

## АВТОНОМНЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ДВС. НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*В.Г. Кривов д.т.н., проф., В.О. Сайданов, д.т.н., проф.  
П.В. Дружинин д.т.н., проф, И.О. Пругчиков д.т.н., проф.  
Военный инженерно-технический институт*

Кафедра двигателей и тепловых установок с момента своего создания проводит научные исследования в области совершенствования автономных источников энергии специального и общего назначения.

В малой энергетике преобладающими источниками электрической энергии являются энергоустановки на базе поршневых ДВС (ЭУ с ПДВС). По данным Минэнерго России, из 49 тыс. малых электростанций России более 47 тыс. имеют в своем составе ЭУ с ПДВС, причем 90 % из них являются дизельными (ДЭС).

Основными направлениями научных исследований кафедры являются:

- совершенствование автономных источников энергии на базе ДВС для систем энергоснабжения комплексов специального назначения;
- разработка автономных источников энергии на базе ДВС, функционирующих по специальным циклам;
- создание комбинированных энергоустановок на базе ДВС и других источников энергии с технологиями рационального использования топлива;
- разработка и создание интеллектуальных автономных энергетических систем на базе комбинированных энергоустановок с частотным регулированием и преобразованием энергии (КЭУ с ЧРПЭ).

### **Системы энергоснабжения комплексов специального назначения**

Кафедра двигателей и тепловых установок занимается вопросами оценки стойкости и работоспособности ДЭУ при воздействии различных факторов современного оружия с момента своего создания в 1941 г. За прошедшие годы научная школа по автономным источникам энергии заслуженного деятеля науки и техники РФ д.т.н. проф. Кривова В.Г. сформировала самостоятельное научное направление — комплексная оценка стойкости, защита и обеспечение работоспособности автономных энергоисточников в экстремальных условиях функционирования, разработка методов и средств их защиты. За период с 1960-х по 1990-е гг. по этому направлению на кафедре

были выполнены фундаментальные исследования, в результате которых разработаны оригинальные испытательные стенды для моделирования воздействия на двигатели воздушной ударной волны, приземного слоя атмосферы с повышенной запыленностью и высокой температурой, горящих завалов, объемно-детонирующей смеси, сейсмических волн, а также математические модели, позволяющие аналитическим путем оценить изменения прочностных, мощностных и скоростных характеристик ДВС при воздействии указанных факторов [1].

До начала 1990-х гг. поставки энергоустановок для объектов военной инфраструктуры осуществляли 12 дизелестроительных заводов. После распада СССР часть этих предприятий либо оказались за пределами России (например, Харьковский завод им. Малышева), либо прекратили свое существование (например, ГП «Русский дизель», Санкт-Петербург). Для объектов военной инфраструктуры в качестве альтернативы ДЭУ мощностью 500, 630, 1000 и 2000 кВт могут быть предложены, например, энергоустановки ОАО ХК «Коломенский завод», ЗАО «Волжский дизель им. Маминых» и ООО УДМЗ. Однако для положительного решения вопроса о применении указанных двигателей необходимо провести экспериментальные исследования по оценке их стойкости к воздействию современных средств поражения, а также чрезвычайных происшествий (ЧП), например, землетрясений.

В настоящее время кафедра продолжает вести исследования по данному направлению. В частности, совместно с сотрудниками фирмы ООО «Президент-Нева "Энергетический центр"» на кафедре разработан и создан новый универсальный стенд для проверки стойкости ДВС к воздействию поражающих факторов воздушной ударной волны, позволяющий имитировать как фазу сжатия, так и фазу разрежения ударной волны [2].

### **Автономные источники энергии на базе ДВС, функционирующих по специальным циклам**

В настоящее время по-прежнему остается актуальной проблема разработки и совершенствования ДЭУ, способных функционировать в

условиях изоляции их газоздушных трактов от атмосферы, т. е. работающих по специальным циклам. Энергоустановки этого типа могут найти применение при работе техники в глубоких карьерах, тоннелях, горных и подземных выработках, при ведении аварийно-восстановительных работ на различных объектах народного хозяйства, а также при освоении прибрежных шельфов морей и океанов.

Специальный цикл (СЦ) обеспечивает работу дизеля на искусственных газовых смесях, существенно отличающихся от воздуха по своему составу и термодинамическим свойствам. В процессе работы в обычных условиях ДЭУ в качестве окислителя углеводородного топлива используется кислород воздуха (3,33 кг кислорода на 1 кг топлива). При сгорании 1 кг топлива образуется 3,19 кг диоксида углерода и 1,13 кг воды. Для работы ДЭУ без связи с атмосферой необходимо создание системы подготовки искусственной газовой смеси (СПИГС), которая в общем случае включает в себя следующие подсистемы: хранения и генерации кислорода, хранения и поглощения диоксида углерода, охлаждения отработавших газов и удаления из них продуктов побочных химических реакций. Исследованием вопросов обеспечения работы энергоустановок без связи с атмосферой кафедра начала заниматься с середины 1960-х гг. Были разработаны принципиальные схемные решения, предложено в качестве источника кислорода использовать технический надпероксид натрия. В 1981 г. на базе серийного дизеля 6Ч12/14 создана первая экспериментальная ДЭУ СЦ мощностью 50 кВт и выполнено ее всестороннее исследование. В последствии под руководством В.Г. Кривова, В.А. Путятинского и П.В. Дружинина была создана установка мощностью 500 кВт.

По результатам выполненных исследований зарегистрировано более 100 изобретений, разработаны и утверждены задания на создание комплексов ДЭУ СЦ мощностью 500 и 1500 кВт. Новый этап исследований ДЭУ СЦ начался в 1992 г. по заданию Правительства РФ в кооперации с заводом «Звезда», РНЦ «Прикладная химия». Была разработана конструкторская документация макетных образцов ДЭУ СЦ мощностью 500 и 1500 кВт. К сожалению, в силу объективных причин (из-за прекращения финансирования) натурные образцы созданы не были. В конце 1990-х годов данная программа

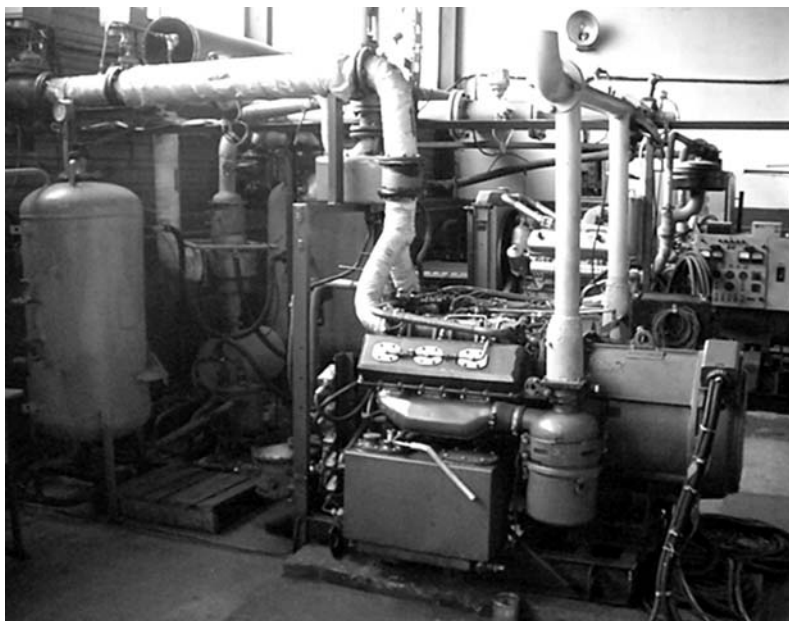


Рис. 1. Стендовая модель анаэробной ДЭУ

была закрыта. Однако в 2000-х гг. научные разработки кафедры оказались востребованы для перспективных проектов ВМФ при создании анаэробных энергоустановок для подводных объектов. Так, по договорам с СПМБМ «МАЛАХИТ» под руководством д.т.н. проф. А.Н. Агафнова был выполнен комплекс НИОКР, по результатам которых разработана и создана автоматизированная стендовая модель анаэробной ДЭУ мощностью 100 кВт (рис. 1), которая прошла всесторонние испытания на полигоне института [3].

Реализация разработанных технических решений позволяет уже в ближайшее время (2014–2015 гг.) создать опытный образец энергоустановки на базе дизельного двигателя, способной длительное время (до 10 суток) обеспечивать подводный аппарат электрической энергией.

#### **Комбинированные энергоустановки на базе ДВС с технологиями рационального использования топлива**

Проблемами создания комбинированных энергоустановок (КЭУ) на базе ДЭС с утилизацией отходящей теплоты ДВС для объектов военной инфраструктуры и народного хозяйства, условия функционирования которых существенно отличаются от соответствующих условий морских и речных судов и автотракторной техники, кафедра занимается с середины 1970-х гг. Наиболее интенсивные исследования в этой области проводились в 1980-х под руководством профессора В.Г. Кривова, в результате которых были созданы научно-технические основы комплексного использования вторичных энергоресурсов ДЭС на объектах военно-строительного комплекса (ВСК) и народного хозяйства страны.



**Рис. 2.** Размещение оборудования ветродизельного энергокомплекса на объекте (мыс Сеть-Наволоок)

Большой вклад в развитие научных исследований в области создания КЭУ на базе ДВС внесли ученые ВИТУ д.т.н. профессора В.К. Аверьянов, С.А. Синатов, к.т.н. доценты А.Н. Орлов, С.Д. Гулин, А.А. Поляков и другие, которые научно обосновали приоритетные направления развития КЭУ на базе ПДВС для совместной выработки электрической энергии и теплоты с учетом специфики функционирования объектов военной инфраструктуры и разработали базовые структурные схемы для каждого направления.

В продолжение и развитие исследований В.Г. Кривова и С.А. Синатова научным коллективом кафедры под руководством д.т.н. профессоров А.Н. Агафонова и В.О. Сайданова в 1998–2009 гг. была разработана новая научная концепция повышения эффективности энергоснабжения объектов военной инфраструктуры [4, 5]. Один из вариантов построения КЭУ на базе ДЭУ с утилизацией теплоты и ветроэлектрической установки (ВЭУ) защищен патентом РФ № 2171913.

Данный проект реализован предприятием «Президент-Нева "Энергетический центр"» при научном сопровождении кафедры в процессе создания ветродизельного

энергокомплекса для гарантированного энергоснабжения автономных потребителей мыса Сеть-Наволоок (рис. 2). В состав энергокомплекса входят 4 ДЭУ мощностью 16 кВт каждая на базе двигателей Perkins 1004G, размещенные в 2-х блок-контейнерах, источник бесперебойного питания и аккумуляторная батарея. Также в состав энергокомплекса интегрированы два ветрогенератора мощностью 30 кВт на базе шведских ветротурбин Pitch Wind. В настоящее время энергокомплекс успешно функционирует.

Практическим примером реализации научных разработок кафедры может послужить проект комбинированной электростанции для автономного энергоснабжения производственного предприятия, расположенного в п. Парголово Ленинградской

области (рис. 3).

В состав комбинированной электротеплостанции (КЭТС) входят блочно-модульная автоматизированная котельная с двумя котлами VITOPLEX 100, блочно-модульная электротеплостанция (ЭТС) на базе дизель-генераторов ДГ-200 с ДВС 12Ч15/18 (рис. 4). Технологическая схема проекта, реализованного ИК «Технопром», защищена патентом РФ № 2237182.

В процессе эксплуатации БМЭК в течение отопительных периодов 2005–2010 гг. ЭТС на базе



**Рис. 3.** Блочно-модульный энергетический комплекс



Рис. 4. Внешний вид машинного зала ЭТС

ДГ-200 обеспечивали все потребности предприятия в электрической энергии и теплоте с периодическими включениями одного котла. Суммарная продолжительность работы котла в течение отопительного периода (5280 ч) составляет в среднем 960 ч. При этом значения коэффициента использования теплоты сгорания топлива КЭТС изменялись в пределах от 0,72 до 0,86.

**Интеллектуальные автономные энергетические системы на базе комбинированных энергоустановок с частотным регулированием и преобразованием энергии (КЭУ с ЧРПЭ)**

Научное направление работ кафедры по созданию интеллектуальных автономных энергетических систем возглавляет д.т.н. проф. И.О. Прутчиков. Развитие данного научного направления предусматривает решение следующих проблем и практических задач:

- форсировка ДГУ по активной мощности;
- выравнивание графиков электрических нагрузок;
- компенсация реактивной мощности;
- автоматическое управление параллельной работой ДГУ и СПЭ;
- разработка статических реверсивных преобразователей электроэнергии (РПЭ) для совместной работы с ДГУ в составе КЭУ с ЧРПЭ;
- расчет параметров, оптимизация структуры и технико-экономическое обоснование эффек-

тивности применения интеллектуальных энергетических систем для энергоснабжения автономных объектов;

- интеллектуальное автоматическое управление автономными энергетическими системами по технологии «Умный дом» с элементами нечетной логики управления;

- разработка систем гарантированного энергоснабжения на базе комбинированных энергоустановок;

- разработка КЭУ с ЧРПЭ на базе совместного применения ДГУ, СПЭ и нетрадиционных источников энергии.

По всем перечисленным научным направлениям кафедра имеет научно-технические заделы и готова к сотрудничеству со всеми заинтересованными организациями.

**Литература**

1. *Кривов В.Г.* Основные источники автономного энергоснабжения объектов военно-строительного комплекса и подготовка для них военных инженерных кадров // Научные и практические вопросы совершенствования автономных источников энергоснабжения объектов военной инфраструктуры: Сборник докладов одноименного научно-технического семинара 22 июня 2002 г. Вып. 6; ВИТУ. — СПб., 2004. — С. 47–52.
2. *Сайданов В.О., Асанов А.Ю., Столярчук Л.В.* Универсальный стенд для проверки стойкости ДВС двойного назначения к воздействию воздушной ударной волны // Двигателестроение. — 2009. — № 2. — С. 22–24.
3. *Агафонов А.Н.* Работа дизелей в условиях функционирования по специальным циклам. — СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. — 318 с.
4. *Агафонов А.Н., Сайданов В.О., Гудзь В.Н.* Комбинированные энергоустановки объектов малой энергетики. — СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. — 262 с.
5. Системы малой энергетики. Современное состояние и перспективы развития. / В.К. Аверьянов, А.М. Карасевич, В.О. Сайданов и др.; под ред. В. К. Аверьянова. — М.: ИД «Страховое ревю», 2008. — Т. 2. — 568 с.