

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТОЙКОСТИ ДВС ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

*В.О. Сайданов, д.т.н., проф., А.Ю. Асанов, адъюнкт, Л.В. Столярчук, адъюнкт  
Военный инженерно-технический институт*

*(филиал ФГБОУ ВПО «Военная академия тыла и транспорта им. генерала армии Хрулева А.В.»*

Разработан новый универсальный стенд для проверки стойкости двигателей внутреннего сгорания к воздействию поражающих факторов воздушной ударной волны. Стенд предназначен для испытаний двигателей на соответствие специальным требованиям, предъявляемым к энергоустановкам объектов военной инфраструктуры и специального назначения. Достоинством стенда является возможность имитации как фазы сжатия, так и фазы разрежения воздушной ударной волны.

Энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания являются основой военной автономной энергетики и объектов специального назначения. В качестве наиболее характерного примера объекта специального назначения можно назвать резервные источники энергоснабжения атомных электростанций и государственных пунктов управления. При функционировании, как в составе объектов военной инфраструктуры, так и в составе объектов двойного назначения энергоустановки с ДВС должны удовлетворять целому ряду специальных требований, основными из которых являются [1]:

- высокая степень автоматизации (3 по ГОСТ 14228-80);

- быстрый пуск из холодного состояния и прием 100 % нагрузки за 10–40 с;

- параллельная работа до 6 агрегатов (регулятор частоты вращения дизеля должен допускать возможность изменения наклона статической характеристики без остановки агрегата в пределах 1,5–3 %);

- стойкость к воздействию воздушной ударной волны с давлением 0,2–0,3 МПа;

- устойчивая работа без снижения мощности с повышенными сопротивлениями на всасывании и выпуске до 10,0 кПа;

- высокая газоплотность по всасываемому и выпускному трактам (подсос воздуха через неплотности менее 0,005 м<sup>3</sup>/кВт·ч);

- стойкость к сейсмударным нагрузкам при механическом воздействии пикового ускорения 20 g длительностью импульса 30–50 мс.

В СССР поставки энергоустановок для объектов военной инфраструктуры и двойного назначения осуществляли 12 дизелестроительных заводов. Сегодня часть этих предприятий либо оказались за пределами России (например, Харьковский завод им. Малышева), либо прекратили свое существование (например, ГП «Русский дизель» Санкт-Петербург). Эти заводы выпускали силовые агрегаты мощностного ряда 1000, 2000 и 4000 кВт. Большинство энергоустановок этого ряда, предназначенные для применения их на объектах военной инфраструктуры, прошли экспериментальную проверку по определению фактической стойкости к воздействию воздушной ударной волны и сопутствующих ей факторов и специальную доработку на предмет удовлетворения изложенных выше требований [1].

В качестве альтернативы ДЭУ мощностью 500, 630, 1000 и 2000 кВт, производство которых прекращено, могут быть предложены, например, энергоустановки ОАО ХК «Коломенский завод» (г. Коломна) и ОАО «Волжский дизель им. Маминых» (г. Балаково). Однако для положительного решения вопроса о применении указанных двигателей необходимо провести как расчетные, так и экспериментальные исследования по оценке их стойкости к воздействию современных средств поражения, а также последствий чрезвычайных происшествий (ЧП), например землетрясений, техногенных катастроф и т. д.

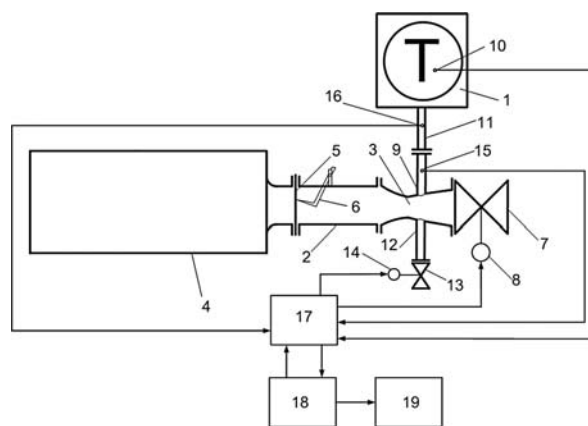
Стойкость ДЭУ к названным экспериментальным условиям приобретает особую актуальность в настоящее время в связи с последствиями аварий на атомной электростанции (АЭС) «Фукусима-1» в Японии. После мощного землетрясения, кроме всего прочего, вышла из строя резервная дизельная электростанция АЭС, в результате чего не включились насосы системы аварийного охлаждения реакторов. Основной причиной выхода из строя ДЭС стало то, что

дизельные агрегаты и их технические системы оказались беззащитными к воздействию сейсмодарных нагрузок.

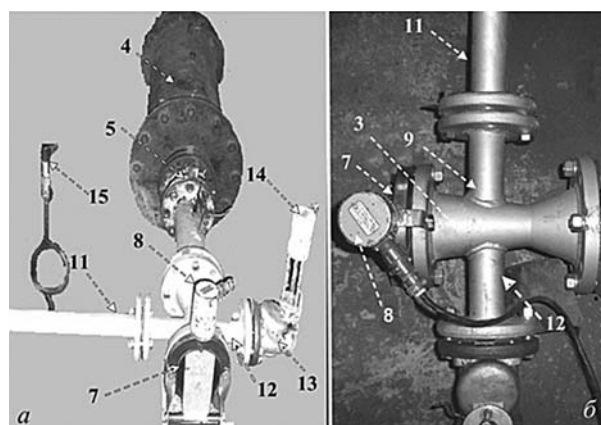
Кафедра двигателей и энергетических установок Военного инженерно-технического института (ВИТИ) занимается вопросами оценки стойкости и работоспособности ДЭУ при воздействии различных факторов современного оружия с момента своего создания в 1941 г. За прошедшие годы в рамках научной школы по автономным источникам энергии заслуженного деятеля науки и техники РФ д. т. н. профессора Кривова В.Г. сформировалось самостоятельное научное направление — комплексная оценка стойкости, защита и обеспечение работоспособности автономных энергоисточников в экстремальных условиях функционирования, разработка методов и средств их защиты. В 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, сейсмозрывных волн. Разработаны математические модели, позволяющие аналитическим путем оценить изменения прочностных, мощностных и скоростных характеристик ДВС при воздействии указанных факторов.

В настоящее время кафедра продолжает проводить интенсивные исследования по данному направлению. Энергетические установки объектов двойного назначения (резервные и аварийные энергоисточники атомных и тепловых электростанций, объектов жизнеобеспечения городов, промышленных предприятий и т. д.) должны быть устойчивы как к воздействию современного оружия (в том числе и в случае террористических актов), так и к воздействию природных и техногенных ЧП (пожаров, наводнений, землетрясений и т. п.). В сотрудничестве с фирмой ООО «Президент-Нева»-Энергетический центр» на кафедре разработан и создан новый универсальный стенд для проверки стойкости двигателей внутреннего сгорания к воздействию поражающих факторов воздушной ударной волны.

Достоинство данного стенда в том, что он позволяет имитировать как фазу сжатия, так и фазу разрежения воздушной ударной волны. Следует отметить, что созданный проф. В.Г. Кривовым экспериментальный стенд на базе установки типа баллон—труба [1] позволял имитировать только фазу сжатия воздушной ударной волны.



**Рис. 1. Принципиальная схема универсального стенда:** 1 — ДВС; 2 — ударная труба; 3 — сопло; 4 — баллон со сжатым газом; 5 — разрушаемая диафрагма; 6 — просечной нож; 7, 13 — управляемый клапан; 8, 14 — исполнительный механизм управляемого клапана; 9, 11, 12 — выпускной патрубок; 10, 15, 16 — преобразователь давления; 17 — аналоговый цифровой преобразователь (АЦП); 18 — компьютер; 19 — монитор



**Рис. 2. Реализация устройства на практике:** а — общий вид устройства; б — вид сопла сверху

На рис. 1 представлена принципиальная схема, а на рис. 2 — опытный образец нового универсального стенда для проверки стойкости двигателей внутреннего сгорания к воздействию поражающих факторов воздушной ударной волны.

Для определения зависимости рабочих параметров двигателя внутреннего сгорания от величины разрежения, создаваемого воздушной ударной волной, в баллон 4 предварительно закачивается газ (воздух). Двигатель внутреннего сгорания 1 после прогрева работает на холостом ходу либо под нагрузкой. Независимо от режима работы двигателя выпуск отработавших газов осуществляется через выпускные патрубки 9, 11, 12.

В момент разрушения диафрагмы 5 просечным ножом 6 происходит закрытие управляемого клапана 13 и открытие (с запаздыванием в несколько сотых секунды) управляемого клапана 7.

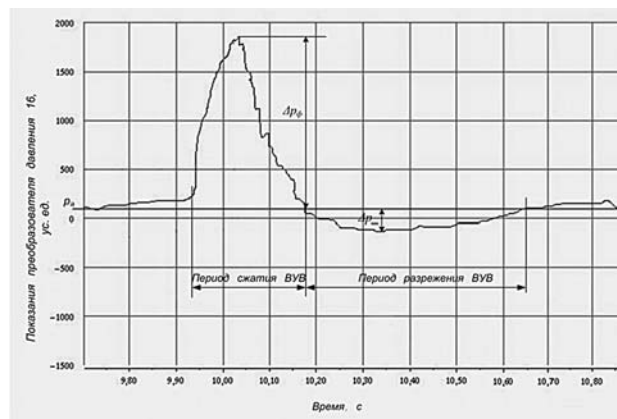
При этом пока закрыт управляемый клапан 7, волна сжатия распространяется в выпускном патрубке 9, 11, 12. После открытия клапана 7 воздушная ударная волна выходит в атмосферу, при этом, проходя через сопло, она увеличивает свою скорость. После прохождения ударной волны в выпускных патрубках 9, 11, 12 создается разрежение, имитируя этим все фазы реальной ударной волны. Место врезки выпускных патрубков 9, 12 рассчитано таким образом, чтобы создавался эффект эжекции.

Разрушение диафрагмы имеет характер взрыва. При таком разрушении диафрагмы образуются волны, распространяющиеся в обе стороны от диафрагмы. По газу, находящемуся в области низкого давления, распространяется волна сжатия. Одновременно по газу, находящемуся в области высокого давления (в баллоне), движется волна разрежения, которая затухает. Быстрейшему затуханию волны разрежения способствует наличие значительного большего поперечного сечения баллона по сравнению с сечением сопла. Сигналы от датчиков 10, 15, 16 поступают в аналоговый цифровой преобразователь 17, затем в компьютер 18 и отображаются на экране монитора 19. Датчик 10 установлен в одном из цилиндров двигателя вместо свечи подогрева всасываемого воздуха.

Для определения положения поршня в цилиндре на двигателе установлен электронный отметчик верхней мертвой точки (ВМТ), который фиксирует положение маховика. Помимо отображения на экране монитора все параметры записываются специально разработанной программой и сохраняются в виде отдельных файлов, которые можно загружать в любой компьютер и анализировать результаты.

На схеме (см. рис. 1) представлено техническое решение для физического моделирования воздействия воздушной ударной волны на выпускную систему дизеля. За счет несложного изменения монтажа стенд позволяет моделировать воздействие ударной волны на систему воздухозабора, а также одновременно на обе системы.

Разработанный экспериментальный стенд защищен патентом РФ № 2382345 [2]. В настоящее время опытный образец стенда смонтирован и испытан в лаборатории кафедры двигателей и энергетических установок на учебно-экспериментальной базе института. На рис. 3 представлена экспериментальная зависимость изменения



**Рис. 3. График изменения давления воздуха**

(показания преобразователя давления 15):

$p_a$  — атмосферное давление;  $\Delta p_-$  — величина разрежения;  $\Delta p_{\phi}$  — избыточное давление во фронте ВУВ

давления воздуха, полученная на универсальном стенде при воздействии на систему выпуска. Запись показания преобразователя давления (15) показывает, что на стенде получена ударная волна с большим временем действия, т. е. ударная волна с необходимыми параметрами, соответствующая законам обычных ударных волн. При этом величина избыточного давления во фронте  $\Delta p_{\phi}$  волны определяется величиной отношения давлений в баллоне и атмосфере ( $p_0/p_a$ ) и профилем выпускного патрубка; время истечения определяется объемом воздуха, находящегося в баллоне и сечением выпускного патрубка; величина скорости фронта  $u_{\phi}$  волны — профилем сопла и перепадом давлений ( $p_0/p_a$ ).

Таким образом, новый универсальный стенд для проверки стойкости двигателей внутреннего сгорания к воздействию поражающих факторов воздушной ударной волны может быть успешно использован для испытаний двигателей, планируемых к применению на специальных объектах на предмет их соответствия специальным требованиям, предъявляемым к энергоустановкам объектов военной инфраструктуры.

#### Литература

1. Кривов В.Г. Конструкция, системы и эксплуатация дизелей объектов Министерства обороны. Ч. I. — Л., ЛВВИСКУ, 1976. — С. 246.
2. Патент РФ № 2382345 С1 МПК 7 G01M15/04 Устройство для нагружения двигателя внутреннего сгорания воздушной ударной волной / Антипов М.А., Сайданов В.О., Терехин А.Н., Асанов А.Ю., Пчельников Д. П. — Оpubл. 20.02.2010., бюл. № 5.