мощность на выходе топливного элемента будет постепенно возрастать.

6. При достижении установившегося режима работы SOFC запускается турбина (MGT).

Процесс останова осуществляется в обратном порядке, т. е. сначала отключается подсистема MGT, а затем постепенно останавливается подсистема SOFC. Этот процесс должен происходить в следующем порядке.

1. Снижается выходная мощность MGT за счет уменьшения расхода и давления отработавших газов. Для этого плавно закрывается дроссельный клапан байпаса (*21*), пока выходная мощность MGT не снизится до нуля. Затем от электрических шин установки отсоединяется инвертор *30*.

2. Далее снижается мощность системы SOFC,

отключается камера сгорания, обесточивается инвертор *33* и закрываются топливные клапаны *6* и *1*. Начинается охлаждение топливной сборки инертным газом через продувочный клапан *5*, чтобы предотвратить окисление анодов из-за повышенной температуры реагентов.

3. Выходной дроссельный клапан *21* открывается постепенно, пока не переместится в полностью открытое положение. Для дальнейшего охлаждения топливной сборки постепенно открывается клапан *22* в байпасе системы рекуперации *16*.

4. После достижения заданной температуры топливной сборки подсистема SOFC переводится в режим холостого хода.

Работа на частичных нагрузках

Рассмотрены два возможных способа управления расходом топлива и воздуха на частичных нагрузках [4].

Способ 1: подстраивать расход воздуха под расход топлива таким образом, чтобы поддерживалось постоянство температуры топливной сборки.

Способ 2: подстраивать расход воздуха под расход топлива таким образом, чтобы поддерживалось постоянство соотношения воздух–топливо.

В обоих случаях расход топлива регулируется с помощью топливного клапана, а расход воздуха — с помощью воздушной заслонки.

Управление мощностью в переходных режимах

Цель управления мощностью в переходных режимах состоит в том, чтобы обеспечить установившийся режим работы подсистемы SOFC или, по крайней мере, ограничить скорость изменения режима во избежание внезапного останова системы из-за перегрузки. Как только внешняя нагрузка начинает расти, контроллер подключает аккумуляторную батарею или суперконденсатор к распредустройству, как показано на рис. 2. Это позволяет системе быстро принять наброс нагрузки и затем плавно увеличивать мощность SOFC до заданного значения в течение достаточно короткого времени. Остальная часть необходимой мощности будет обеспечиваться MGT.

Дефицит мощности в переходном процессе покрывается за счет энергии аккумуляторной батареи. При снижении нагрузки мощность MGT должна быть сброшена мгновенно за счет открытия байпасного клапана *21* в линии выпуска, чтобы снизить количество отработавших газов, поступающих в MGT. Это позволит снижать мощность SOFC постепенно, после чего байпасный клапан начнет медленно закрываться, обеспечивая тем самым плавное повышение мощности MGT до тех пор, пока не будет достигнуто новое установившееся состояние. Контроллер выполняет расчет падения выходной

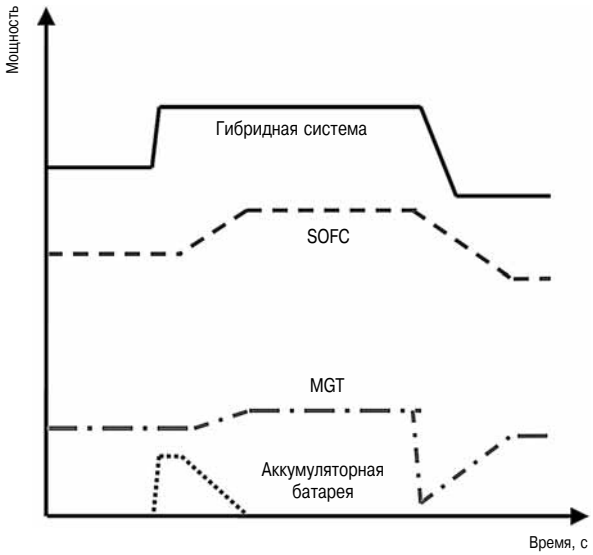


Рис. 2. Изменение мощности компонентов системы во времени

мощности системы SOFC, степени открытия байпасного клапана, необходимого замедления регулирующего воздействия для SOFC и MGT при внезапном падении нагрузки. Для простоты переходный процесс на рис. 2 изображен как линейный.

Разработка системы управления мощностью гибридной системы SOFC/MGT

Структура системы SOFC/MGT достаточно сложна. В SOFC происходят химические реакции при высоких температурах, в MGT происходит утилизация энергии отработавших газов SOFC и с большой скоростью вращается ротор. Поэтому организовать совместное управление обеими подсистемами оказывается далеко не простым делом. В работе [5] исследовали модели MGT и топливных ячеек сначала по отдельности, а затем — при совместной работе в составе гибридной системы. В работах [6–8] представлены методы управления SOFC и MGT по отдельности. Управление распределением генерируемой мощности в гибридной системе SOFC–MGT при изменении нагрузки никогда прежде не исследовалось. Система управления мощностью установки (SOFC–MGT) была разработана авторами настоящего доклада на основании собственной концепции. Как следует из рис. 3, система управления включает в себя три основных контроллера, управляющих соответственно температурой, использованием топлива и мощностью.

Управление температурой

Одна из главных задач контура управления температурой — поддержание постоянной (в определенных пределах) температуры SOFC. Превышение допустимого температурного уровня

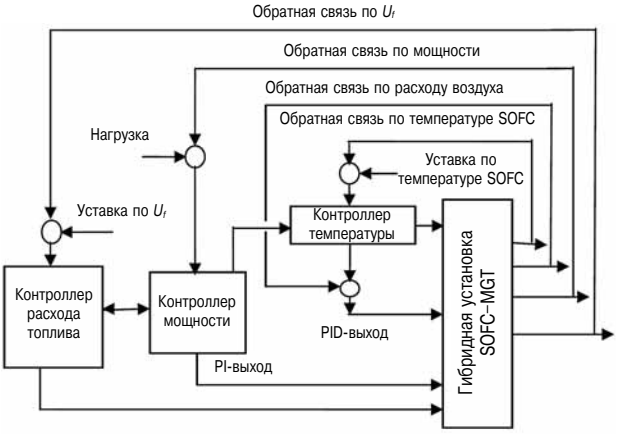


Рис. 3. Система управления гибридной установкой SOFC–MGT

или слишком быстрый рост температуры могут привести к увеличению термических напряжений и термической усталости материала топливного элемента, в результате чего ухудшаются его показатели, включая срок службы. Стабилизация температуры топливных элементов достигается регулированием расхода воздуха через систему и производительности горелки камеры сгорания. Уставка по температуре составляет порядка 1000 °C, допустимый максимум — 1050 °C. Как следует из рис. 3, при отклонении температуры от заданного значения сигнал отклонения поступает в контроллер, на выходе которого формируется PID-сигнал, корректирующий расход воздуха через топливную сборку, причем последний будет зависеть также от сигнала контроллера мощности. Сигнал контроллера мощности зависит от соотношения между выходной мощностью SOFC и соответствующим расходом воздуха. Если температура топливной сборки недостаточна, контроллер температуры может дать сигнал на включение дополнительной камеры сгорания.

Управление мощностью и коэффициентом использования топлива

В гибридной системе SOFC–MGT до 75 % общей мощности системы генерируется в подсистеме SOFC в виде электрической мощности. Выходная мощность SOFC оказывает влияние также на мощность MGT. Таким образом, управление мощностью в гибридной системе сводится, главным образом, к управлению мощностью SOFC. Основная функция контроллера мощности — это управление расходом топлива. Однако при этом необходимо управлять также и коэффициентом использования топлива (fuel utilization — U_f) [8], поскольку одна и та же мощность в SOFC может генерироваться при разных значениях расхода топлива и U_f. Как видно из рис. 3, уставка по заданной нагрузке сравнивается с генерируемой мощностью (обратная связь), и сигнал их разности поступает в контроллер мощности. На выход контроллера поступают три сигнала:

- первый сигнал поступает в контроллер расхода топлива, где он совместно с сигналом по разности между сигналами уставки U_f и обратной связи по U_f формирует PID-сигнал управления топливоподачей;
- второй сигнал поступает в контроллер температуры;
- третий сигнал (PI) регулирует напряжение топливного элемента SOFC и тем самым задает мощность на выходе SOFC.

Обычно уставка по U_f составляет порядка 85 %. Исходя из этого контроллер мощности управляет расходом топлива пропорционально меняющейся нагрузке.

Результаты исследования

На рис. 4 показана зависимость электрического КПД гибридной системы SOFC–MGT от нагрузки при использовании первого способа управления. Электрический КПД начинает расти, начиная со значения порядка 57,5 % (при 20 % нагрузки) до максимальной величины 66,8 % (при нагрузке около 55 %), затем уменьшается примерно до 63 % (при полной нагрузке). Когда используется второй способ управления, общий КПД гибридной системы падает — от 66 (при 80 % мощности) до 64 % (при полной нагрузке). Из данных рис. 4 также следует, что при одинаковой мощности на выходе второй способ управления по сравнению с первым способом обеспечивает несколько более высокий КПД. Однако второй способ управления применим только в небольшой части рабочего диапазона, что не позволяет системе работать при относительной электрической мощности менее 80 %. Причиной является ограничение по максимальной температуре топливной сборки и по минимальной температуре

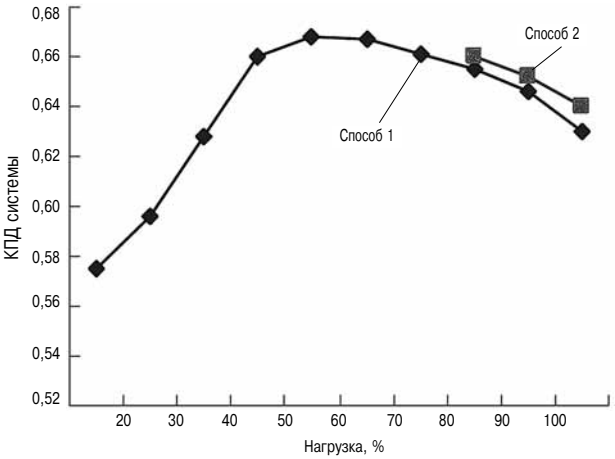


Рис. 4. КПД гибридной системы SOFC–MGT при разных способах управления мощностью

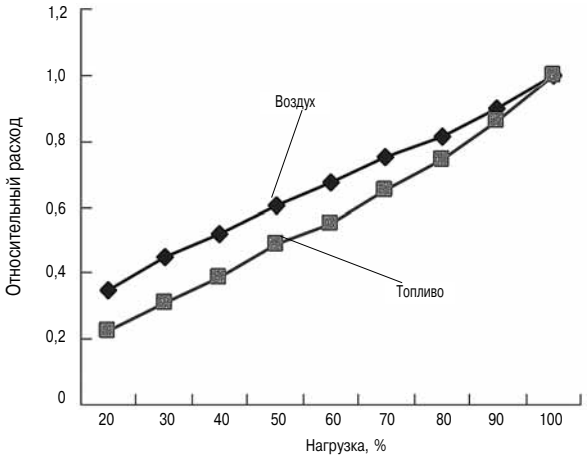


Рис. 5. Изменение расхода воздуха и топлива в зависимости от мощности

газов на входе в турбину. В случае использования второго способа управления (предполагающего поддержание постоянного соотношения воздух–топливо) при электрической нагрузке менее 80 % установка не может вырабатывать тепло в количестве, достаточном для поддержания температуры топливной сборки на необходимом уровне. Поэтому в настоящем исследовании за основу был принят первый способ управления.

На рис. 5 показано изменение расхода топлива и воздуха в зависимости от нагрузки, а рис. 6 — температура топливной сборки (SOFC), а также температура отходящих газов на входе (turbine inlet — TIT) и на выходе (turbine outlet — TOT) из турбины в функции нагрузки. Как видно из рисунка, температура SOFC остается практически неизменной, в то время как температура на входе в турбину по мере увеличения мощности растет. Однако температура на выходе из турбины при этом падает, так как рост мощности происходит за счет роста КПД турбины. На рис. 7 показано соотношение вырабатываемых мощностей SOFC и MGT на установившихся режимах

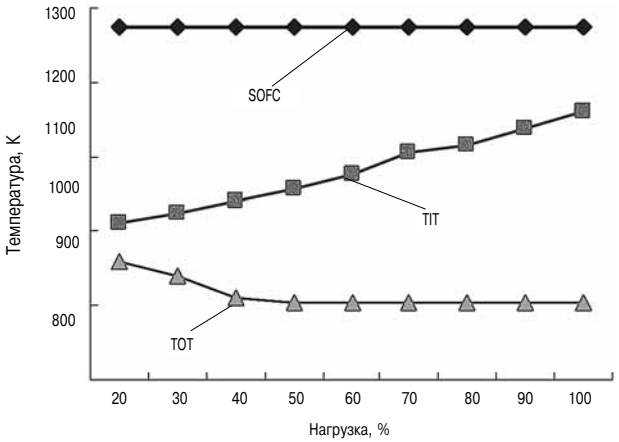


Рис. 6. Температуры SOFC и отходящих газов на входе (TIT) и выходе из турбины (TOT)

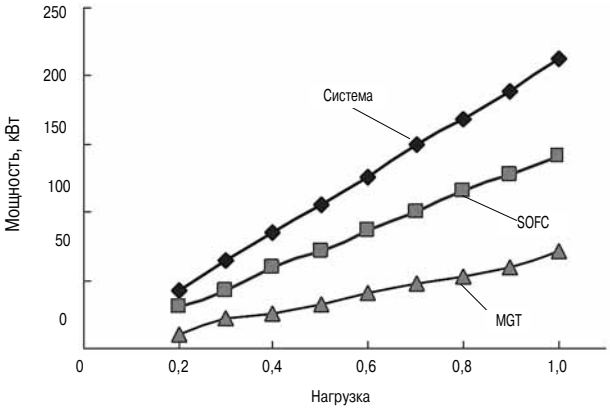


Рис. 7. Мощность гибридной системы, SOFC и MGT в зависимости от нагрузки

при различных нагрузках. При номинальной (расчетной) нагрузке электрическая мощность гибридной системы составляет 210 кВт, из которых порядка 150 кВт вырабатывается SOFC, а остальные 60 кВт — MGT.

Кривые на рис. 8 и 9 характеризуют динамику компонентов системы (SOFC и MGT) на неустановившихся режимах работы. При мгновенном сбросе нагрузки на 10-й секунде выходная мощность MGT снижается примерно через одну секунду за счет открытия байпасного клапана между SOFC и MGT по сигналу контроллера. В то же время мощность SOFC снижается постепенно и практически линейно и заканчивается примерно на 110 секунде. В случае резкого увеличения нагрузки (см. рис. 9) недостаток мощности SOFC менее чем через секунду будет восполнен за счет подключения аккумуляторной батареи, что дает SOFC достаточно времени (порядка 100 секунд) для медленного увеличения вырабатываемой мощности до тех пор, пока не будет достигнуто новое равновесное состояние. Данный способ регулирования мощности благодаря медленному и плавному изменению нагрузки обеспечивает защиту топливной сборки от

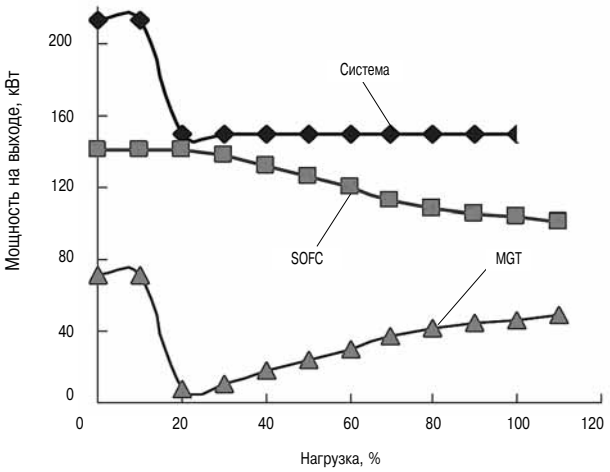


Рис. 8. Изменение мощности при снижении нагрузки

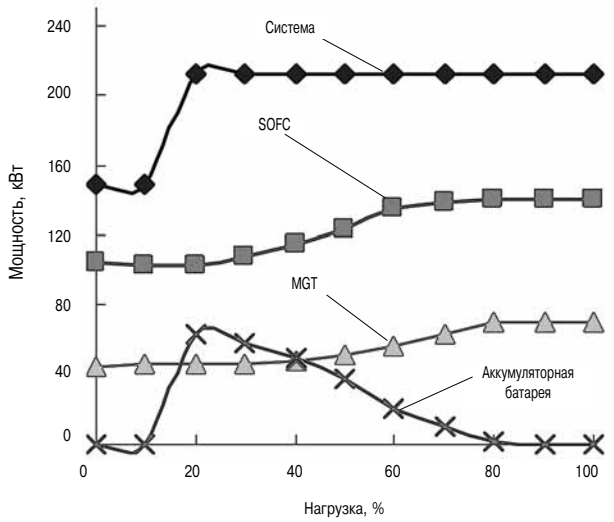


Рис. 9. Изменение мощности при увеличении нагрузки

тепловой перегрузки и согласованное распределение вырабатываемой мощности между SOFC и MGT как на установившемся, так и на переходном режимах.

Выводы

Настоящая работа посвящена исследованию компонентов гибридной системы SOFC–MGT, предназначенной для использования в качестве судовой силовой установки, в том числе такие ее элементы, как установка реформинга газа и топливная сборка. Разработаны и апробированы динамические модели гибридной системы, а также способы управления совместной работой ее элементов. Показано, что эти способы обеспечивают защиту топливной сборки от перегрузок во время пуска, останова и работы системы на неустановившихся режимах. Алгоритмы регулирования расходов топлива и воздуха, температуры SOFC, а также температур на входе и на выходе турбины позволяют обеспечить высокий КПД гибридной системы, превышающий 60 %.

Литература

1. US DOE, 2004, Fuel Cell Handbook 7th ed. DOE/NETL., Morgantown, WV.

2. He J et al., 2011, Thermal analysis of integrated solid oxide fuel cell and micro gas turbine system for marine application, Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (ISME) October 17–21, Kobe, Japan Paper ISME503

3. Al-Sulaiman F.A. et al., Exergy analysis of an integrated solid oxide fuel cell and organic Rankine cycle for cooling, heating and power production, Journal of Power Sources 195 (2010) 2346–2354

4. Li Y et al., 2011, Part-load, startup, and shutdown strategies of a solid oxide fuel cell-gas turbine hybrid system, Front. Energy 2011, 5(2): 181–194 DOI 10.1007 /s11708–011–0149–7

5. Zhu Y., and Tomsovic K., 2002, Development of models for analyzing the load following performance of microturbines and fuel cells, Electric Power Syst. Res. 62 (2002) 1–11.

6. Stiller C et al., 2006, Control strategy for a solid oxide fuel cell and gas turbine hybrid system, Journal of Power Sources 158 (2006) 303–315

7. Jiang W et al., 2010, Control Strategies for Start-Up and Part-Load Operation of Solid Oxide Fuel Cell/Gas Turbine Hybrid System, DOI10.1115/1.3006197.

8. Milewski J et al., 2010, The control strategy for high temperature fuel cell hybrid systems, The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering (OJEEE) Vol. (2) № 4)

9. Larminie J., and Dicks A., 2003, Fuel Cell Systems Explained, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd.

ЮБИЛЕЙ!

Леониду Васильевичу Тузову 85 лет!



2 января 2016 года исполняется 85 лет заслуженному машиностроителю РФ, академику РАТ, лауреату премии Совета Министров РСФСР, д.т.н., профессору Санкт-Петербургского Государственного Университета морского и речного флота им. С.О. Макарова члену редакционной коллегии журнала «Двигателестроение» Тузову Леониду Васильевичу.

Редакция журнала «Двигателестроение», коллеги и друзья поздравляют Леонида Васильевича с юбилеем и желают здоровья, долгих лет жизни, счастья, дальнейших успехов.

ОБНОВЛЕНИЕ ПАРКА АВАРИЙНЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Arthur G. Killinger, Mark J. O'Connell,
MPR Associate, Inc., США

Реферат

В мире существует большое количество атомных электростанций, которые уже получили или получат в ближайшем будущем разрешение на продление 40-летнего срока их эксплуатации. Системы безопасности. Станции стареют и нуждаются в модернизации (апгрейде) или замене, что позволило бы продлить их ресурс еще на срок не менее 20 лет. Аварийные дизель-генераторы (АДГ) атомных электростанций относятся к числу систем, критичных для безопасности и необходимых для смягчения последствий аварии. На протяжении большей части своего срока службы АДГ атомной электростанции находятся в состоянии горячего резерва, т. е. готовности обеспечить пуск и работу оборудования станции, необходимого для безопасной остановки реактора. В течение 40-летнего срока эксплуатации станции такой агрегат работает менее 4000 часов, что по выражению специалистов «даже не обкатка». В ряде случаев подобный агрегат имеет лишь незначительный запас мощности по отношению к аварийным потребителям электроэнергии, поскольку энергоемкость таких потребителей в ходе эксплуатации станции постепенно растет вследствие ее модернизации. Многие производители АДГ за это время успевают уйти с рынка, поэтому приобретение запчастей и техническая поддержка со стороны производителя становятся проблемой. Все АДГ атомных электростанций должны удовлетворять весьма жестким требованиям в части обеспечения качества, а также специальным требованиям к их конструкции, что определяется нормативными документами и стандартами [1–4]. В настоящем докладе рассматриваются технические и юридические аспекты, связанные с заменой двух существующих АДГ атомной электростанции в Южной Корее на новые, которые ранее не были сертифицированы для работы в составе АЭС. Приводится описание всех стадий проекта модернизации существующих АДГ, в том числе:

➢ технико-экономическое обоснование замены существующих АДГ;

➢ разработка технических требований к новым АДГ;

➢ разработка закупочной спецификации;

➢ работа с поставщиком АДГ на предмет их сертификации (если они не были сертифицированы ранее для данного применения);

➢ разработка требований к проведению заводских испытаний новых АДГ и проведению испытаний на месте установки;

➢ разработка проекта модернизации станции, связанной с установкой новых АДГ;

➢ демонтаж старых АДГ и установка вместо них новых;

➢ проведение испытаний новых АДГ на месте установки.

Введение

По данным Всемирной Ядерной Ассоциации (World Nuclear Association — WNA), атомными электростанциями производится от 13 до 18 % электроэнергии во всем мире [5]. Общая электрическая мощность 430 промышленных ядерных реакторов, эксплуатируемых в 31 стране мира, составляет 372 000 МВт. Особенно быстро растет потребление электроэнергии в развивающихся странах. В настоящее время идет строительство более 60 ядерных реакторов в 14 странах, в первую очередь — в Китае, Южной Корее и России [6].

Как правило, расчетный срок службы атомной электростанции составляет от 25 до 40 лет. Однако, как показали недавние обследования технического состояния действующих станций, многие из них вполне пригодны для эксплуатации и по истечении указанного срока.

Более чем 60 реакторам в США их проектный 40-летний срок службы был продлен до 60 лет. Поданы ходатайства об аналогичном продлении ресурса по целому ряду энергоблоков, работающих в различных странах мира.

Каждый энергоблок должен быть оборудован источником аварийного питания для обеспечения возможности срочного останова реактора в случае серьезной аварии или потери внешнего энергоснабжения станции (loss of off-site power — LOOP). В качестве источников аварийного питания для АЭС традиционно используются среднеоборотные дизель-генераторы мощностью от 2 до 8 МВт (рис. 1). Как правило, каждый энергоблок должен быть снабжен двумя АДГ, каждый из которых работает на собственные шины системы безопасного аварийного останова. В процессе нормальной эксплуатации станции

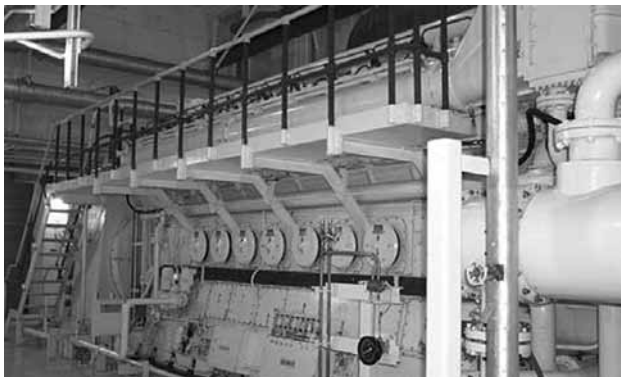


Рис. 1. АДГ на атомной электростанции в США

АГД включаются в работу только при проведении их периодических (ежемесячных) контрольных испытаний. Цель таких испытаний — проверка способности АДГ к запуску и выходу на расчетную нагрузку в соответствии с проектными требованиями. В результате фактическая АДГ наработки редко превышает 100–150 часов в год. Даже после 30–40 лет работы станции наработка АДГ редко превышает 5000 моточасов.

Чаще всего необходимость замены АДГ вызывается форсировкой реактора по тепловой мощности. При этом растет размерность и, соответственно, потребляемая мощность таких компонентов систем безопасности, как насосы, вентиляторы, клапаны и электродвигатели. Это означает, что мощность существующих АДГ может оказаться недостаточной в таких ситуациях, как LOOP или авария с потерей теплоносителя (Loss of Coolant Accident — LOCA). Износ АДГ по сути дела отсутствует, однако владельцы АЭС сталкиваются с рядом других проблем, одна из которых состоит в том, что за время, прошедшее с момента установки АДГ, его производитель мог уйти с рынка. Следствием этого может быть дефицит запчастей и прекращение технической поддержки. Еще одна возможная причина для замены АДГ — моральный износ, что опять-таки затрудняет техобслуживание и поиск запчастей. Поэтому многие атомные электростанции в предстоящие 5–10 лет окажутся перед необходимостью апгрейда или замены установленных АДГ. Наконец, в последнее время атомные электростанции во всем мире получают от соответствующих надзорных органов требования усовершенствовать системы аварийного питания после аварии 2011 г. на японской АЭС Фукусима, вызванной приливной волной. Подобного рода апгрейд сейчас проводится ускоренными темпами на многих АЭС, при этом модернизацию проходят системы и оборудование всех уровней. В некоторых случаях оказывается достаточным на основании соответствующих расчетов, форсировать существующие АДГ путем их модернизации и замены отдельных компонентов. Однако для проведения подобных расчетов обычно требуются такие характеристики деталей и узлов, которые не всегда удается получить от проектанта АДГ. К тому же возможности форсировки, как правило, ограничены пятью-десятью процентами длительной мощности двигателя, которых может не хватить для покрытия увеличившейся мощности аварийных потребителей. Поэтому в большинстве случаев владельцы АЭС приходят к необходимости установки новых, более мощных аварийных источников энергии.

Технико-экономическое обоснование

Первое, что должен сделать владелец АЭС, столкнувшийся с необходимостью увеличить мощность источников аварийного питания — это составить технико-экономическое обоснование, рассмотрев несколько возможных вариантов форсирования или замены существующего оборудования. При этом обычно рассматриваются три основных варианта, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки (табл. 1).

Технико-экономическое обоснование — это сравнительная оценка трех имеющихся вариантов, а именно:

- ➢ форсировать существующие АДГ;
- ➢ демонтировать существующие АДГ и в достаточно короткое время установить на их место новые в тех же помещениях;
- ➢ построить новое здание для новых АДГ.

Поскольку технико-экономическое обоснование является лишь предварительной оценкой рассматриваемых вариантов, представлять его надзорному органу для утверждения нет необходимости.

Таблица 1

Варианты реконструкции АДГ: потенциальные достоинства и недостатки / ограничения

Вариант	Потенциальные достоинства	Потенциальные недостатки / ограничения
Форсировка существующих АДГ	Это вариант, как правило, самый дешевый. Требует немного времени — при наличии новых компонентов, идущих на замену старым	Возможности форсировки по мощности ограничены
Установка новых АДГ на место существующих	Этот вариант по стоимости является промежуточным между первым и третьим вариантами. Не связан с существенным увеличением площади станции и места, необходимого для установки	Данная операция — самая длительная из всех, проводимых во время перегрузочного простоя. Новые АДГ должны поместиться в существующие машинные помещения
Постройка нового здания для новых АДГ	Основная часть работ может выполняться без остановки реактора. Размеры и мощность новых АДГ практически не ограничиваются	Самый дорогостоящий вариант. Могут потребоваться новые хранилища дизельного топлива. Скорее всего могут понадобиться новые электрические трансформаторы и кабели. Поскольку площадь энергоблока при этом увеличивается, для нового здания на станции может не хватить места

Если принято решение о форсировке установленных АГД, то прежде всего необходимо детально проанализировать и рассчитать на новые нагрузки основные компоненты двигателя — подшипники, шатуны, коленвал и головки цилиндров с тем, чтобы оценить резерв увеличения мощности с точки зрения прочности. Мощность дизеля может быть увеличена за счет установки новых компонентов системы впрыска топлива и более эффективного турбокомпрессора. Кроме того, необходимо оценить готовность вспомогательных систем двигателя, генератора и системы его возбуждения к повышенной нагрузке. Если выяснится, что форсировки существующих АДГ недостаточно для обеспечения необходимой мощности, следует рассмотреть варианты их замены.

Технико-экономическое обоснование нового проекта должно учитывать такие факторы, как:

- площадь свободной территории вокруг энергоблока, где можно было бы разместить новое здание для АДГ большего размера;
- пригодность данного земельного участка для сооружения фундамента достаточной глубины, чтобы выдержать нагрузки от новых АДГ;
- возможность размещения новых АДГ на месте существующих:
  - эффективность противопожарной защиты в машинном помещении;
  - пригодность существующих вспомогательных систем для обслуживания новых АДГ;
  - адекватность систем управления и вспомогательного оборудования в машинных помещениях;
- реалистичность намеченного графика работ;
- анализ пригодности имеющихся систем, конструкций и компонентов, которые предполагается оставить для поддержи новых АДГ;
- анализ необходимости приобретения новых компонентов для реализации проекта по замене АДГ.

Одна из целей технико-экономического обоснования — анализ возможных рисков, связанных с выполнением проекта, который должен показать, что эти риски являются управляемыми, а план-график работ предусматривает запас времени, достаточный для завершения работ за время перегрузочной стоянки реактора.

В случае с южнокорейской АЭС ожидаемая пиковая аварийная нагрузка превышала длительную мощность АДГ. Кроме того, учитывая фактор устаревания установленных АДГ, отсутствие запчастей к ним и недоступность технической поддержки со стороны изготовителя, было принято решение об их замене. Технико-экономическое обоснование показало, что есть возможность установить новые, более мощные АДГ в существующих машинных помещениях. При этом был определен ряд моделей АДГ, имеющихся на рынке и пригодных для данной цели.

Техническое задание

Целью замены или модернизации АДГ является совершенствование конструкции, улучшение эксплуатационных параметров, удобства обслуживания и надежности системы аварийного энергопитания АЭС с учетом продления срока службы станции. Техническое задание устанавливает технико-экономические показатели (критерии), которые должны быть достигнуты при замене АДГ, и касается следующих компонентов и систем:

- хранилища дизельного топлива;
- здание АДГ (если оно строится заново);
- вспомогательные системы и системы управления, обеспечивающие функционирование АДГ в режиме резерва и при работе на нагрузку.

В случае с южнокорейской АЭС было установлено, что существующие хранилища дизельного топлива и здание АДГ соответствуют требованиям проектной документации и могут быть сохранены для дальнейшего использования.

Закупочная ведомость

Закупочная ведомость определяет все, что связано с конфигурацией, расчетом, поставками оборудования, его установкой, испытаниями и вводом в эксплуатацию при замене АДГ и их вспомогательных систем. В ней должны быть указаны стандарты и технические условия, содержащие требования, обязательные для выполнения, а также требования к обеспечению качества инженерных расчетов и поставляемых компонентов.

В закупочную ведомость включаются требования к конструкции, материалам, изготовлению, доставке, снятию и установке оборудования, пуско-наладке и сдаче в эксплуатацию оборудования, получаемого от сертифицированного поставщика дизель-генераторов. Если закупаемые АДГ предназначены для установки в новом здании, в техническую спецификацию закупок включаются конструктивные и функциональные требования к вспомогательным системам АДГ.

План-график должен охватывать все этапы, проекта, т. е. инженерные разработки, поставки оборудования и материалы с длительным сроком изготовления, изготовление и сборка новых компонентов, деятельность субподрядчиков, все необходимые инспекции и измерения существующего оборудования на месте установки, изменения (в случае необходимости) существующих и сохраняемых компонентов, сборку на заводе и промежуточные испытания, заводские приемочные испытания и финальную инспекцию.

Закупочная ведомость в связи с заменой АДГ на южнокорейской АЭС была подготовлена силами персонала АЭС и внешних контрагентов.

Квалификационные требования к АДГ

АДГ должны иметь мощность, достаточную для пуска и вывода на номинальный режим (поддерживая при этом напряжение и частоту питания в допустимых пределах) потребителей, автоматически подключаемых при наступлении проектных событий, включая LOOP или LOOP в сочетании с проектной аварией LOCA.

В США АДГ должны соответствовать требованиям документа Комиссии ядерного надзора (U.S. Nuclear Regulatory Commission — NRC) Regulatory Guide 1.9, Revision 4 [4] и стандартам МЭК 323, 344 и 387 [1–3], а также другим нормам и стандартам, действующим на месте установки. В США проводится квалификация по сейсмостойкости всех компонентов АДГ, связанных с безопасностью. Выполнение требований к сейсмостойкости должно подтверждаться расчетами и испытаниями в соответствии с упомянутыми стандартами МЭК. Для АЭС, сооружаемых в других странах, могут применяться другие международные стандарты и нормативы.

МЭК-387 регламентирует следующие виды и аспекты квалификации:

- первоначальные типовые испытания, в том числе проверку параметров пуска и приема нагрузки, а также запаса по перегрузке;
- оценку старения;
- квалификацию сейсмостойкости;
- методы постоянного наблюдения, включая программу профилактического техобслуживания, инспекций и испытаний, а также ведение журналов наблюдения;
- оценку изменений, сделанных после предыдущей квалификации (если дизель-генератор проходил ее прежде;
- документацию по всем проводимым видам квалификации.

Производитель АДГ обязан обеспечить квалификацию не только дизеля, но и всех остальных компонентов агрегата, включая турбокомпрессор(ы), генератор, клапаны, трубопроводы, теплообменники, воздушные ресиверы, радиаторы, глушители выпуска, системы регулирования скорости, системы возбуждения и регулирования напряжения, расходные топливные баки, а также аппаратуру управления, автоматики, сигнализации и защиты.

Производитель двигателя должен выполнить оценку старения всех компонентов АДГ и вспомогательных систем, обращая особое внимание на неметаллические компоненты, такие, как прокладки и шланги.

АДГ и их вспомогательные системы должны иметь категорию сейсмостойкости. Производитель двигателя должен выполнить или потребовать от своих субподрядчиков выполнения сейсмической классификации всех компонентов АДГ и вспомогательных систем. На рис. 2 показан пример упрощенной модели для расчета дизельного двигателя на сейсмостойкость, разработанной для южнокорейской АЭС.

Сегодня многие производители двигателей выпускают крупные дизель-генераторы, предназначенные для установки на виброизоляторы, которые отделяют их от пола машинного помещения. АГД предыдущего поколения, как правило, поставлялись на раме, которая крепилась непосредственно к фундаменту. Такое изменение конструкции влияет на сейсмическую квалификацию двигателя и генератора. Системы виброизоляции (СВ) смягчают воздействие землетрясения на АДГ, уменьшая амплитуду максимального ускорения. На рис. 3 показано, что рама агрегата лежит на пружинных блоках СВ.

Помимо упомянутых выше оценок, окончательный отчет о квалификации должен содер-

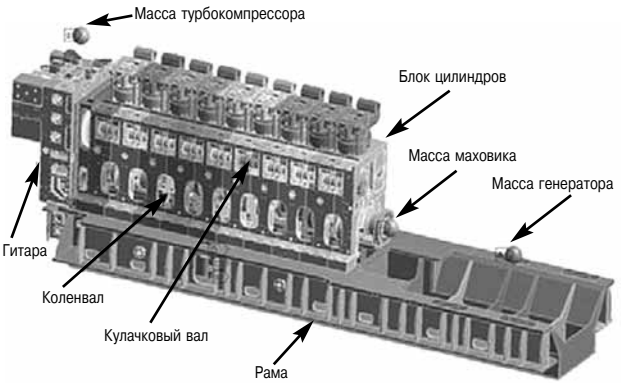


Рис. 2. Модель для расчета АДГ на сейсмостойкость

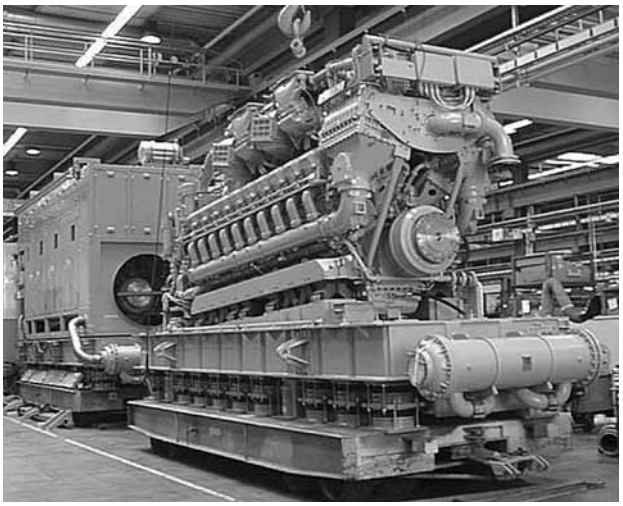


Рис. 3. Дизель-генератор, устанавливаемый на СВ [7]

жать подробную информацию о конструкции и испытаниях, представленную производителем двигателя и его контрагентами, в том числе:

➢ результаты испытаний пультов управления и возбудителя/регулятора напряжения (в том числе на сейсмические воздействия);

➢ результаты испытаний генератора;

➢ результаты испытаний изоляции;

➢ результаты испытаний на сейсмостойкость всех компонентов, устанавливаемых на раме.

При квалификации дизель-генератора для южнокорейской АЭС расчеты на сейсмостойкость велись методом конечных элементов по схеме, показанной на рис. 2, поскольку создание специального полноразмерного вибростенда для натурных испытаний в данном случае нецелесообразно.

Заводские испытания

Характер испытаний оборудования должен соответствовать содержанию текущего этапа изготовления АДГ. Квалификация оборудования должна включать испытания на сейсмостойкость, атмосферные воздействия и электромагнитную совместимость (EMC). При этом для АЭС, расположенных в регионах с жаркой погодой, испытания должны подтвердить, что при максимально возможной температуре окружающей среды мощность АДГ не снизится. Требования к квалификационным испытаниям АДГ, типовым испытаниям и заводским приемочным испытаниям детально изложены в документе МЭК-387, разделы 5 и 6 [3].

Для южнокорейской АЭС все перечисленные испытания были проведены до отгрузки АДГ заказчику.

Пакет документации по модификации энергоблока

Работы по замене существующих АДГ на новые выполняются на основании соответствующих чертежей, расчетов и методик. Совокупность указанных документов образует пакет документации по установке новых АДГ.

При замене АДГ на более мощные иногда можно использовать некоторые из существующих вспомогательных систем, целиком или с незначительными изменениями. В качестве примера можно привести систему отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC) машинных помещений, для которой потребуется больший, по сравнению с существующей, расход воздуха. В этом случае АЭС и организация, выполняющая проект, должны быть в состоянии расчетным или экспериментальным путем подтвердить способность системы HVAC справиться с обслуживанием новых АДГ.

Еще одна возможная проблема — способность старого фундамента под дизель-генератором выдерживать нагрузки от нового агрегата, обычно превосходящего старый по размерам и весу. Если новые АДГ устанавливаются на место старых, этому должна предшествовать детальная инженерная оценка. Подобная инженерная оценка должна учитывать сейсмостойкость других компонентов, таких как, например, воздушные компрессоры и емкости, шкафы управления, баки, насосы и трубопроводы охлаждающей воды, топливные баки (основные и расходные), подкачивающие насосы и трубопроводы. Очевидно, что в случае постройки нового здания для новых АДГ все упомянутые компоненты должны быть подвергнуты столь же тщательной инженерной оценке.

Снятие со своих мест двигателя, генератора и вспомогательных устройств — это, по существу, повторение процессов их установки в обратном порядке, однако монтажная документация 40-летней давности может и не сохраниться.

Например, может возникнуть необходимость частичной разборки новых АДГ, чтобы их можно было завозить в помещение через имеющиеся дверные проемы или люки.

Если генератор изначально не был собран с двигателем на общей раме, лучше отсоединить его от маховика двигателя с тем, чтобы каждый из этих агрегатов можно было выносить из помещения по отдельности.

При установке новых АДГ в прежнее помещение их размеры следует сопоставить с имеющимися чертежами помещения. При этом необходимо обеспечить достаточные просветы между новым оборудованием и окружающими конструкциями с указанием размеров самого широкого и самого длинного компонентов, как показано на рис. 4.

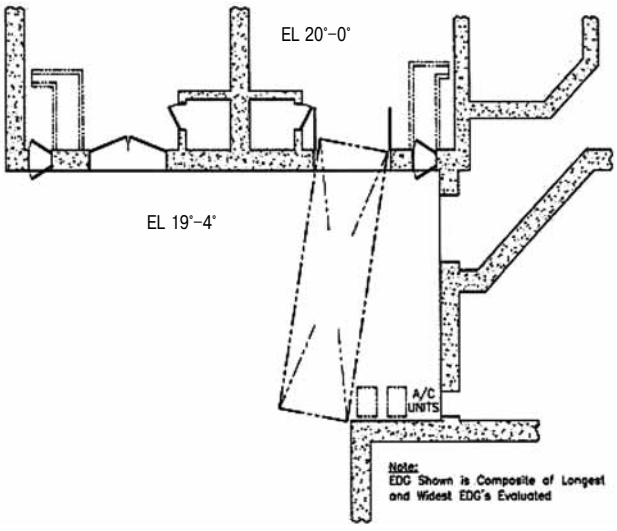


Рис. 4. Пример ограничения при установке АДГ (наихудший случай)

Одним из способов облегчить установку новых АДГ является перемещение тяжелого и громоздкого оборудования с помощью платформ на воздушной подушке. Такие платформы используются некоторыми двигателестроительными предприятиями для транспортировки новых машин по цехам. Подобный метод требует, чтобы пол в помещении имел достаточно ровную поверхность.

Применительно к южнокорейской АЭС, о которой было упомянуто, соответствующие чертежи, расчеты и методики были подготовлены своевременно.

Испытания АДГ на месте установки

Процесс замены АДГ сопровождается большим объемом испытаний. После каждого конструктивного изменения должно проводиться соответствующее тестирование. По результатам этих тестов принимается решение о готовности изделия к приемочным испытаниям на месте установки. Эти испытания достаточно сложные и занимают значительную часть времени, отведенного для перегрузочной стоянки реактора. Поэтому после завершения установки АДГ на фундамент готовность к испытаниям становится критичным показателем, определяющим длительность испытаний. Требования к приемочным испытаниям на месте установки подробно изложены в документе МЭК-387, раздел 7 [3].

Для упоминавшейся выше южнокорейской АЭС испытания ДГУ были выполнены в течение времени, отведенного для перегрузочной стоянки реактора. [9].

Выводы и заключение

Технические вопросы и проблемы, связанные с апгрейдом аварийных дизель-генераторов атомных электростанций, приобрели особую значимость в связи с широкой кампанией по форсированию АДГ, проводимой в разных странах мира, и с относительно недавними событиями на АЭС Фукусима. Надзорные органы в области атомной энергетики все большее внимание уделяют технологиям и решениям, связанным с апгрейдом АДГ АЭС. Апгрейд АДГ — это сложный и длительный процесс, требующий скрупулезного планирования и исполнения. В случае с апгрейдом АДГ южнокорейской АЭС время, необходимое для осуществления проекта, считая от начала работ над технико-экономическим обоснованием и до завершения испытаний и объявления о готовности к эксплуатации, оценивалось приблизительно в пять лет. Как правило, производителю двигателей для изготовления АДГ нужно не менее 12 месяцев с момента получения заказа до поставки готового АДГ. Ожидается, что со временем апгрейд АДГ на существующих АЭС будет становиться все более обычным делом. Особенно важно, чтобы при реализации таких проектов первоочередное внимание уделялось безопасности как главному условию жизнеспособности ядерной энергетики в длительной перспективе.

Литература

1. «IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations», IEEE-Std 323.

2. «IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations», IEEE-Std 344.

3. «IEEE Standard Criteria for Diesel-Generator Units Applied as Standby Power Supplies for Nuclear Power Generating Stations», IEEE-Std 387.

4. «Application and Testing of Safety-Related Diesel Generators in Nuclear Power Plants», U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide 1.9, Revision 4, March 2007.

5. World Nuclear Association, Nuclear Power in the World Today, April 2012.

6. World Nuclear Association, Plans For New Reactors Worldwide, February 2012.

7. GERB Vibration Control Systems, <http://www.gerb.com/en/photogalerie/bildbet rachten.php?ID=171>, July 26, 2012.

8. «Qualification (Commercial Grade Dedication) of an ALCO 251 Diesel Engine for Nuclear Standby Service», SAE Technical Paper 941809, September 1994.

9. Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., HHI-EMD News, Vol. 26, December 2010.

7 мая 2015 года ушел из жизни
крупный специалист в области малолитражных
двигателей внутреннего сгорания,
кандидат технических наук,
почетный Ветеран автомобильного и сельскохозяйственного
машиностроения Российской Федерации,

Валерий Иванович Панин



Валерий Иванович родился 3 июля 1939 г. в г. Серпухове. Окончив в 1963 г. Московский Автомеханический Институт (МАМИ), с 1968 по 1970 г. работал начальником бюро гоночных мотоциклов. Под его руководством был создан двигатель С-565 мотоцикла «Восток» для участия в шоссейно-кольцевых гонках. Этот четырехцилиндровый силовой агрегат рабочим объемом 500 см^3 развивал 80 л.с. при 12,5 тыс. об/мин и был вершиной инженерной мысли. На мотоциклах «Восток» были завоеваны призовые места на чемпионатах мира 1969–70 гг.

В 1970–1980 гг. Валерий Иванович возглавлял отдел двигателей во ВНИИМотопром, где под его руководством создавались новые образцы поршневых мотоциклетных и малолитражных ДВС для Ковровского завода им. Дегтярева, Ирбитского, Минского, Серпуховского, Вятско-Полянского мотозаводов, Шауляйского завода «Вайрас». Тогда же были было создано семейство мотоциклов с роторно-поршневыми двигателями, успешно прошедшими испытания. Во ВНИИМотопроме под руководством Панина В.И. было организовано серийное производство двигателя эскортного мотоцикла для сопровождения правительственных кортежей.

В декабре 1986 г. постановлением ГКНТ СССР Панин В.И. был назначен руководителем проекта «КОМПОЗИТ» в составе ГНТП «Экологически чистый транспорт». В результате выполнения НИОКР по проекту были изготовлены экспериментальные модели двигателя на базе силовых агрегатов ВАЗ-1111 (для автомобиля «Ока») с деталями из композитов. Эта разработка в 1993 г. как лучшая, была отмечена дипломом Международной конференции по малолитражным двигателям SETC'93 (Пиза, Италия), организованной SAE (Int.) и SAE (Japan).

В 1998 г в должности Генерального директора ОАО МОТОПРОМ, Валерий Иванович руководил совместным проектом с ГНЦ ВНИИНМ им. А.А. Бочвара и «KRICT» (R.Korea) по разработке жаропрочных клапанов и легких шатунов из сплавов на основе интерметаллидов системы Ti-Al.

В начале 2000-х В.И. Панин выступил инициатором создания частной инжиниринговой компании «Compdvig LLC», где под его руководством были созданы и сертифицированы клапаны из жаропрочного титанового сплава, а с 2004 г. компания «CompdvigLLC» начала серийное производство клапанов и деталей ГРМ из титановых сплавов для АО «АвтоВАЗ».

В 2006 г. компания «Compdvig LLC» стала экспортером серийных клапанов газораспределения из титановых сплавов и вошла в пятерку ведущих компаний в мире в этом сегменте рынка. В сезоне 2007–2008 гг. под руководством В.И. Панина компания «Compdvig LLC» вышла на самый элитный рынок в мировом автомобильном спорте — FIA Formula One World Championship (F1) и стала поставщиком таких грандов мирового автоспорта как RENAULT F1, HONDA F1 и MERSEDES-BENS F1.

Всегда находясь на передовой линии науки и техники, Валерий Иванович передавал свой обширный опыт и знания соратникам и коллегам. Созданное В.И. Паниным научное направление по применению композитов в ДВС и совершенствованию их конструкции получило национальное и международное признание и включает плеяду последователей, которые своим трудом вносят весомый вклад в развитие двигателестроения в России.

Редакция журнала «Двигателестроение», сотрудники кафедры двигателей МВТУ им. Баумана, его соратники и коллеги на долгие годы сохранят светлую память о выдающемся ученом и организаторе производства Валерии Ивановиче Панине

УДК 621.431

Итоги и решение Всероссийской научно-технической конференции «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ» // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 3–7.

Ключевые слова: объекты военной инфраструктуры, дизель-генераторная установка, дизели отечественного производства, двигатели нового поколения, импортозамещение ключевых компонентов.

17 ноября 2015 г. в Санкт-Петербурге состоялась Всероссийская научно-техническая конференция «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ». Конференция наметила основные направления решения проблемы коренной модернизации систем автономного и резервного энергообеспечения специальных объектов и военных городков Министерства обороны РФ. Ил. 6

УДК 621.431

Сайданов В.О. Анализ номенклатуры, технического состояния и опыта эксплуатации ДГУ на объектах военной инфраструктуры // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 8–9.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, выработанный моторесурс, превышение нормативного срока службы, модернизация систем энергоснабжения, импортозамещение.

Представлен развернутый анализ номенклатуры и технического состояния ДЭУ на действующих объектах военной инфраструктуры. Определены типаж и потребность в силовых агрегатах и ДЭУ, подлежащих замене на новые двигатели отечественного производства в ближайшей и среднесрочной перспективе. Ил. 2.

УДК 621.431

Попов Д.В. Новые разработки ДЭУ для объектов МО РФ на ОАО «Волжский дизель имени Маминых» и предложения по участию в программе импортозамещения // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 10–11.

Ключевые слова: ОАО «Волжский дизель имени Маминых», дизель-генераторные установки, силовые агрегаты, ремонт, сервисное обслуживание.

Производителям ДЭУ и заказчикам в структурах МО РФ предложены образцы серийных двигателей производства ОАО «Волжский дизель имени Маминых» в диапазоне мощностей от 300 до 1000 кВт, включая их сервисное обслуживание на протяжении полного жизненного цикла. Ил. 3.

УДК 621.431

Усов М.С., Архипов А.О., Хильченко С.В. ДГУ производства ПАО «Звезда» на базе серийных двигателей типа 12ЧН18/20 и двигателей нового поколения 12ЧН15/17,5 // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 12–13.

Ключевые слова: ПАО «Звезда», автоматизированные дизель-генераторные установки, серийные двигатели типа ЧН18/20, двигатели нового поколения типа М150 (ЧН15/17,5).

Для модернизации силовых установок объектов военной инфраструктуры предложены образцы серийных двигателей типа ЧН18/20 и двигателей нового поколения типа М150 (ЧН15/17,5) производства ПАО «Звезда» в диапазоне мощностей от 500 до 1500 кВт. Приводится описание конструкции двигателя нового поколения V12M150. Ил. 2.

УДК 621.431

Левкович А.В. Комплексные энергообъекты ОАО «Звезда-Энергетика» на базе дизельных энергетических установок (ДЭУ) для объектов МО РФ, созданные по программе импортозамещения // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 13–14.

Ключевые слова: ОАО «Звезда-Энергетика», комплексные автоматизированные энергообъекты, дизель-генераторные установки, двигатели двойного топлива, природный газ, биогаз, шахтный метан, мазут, сырая нефть, когенерация.

Представлен опыт ОАО «Звезда-Энергетика» изготовления и строительства «под ключ» энергообъектов различных видов сложности, работающих во всех климатических зонах при температурах воздуха от −60 до +40 °С. Энергетическое оборудование на базе двигателей отечественного производства работает на различных видах топлива, как газообразного (природный газа, биогаз, шахтный метан), так и жидкого (дизельное топливо, мазут, сырая нефть). На объектах внедрена система комплексной автоматизации и диспетчеризации процессов выработки, распределения и учета потребления электрической и тепловой энергии. Ил. 3.

УДК 621.431

Рудковский А.С. Семейство двигателей ДМ-21 и ДМ-185 нового поколения для объектов военной инфраструктуры // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 15–16.

Ключевые слова: ООО «Уральский дизель-моторный завод», автоматизированные дизель-генераторные установки, серийные двигатели типа ЧН21/21, двигатели нового поколения типа ЧН18,5/21.

Разработаны образцы автоматизированных дизель-генераторных установок на базе серийных двигателей ООО УДМЗ типа Д21 (ЧН21/21) и двигателей нового поколения типа Д185 (ЧН18,5/21) в диапазоне мощностей от 800 до 3200 кВт для модернизации силовых установок объектов военной инфраструктуры по программе импортозамещения. Сервисное обслуживание двигателей и дизель-генераторов выполняется заводом на всех стадиях полного жизненного цикла оборудования. Ил. 2.

УДК 621.431

Глазистов В.В. Электроагрегаты и электростанции производства ПАО «КамАЗ» // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 17–18.

Ключевые слова: ПАО «КамАЗ» дизели, газопоршневые двигатели, автоматизированные электроагрегаты, когенерация, передвижные электростанции.

В качестве автономных источников электроэнергии завод двигателей ПАО «КамАЗ» предлагает электроагрегаты мощностью от 60 до 200 кВт, способные обеспечить потребителей в системе МО РФ переменным трехфазным током напряжением 400 В частотой 50 Гц при температуре окружающей среды от −50 до +50 ° С. Электроагрегатами на базе дизельных и газопоршневых двигателей комплектуются электростанции в блок-контейнерах (в том числе с системой когенерации), на автомобильном шасси КамАЗ, на шасси прицепов. Ил. 6.

УДК 621.431

Калиниченко В.В. Применение дизель-генераторов производства ОАО «Коломенский Завод» для объектов

МО РФ в целях импортозамещения // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 19–20.

Ключевые слова: ОАО «Коломенский Завод», автоматизированные дизель-генераторные установки, серийные двигатели типа Д49 (ЧН26/26), двигатели нового поколения типа Д500 (ЧН26,5/31).

Для модернизации силовых установок объектов военной инфраструктуры по программе импортозамещения предложены серийные двигатели типа Д49 (ЧН26/26) в диапазоне мощностей от 800 до 4000 кВт и двигатели нового поколения типа Д500 (ЧН26,5/31) мощностью до 6300 кВт. Вся продукция соответствует требованиям новых стандартов РФ, регламентирующих выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов. Табл. 2. Ил. 2.

УДК 621.431

Антипов М.А., Михайлин А.Б. Опыт производства и модернизации ДЭУ на основе отечественных ДВС и автоматики собственной разработки // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 21–22.

Ключевые слова: ООО «Президент-Нева», комплексные автоматизированные энергообъекты, дизель-генераторные установки, ветрогенераторы, средства автоматики, контроллеры управления.

Представлен опыт ООО «Президент-Нева» изготовления и строительства «под ключ» комплексных энергообъектов различных видов сложности на базе дизель-генераторов российского производства, в том числе работающих совместно с ветрогенераторами. Системы комплексной автоматизации и диспетчеризации энергообъектов выполнены по программе импортозамещения на базе шкафов управления с контроллерами собственного производства. Ил. 2.

УДК 621.431

Новиков Л.А., Смирнов А.В. Обеспечение экологической безопасности и импортозамещение в новых проектах автономных источников энергии для объектов МО РФ // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 23–25.

Ключевые слова: промышленные дизели, нормы выбросов вредных веществ, дымность отработавших газов, технологии снижения вредных выбросов, альтернативные топлива.

Представлен анализ технического уровня серийных промышленных двигателей российского производства по показателям выбросов вредных веществ в атмосферу, выполненный на основании данных признанной в системе МАКО испытательной лаборатории. Показано, что значительная часть серийной продукции не соответствует требованиям новых стандартов ГОСТ 31967–2012 (выбросы вредных веществ с отработавшими газами) и ГОСТ 24028–2013 (дымность отработавших газов). Предложены технологии снижения вредных выбросов с целью их нормализации, в том числе за счет применения альтернативных видов топлива.
Табл. 1. Ил. 1. Библ. 4.

УДК 621.43

Румб В.К. Прогнозирование долговечности деталей ДВС средствами имитационного моделирования // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 26–29.

Ключевые слова: поршневые двигатели, характеристики прочности деталей, усталостная долговечность, имитационное моделирование.

Рассмотрены методические основы прогнозирования усталостной долговечности деталей при их циклических нагружениях с привлечением метода имитационного моделирования. Это позволяет точнее учитывать рассеяние характеристик прочности деталей и действующих в них напряжений, а также имитировать различные сценарии развития усталостных трещин. Табл. 1. Ил. 1. Библ. 7.

УДК 621.436

Ковальчук Л.И., Исаева М.В. Экспериментально-теоретические модели для диагностирования рабочих процессов в цилиндрах судовых дизелей // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 30–33.

Ключевые слова: судовые двигатели, модели диагностирования рабочего процесса, принципы построения, алгоритм и результаты диагностирования.

Применительно к судовым ДВС сформулированы принципы построения экспериментально-теоретических моделей диагностирования рабочего процесса, обладающих свойством инвариантности относительно характеристик винта и условий плавания. Приведен пример построения модели для многоцилиндрового двигателя. Выполнен анализ результатов диагностирования и диагностических возможностей предлагаемых моделей. Ил. 6. Библ. 2.

УДК 621.785

Иванов Д.А., Засухин О.Н. Сочетание закалки сталей с обработкой пульсирующими газовыми потоками // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 34–36.

Ключевые слова: термическая обработка деталей, закалочные напряжения и деформации, закалочная среда, пульсирующий газовый поток, изотропия свойств.

Рассмотрены результаты применения экономичной и экологически безопасной технологии закалки сталей с использованием в качестве закалочной среды пульсирующего воздушного потока. Показано, что предлагаемая технология обеспечивает сочетание высокой закалочной твердости деталей при наименьших закалочных напряжениях и деформациях.
Табл. 2. Ил. 1. Библ. 9.

УДК 621.43

Альтернативные и традиционные источники энергии (материалы конгресса CIMAC 2013) // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 37–49.

Ключевые слова: гибридная судовая установки, твердооксидные топливные элементы, микротурбина, рабочие параметры, переходные процессы, атомные электростанции, аварийные дизель-генераторы, модернизация, ремоторизация.

Обзор содержит два доклада. В первом рассмотрены результаты моделирования рабочих параметров гибридной судовой силовой установки модульного типа для судов с электродвижением. Показано, что при работе на природном газе электрический КПД гибридной установки достигает 66,8 % при практически полном отсутствии выбросов вредных веществ в атмосферу. Для улучшения динамических показателей гибридной установки применяется аккумуляторная батарея.

Во втором докладе рассмотрены технология модернизации и возможные проблемы при замене (ремоторизации) мощных промышленных дизелей в составе дизель-генераторов, предназначенных для аварийного энергоснабжения атомных электростанций. Перевод докладов выполнен к.т.н. Г. Мельником. Табл. 1. Ил. 13. Библ. 18.

UDC 621.431

National Conference «Reciprocating Engines of Military Generator Sets. Modernization and Replacement of Imported Engines by Domestic Ones». Resume and Resolution // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 3—7.

Keywords: military infrastructure components, diesel-generator, domestic make diesel engines, replacement of imported sensitive components.

National Conference «Reciprocating Engines of Military Generator Sets. Modernization and Replacement of Imported Engines by Domestic Ones» was held in Saint-Petersburg on November 17, 2015. The Conference drew up guidelines on radical modernization of self-contained and backup power supplies for Russian military facilities and settlements. 6 ill.

UDC 621.431

Saidanov V.O. Diesel-Generators of Military Facilities: Analysis of Nomenclature, Technical State and Field Experience // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 8—9.

Keywords: diesel-generator set, excessive run hours, exceeding design lifetime, modernization of power supplies, replacement of imported items by domestic ones.

The paper contains detailed analysis of nomenclature and technical state of diesel-generators used in existing military facilities. Furthermore, it identifies types and quantity of diesel-generator sets and power packages to be replaced by domestic analogs in the short- and the medium terms. 2 ill.

UDC 621.431

Popov D.V. Newly-Developed Diesel-Generator Sets for Military Infrastructure Components from JSC Mamin Brothers Volzhsky Diesel, and Proposals for Replacement Program // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 10—11.

Keywords: JSC Mamin Brothers Volzhsky Diesel diesel-generator sets, power packages, repair, servicing.

Proposed are commercially available engines from JSC Mamin Brothers Volzhsky Diesel, rated at 300 to 1000 kW, including their lifetime servicing. 3 ill.

UDC 621.431

Usov M.S., Arkhipov A.O. and Khilchenko S.V. Diesel-Generator Sets from Zvezda Works, Powered by Serial Engines Type 12CHN18/20 and New-Generation Engines Type 12CHN15/17,5 // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 12—13.

Keywords: Zvezda Works, automatic power packages, serial engines type 12ChN18/20 and new-generation engines type M150 (12ChN15/17,5).

Commercially available engines type 12ChN18/20 and new-generation engines type M150 (12ChN15/17,5 from Zvezda Works are proposed for modernization of power packages for military facilities. Design features of type V12M150 engine are described. 2 ill.

UDC 621.431

Levkovich A.V. Integrated Power Packages from JSC Zvezda-Energetica, Based on Diesel-Generator Sets for Military Facilities, Developed under Import-Replacement Program

// Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 13—14.

Keywords: JSC Zvezda-Energetica, integrated power packages, diesel-generator sets, dual-fuel engines, natural gas, biogas, mine methane, heavy fuel, crude oil, co-generation.

The paper presents the experience of JSC Zvezda-Energetica in producing and turnkey-basis erection of various power plants, operating in wide climatic range, at ambient air temperature −60 to +40 °C. The units powered by Russian make engines fire a variety of fuels, both gaseous (such as natural gas, biogas, mine methane) and liquid (diesel, heavy fuel, crude oil). The power units feature comprehensive automation systems in charge of producing, distribution and consumption records of electric and thermal energy. 3 ill.

UDC 621.431

Rudkovsky A.S. Engines Type DM-21 and DM-185 (New Generation) for Military Facilities // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 15—16.

Keywords: JSC Urals Diesel Works, automated power packages, engine family ChN-21, engine family ChN-18,5/21.

The paper presents newly-developed automated units powered by engines from JSC Urals Diesel Works, i. e. commercially available engines type DM21 (ChN21/21) and new-generation engines type DM185 (ChN18,5/21). Power units rated at 800 to 3200 kW will expectedly be used in modernization of military facilities under import-replacement program. JSC Urals Diesel Works offers servicing engines and diesel-generator sets for the whole life cycle. 2 ill.

UDC 621.431

Glazistov V.V. Diesel-Generator Sets and Power Plants from JSC KamAZ // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 17—18.

Keywords: JSC KamAZ, diesel engines, gas engines, automated power units, cogeneration, portable electrical power plants.

JSC Kamaz offers power units rated at 60 to 200 kW producing 3-phase current at 400 VAC, 50 Hz, operable at ambient temperature of −50 to +50 °C. Self-contained power plants (including those complete with cogeneration systems) are powered by diesel or gas engines and may be truck- or trailer-mounted. 6 ill.

UDC 621.431

Kalinichenko V.V. Diesel-Generators from JSC Kolomna Works for Military Facilities // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 19—20.

Keywords: JSC Kolomna Works, automated power packages, commercially available engine family D49 (ChN26/26), new-generation engine family D500 (ChN26,5/31).

JSC Kolomna Works offers commercially available engines type D49 (ChN26/26) rated at 800 to 4000 kW, and new-generation engines type D500 (ChN26,5/31) rated at up to 6300 kW for power plants modernization under import-replacement program. All the above items are compliant with new national emission regulations.
2 ill., 2 tables.

UDC 621.431

Antipov M.A. and Mikhailin A.B. Experience of Producing And Modernization of Diesel Engine Sets Using Domestic Make Engines and Proprietary Control Systems // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 21—22.

Keywords: JSC President-Neva, automated power packages, diesel-generator sets, windmills, controls, controllers.

The paper describes JSC President-Neva activities in producing and turnkey-basis erection of various power units featuring Russian make diesel-generators, optionally operating in parallel with windmills. Power units in question feature comprehensive automation systems featuring control cabinets based on President-Neva proprietary controllers. 2 ill.

UDC 621.431

Novikov L.A. and Smirnov A.V. Environmental Safety and Import Replacement Aspects in Development of New Power Supplies for Military Facilities // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 23–25.

Keywords: industrial diesel engines, emission regulations, exhaust opacity, emission reduction technologies, alternative fuels.

Russian make serial diesel engines were tested for environmental performance in IACS-attested laboratory. Considerable share of commercially available engine families are shown to be non-compliant with new national standards GOST 31967–2012 (gaseous exhaust emissions) and GOST 24028–2013 (exhaust gas smoke emissions). Emission reduction technologies are offered, including, in particular, use of alternative fuels. 1 ill., 1 table.

UDC 621.43

Rumb V.K. Prediction of Engine Parts' Lifetime through Simulation Modeling // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 26–29.

Keywords: reciprocation engines, part strength characteristics, fatigue life, simulation modeling.

The article discusses basics of fatigue life prediction using simulation modeling method. Such an approach enables more accurate account of part strength characteristics and strains dissipation, and imitation of various modes of fatigue crack propagation. 1 ill., 1 table, 7 ref.

UDC 621.436

Kovalchuk L.I. and Isaeva M.V. Experimental-Theoretical Models for Combustion Diagnostics in Marine Diesel Engine // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 30–33.

Keywords: marine diesel engines, combustion diagnostic models, analysis basics, diagnostic algorithm and results.

Basics are set forth of drawing up experimental-theoretical models for combustion diagnostics, invariant to propeller characteristics and navigation conditions. An example is given of drawing up a model for multi-cylinder engine. Analyses of diagnostic results and capacities of models in question are carried out. 6 ill., 2 ref.

UDC 621.785

Ivanov D.A. and Zasukhin O.N. Combined Treatment of Parts with Pulsating Gas Flows and Heat // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 34–36.

Keywords: thermal treatment, brinelling stresses and strains, hardening medium, pulsating gas flow, isotropy.

Cost-efficient and environmentally-safe steel treatment technology is described, where pulsating gas flow is used as a hardening medium. Method in question is shown to ensure high quench hardness with minimum brinelling stresses and strains. 1 ill., 2 tables, 9 ref.

UDC 621.43

Conventional and Alternative Energy Sources (based on CIMAC 2013 papers) // Dvigatelestroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 37–49.

Keywords: hybrid power system for ship application, solid oxide fuel cell, microturbine, operating values, transients, nuclear power plants, emergency diesel-generators, modernization, engine replacement.

The review contains two papers. One of them discusses the results of simulation of modular hybrid power system for ship application. It is shown that electric efficiency of hybrid system firing natural gas reaches 66,8 % at part load, while noxious emissions are next to zero. A battery or super-capacitor is used to compensate for high thermal inertia of cell stack, so as to improve system transient characteristics.

Another paper discusses issues involved in upgrades or replacement of emergency diesel-generators of nuclear power plants. The CIMAC papers are translated into Russian by G.Melnik, PhD. 13 ill., 1 tables, 18 ref.

Перечень статей, опубликованных в журнале «Двигателестроение» за 2015 год

ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЕ В РОССИИ

1. **Итоги и решение** Всероссийской научно-технической конференции «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ» (№ 4. С. 3–7).

2. **Сайданов В.О.** Анализ номенклатуры, технического состояния и опыта эксплуатации ДГУ на объектах военной инфраструктуры (№ 4. С. 8–9).

3. **Попов Д.В.** Новые разработки ДЭУ для объектов МО РФ на ОАО «Волжский дизель имени Маминых» и предложения по участию в программе импортозамещения (№ 4. С. 10–11).

4. **Усов М.С., Архипов А.О., Хильченко С.В.** ДГУ производства ПАО «Звезда» на базе серийных двигателей типа 12ЧН18/20 и двигателей нового поколения 12ЧН15/17,5 (№ 4. С. 12–13).

5. **Левкович А.В.** Комплексные энергообъекты ОАО «Звезда-Энергетика» на базе дизельных энергетических установок (ДЭУ) для объектов МО РФ, созданные по программе импортозамещения (№ 4. С. 13–14).

6. **Рудковский А.С.** Семейство двигателей ДМ-21 и ДМ-185 нового поколения для объектов военной инфраструктуры (№ 4. С. 15–16).

7. **Глазистов В.В.** Электроагрегаты и электростанции производства ПАО «КамАЗ» (№ 4. С. 17–18).

8. **Калиниченко В.В.** Применение дизель-генераторов производства ОАО «Коломенский Завод» для объектов МО РФ в целях импортозамещения (№ 4. С. 19–20).

9. **Антипов М.А., Михайлин А.Б.** Опыт производства и модернизации ДЭУ на основе отечественных ДВС и автоматики собственной разработки (№ 4. С. 21–22).

10. **Новиков Л.А., Смирнов А.В.** Обеспечение экологической безопасности и импортозамещение в новых проектах автономных источников энергии для объектов МО РФ (№ 4. С. 23–25).

РАСЧЕТЫ. КОНСТРУИРОВАНИЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. **Тузов Л.В., Ганин Н.Б., Пряхин А.С.** Идеальный термодинамический цикл ДВС с изохорным и изотер-

мическим способами подвода теплоты (№ 1. С. 3–6).
2. **Гусаров В.В., Автаев Ф.В.** Уравновешивание двигателей типа W8 (№ 1. С. 7–13).
3. **Тер-Мкртичьян Г.Г.** Двигатели с продолженным расширением рабочего тела (№ 2. С. 3–9).
4. **Дмитриевский Е.В.** Распределение давления газов в межкольцевых пространствах поршня малооборотного двухтактного двигателя
(№ 2. С. 10–14).
5. **Галышев Ю.В., Шабанов А.Ю., Румянцев В.В., Хильченко С.В., Ивановский Д.К.** Анализ перспективных методов снижения мощности механических потерь в форсированном дизельном двигателе (№ 3. С. 3–7).
6. **Тер-Мкртичьян Г.Г.** Трансформация рабочего цикла ДВС при разделении и добавлении тактов
(№ 3. С. 8–17).
7. **Путинцев С.В., Агеев А.Г.** Результаты моделирования деформации юбки поршня быстроходного дизеля от действия гидродинамического давления масла
(№ 3. С. 18–21).
8. **Румб В.К.** Прогнозирование долговечности деталей ДВС средствами имитационного моделирования (№ 4. С. 12–15).

ИПИ-ТЕХНОЛОГИИ

1. **Бирюк В.В., Каюков С.С., Белоусов А.В., Галлямов Р.Э.** Методика прогнозирования качества распыливания топлива форсункой на основе CALS/ИПИ технологий (№ 2. С. 15–19).

СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЕЙ. АГРЕГАТЫ

1. **Равич А.Ф., Богданов С.Н.** Автоэквидистантальное роторно-поршневое устройство (№ 2. С. 20–24).
2. **Лысунец А.В., Медведев В.В.** Моделирование скоростных характеристик ДВС для разработки автоматических систем управления с обратной связью (№ 2. С. 25–27).
3. **Шестаков Д.С., Кочев Н.С.** Методы определения и устранения неравномерности цикловой подачи топлива при настройке ТНВД многоцилиндровых дизелей (№ 3. С. 22–25).

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ

1. **Коньков А.Ю., Яранцев М.В.** Способ диагностирования плунжерных пар топливного насоса высокого давления (№ 1. С. 14–18).
2. **Ковальчук Л.И., Исаева М.В.** Экспериментально-теоретические модели для диагностирования рабочих процессов в цилиндрах судовых дизелей
(№ 4. С. 30–33).

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

1. **Пушнин В.П.** Строение сферических наноразмерных частиц дизельной сажи (№ 1. С. 19–25).
2. **Патрахальцев Н.Н., Аношина Т.С., Камышников Р.О.** Снижение расхода топлива и вредных выбросов дизеля на режимах малых нагрузок методом изменения рабочего объема (№ 1. С. 26–29).
3. **Живлюк Г.Е., Петров А.П.** Анализ возможностей снижения выбросов вредных веществ эксплуатируемых СДЭУ (№ 1. С. 30–34).
4. **Гумеров И.Ф., Валеев Д.Х., Куликов А.С., Хафизов Р.Х., Борисенков Е.Р., Гатауллин Н.А.** Опыт создания стенда для исследований экологических показателей двигателей (№ 3. С. 26–30).

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. **Марукович Е.И., Бевза В.Ф., Груша В.П., Красный В.А.** Повышение качества деталей из чугунов путем совершенствования процесса структурообразования (№ 1. С. 35–40).
2. **Иванов Д.А., Засухин О.Н.** Сочетание термической обработки с обработкой пульсирующими газовыми потоками (№ 4. С. 34–36).

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. **Смолинский С.Н., Булат Р.Е., Сайданов В.О.** Концепция децентрализованного энергоснабжения объектов МО РФ и проблемы подготовки военных инженеров-энергетиков (№ 2. С. 28–32).
2. **Патрахальцев Н.Н., Пилар Габриэла Борреро Гарсия.** Анализ возможности повышения эксплуатационной топливной экономичности судового дизеля (№ 3. С. 31–33).

ГИПОТЕЗЫ И ДИСКУССИИ

1. **Ерофеев В.Л., Ганин Н.Б., Пряхин А.С.** Пределы повышения энергетической эффективности топливоиспользования поршневого ДВС (№ 2. С. 33–38).

НОВОСТИ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

1. **Мельник Г.В.** Обзор публикаций журнала «Diesel & Gas Turbine Worldwide» за 2014 год (№ 1. С. 41–50).
2. Двухтопливные двигатели (материалы конгресса CIMAC 2013) (№ 2. С. 39–57).
3. Технологии снижения выбросов NO_x и частиц судовых дизелей (материалы конгресса CIMAC 2013) (№ 3. С. 34–52).
4. Альтернативные и традиционные источники энергии (материалы конгресса CIMAC 2013) (№ 4. С. 37–49).

Вниманию авторов

Редакция обращает внимание авторов на тематическую направленность принимаемых к рассмотрению рукописей и необходимость выполнения требований по их оформлению.

Журнал «Двигателестроение» является ежеквартальным научно-техническим изданием, посвященным проблемам развития, проектирования, изготовления и эксплуатации поршневых двигателей.

Тематика публикаций определила следующие основные рубрики журнала:

- расчеты, конструирование, исследования двигателей;
- системы и агрегаты двигателей;
- конструкционные материалы;
- топливо и смазочные материалы, присадки;
- ресурсосбережение;
- эксплуатация и ремонт двигателей;
- автоматизация и диагностирование;
- проблемы экологии;
- гипотезы и дискуссии;
- история развития конструкций (проектов), предприятий и науки о двигателях;
- обзорная и справочная информация.

Текст рукописи должен быть представлен в двух экземплярах на бумаге формата А4, гарнитура Times New Roman 12, через полтора интервала, с обязательным приложением электронной версии (в формате Microsoft Word 2000/2003), полностью соответствующей оригиналу на бумаге. Формулы в электронной версии должны быть набраны с использованием редактора формул Microsoft Equation 3.0. За достоверность набора формул несет ответственность автор. При использовании в наборе специальных шрифтов последние прилагаются в электронном виде. Электронные копии иллюстраций представляются отдельными файлами в форматах: TIF, JPG (не менее 300 dpi, черно-белые полутоновые изображения).

Представляя рукопись статьи в редакцию, автор должен сообщить о ее предыдущих публикациях.

Рукопись статьи должна иметь рекомендацию к публикации в журнале (направление) от организации, где выполнялась работа, а также акт экспертной комиссии с указанием того, что рукопись не содержит сведений, запрещенных к публикации в открытой печати.

Заглавие статьи должно быть кратким (не более 120 знаков), точно отражающим ее содержание.

Для оперативного решения вопросов, связанных с подготовкой рукописи к публикации, а также для размещения электронной версии журнала в НЭБ должны быть представлены сведения об авторах:

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- ученая степень и звание;
- полное наименование места работы;
- полный почтовый адрес;
- действующие контактные телефоны, e-mail).

Для представления авторов читателям желательно присылать цветные или черно-белые фотографии авторов размером не менее чем 3×4 см. Допускаются электронные копии в форматах TIF или JPG.

Обязательными приложениями к рукописи являются: реферат, в котором четко и сжато изложены основные цели и результаты работы объемом от 700 до 1200 знаков; код УДК; ключевые слова.

Заглавие статьи, название организаций, ФИО авторов, ключевые слова и реферат необходимо присылать на русском и английском языках.

Объем статьи не должен превышать 25 тыс. знаков, включая таблицы и список литературы. Иллюстрации в виде графиков, диаграмм, схем и фотографий оформляются в виде приложений к тексту рукописи. Все приложения к тексту рукописи представляются на отдельных листах, а в электронной копии — в виде отдельных файлов. Формулы, иллюстрации и таблицы должны быть пронумерованы в порядке упоминания и снабжены поясняющими (подрисуночными) подписями. Все обозначения на иллюстрациях должны быть объяснены (расшифрованы) в тексте или в подрисуночных подписях и соответствовать обозначениям в тексте.

Даже если все иллюстрации заверстаны автором в текст электронной копии рукописи, то их представление в виде отдельных файлов и распечаток на отдельном листе обязательно.

В статьях желательно приводить только те математические формулы, которые необходимы для понимания существа вопроса, исключая их подробные выводы.

Все обозначения, встречающиеся в формулах, должны быть объяснены.

При написании формул необходимо использовать общепринятые обозначения физических величин по Международной системе единиц (ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин). Ссылки на цитируемые источники необходимо оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 05–2008.

Если представленные в редакцию рукописи не удовлетворяют перечисленным требованиям, то они могут быть доработаны по согласованию с автором сотрудниками редакции. Услуги редакции по доработке рукописей статей платные.

Рукописи статей, поступившие в редакцию, рецензируются специалистами. Если у рецензента имеются обоснованные критические замечания, статья возвращается автору на доработку.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла авторского текста. При поступлении в редакцию обоснованных критических замечаний, касающихся размещенного в журнале материала, редакция оставляет за собой право на их публикацию в порядке дискуссии.

Авторское право на конкретную статью принадлежит авторам. Ответственность за содержание статьи несет также автор. При перепечатке статьи или ее части ссылка на журнал обязательна.

Публикация в журнале учитывается ВАК в качестве печатного научного труда.

Рукописи, направленные в редакцию, авторам не возвращаются.

Редакция журнала