

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДА 71-2-85 ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ КСЕНОНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОЕКТА ONEWEB

MODERNIZATION OF STAND 71-2-85 FOR TESTING XENON ENGINES AS PART OF THE ONEWEB INTERNATIONAL PROJECT

К.М.Моисеев^{1,3}, konstantin.moiseev@intech-group.ru

В.В.Коваль¹, Д.В.Ловцюс¹, К.А.Савченко²

К.М.Moiseev, V.V.Koval, D.V.Lovtsyus, K.A.Savchenko

¹Акционерное общество «Интек Аналитика», г. Санкт-Петербург

²Федеральное государственное унитарное предприятие «Опытно-конструкторское бюро «Факел», г. Калининград

³МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Приведены требования к модернизации вакуумного испытательного стенда 71-2-85 для испытания стационарных плазменных двигателей в рамках международной программы OneWeb. Описан процесс модернизации вакуумной откачной системы и представлены результаты ее модернизации.

The requirements for the modernization of the vacuum test chamber 71-2-85 for testing stationary plasma thrusters in the framework of the OneWeb international program are given. The process of modernization of the vacuum pumping system is described and the results of its modernization are presented.

Ключевые слова: *стационарный плазменный двигатель, ксенон, вакуумная система, безмасляная откачка, статическое давление, динамическое давление, расход рабочего тела.*

Key words: *stationary plasma thruster, xenon, vacuum system, oil-free pumping, static pressure, dynamic pressure, flow rate of the working gas.*

ВВЕДЕНИЕ

В 2015 году началась реализация программы OneWeb [1] – создание группировки из более чем 650-ти коммуникационных орбитальных спутников, предназначенная для обеспечения широкополосного доступа в интернет посредством технологий мобильной спутниковой связи. Основным разработчиком спутников является компания Airbus Defence and Space (Великобритания), изготовлением занимается совместное предприятие Airbus и OneWeb (США) [1]. В своем составе каждый спутник имеет плазменную двигательную установку на базе стационарного плазменного двигателя СПД-50М производства ФГУП «ОКБ «Факел» (Россия) [2]. Также в проекте участвуют и другие российские компании: РКЦ «Прогресс» (Россия) – производитель ракеты-носителя «Союз» и АО «НПО им. С.А. Лавочкина» – производитель разгонных блоков «Фрегат».

Первый запуск спутников был запланирован на 2018 год, а вся группировка целиком должна быть выведена на орбиту до 2021 года. Производство такого количества СПД потребовало от ФГУП «ОКБ «Факел» существенного наращивания производственных мощностей и испытательной базы, причем в крайне сжатые сроки.

Одним из наиболее трудоемких и длительных процессов являются огневые испытания в вакуумной камере, подтверждающие качество СПД. Работоспособность

двигателей должна быть подтверждена при соответствующем динамическом давлении в вакуумной камере, заданном режиме работы СПД, расходе рабочего тела – ксенона. От характеристик вакуумной системы стенда, ее возможностей, зависит выполнение требований приемочных испытаний и выполнение всей программы One Web.

ВАКУУМНЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД 71-2-85

Для серийных испытаний СПД в рамках программы их производства для OneWeb ФГУП «ОКБ «Факел» определил вакуумный стенд 71-2-85.

Стенд (рис. 1) представляет собой горизонтальную цилиндрическую вакуумную камеру диаметром 1,6 м и объёмом 13,5 м³. Одна из частей вакуумной камеры является откатной, в ней устанавливаются СПД и аппаратура для регистрации параметров. В стационарной части сосредоточена вакуумная откачка на базе масляных насосов, относительно уровня пола которых камера находится на отметке +2,5 метра.

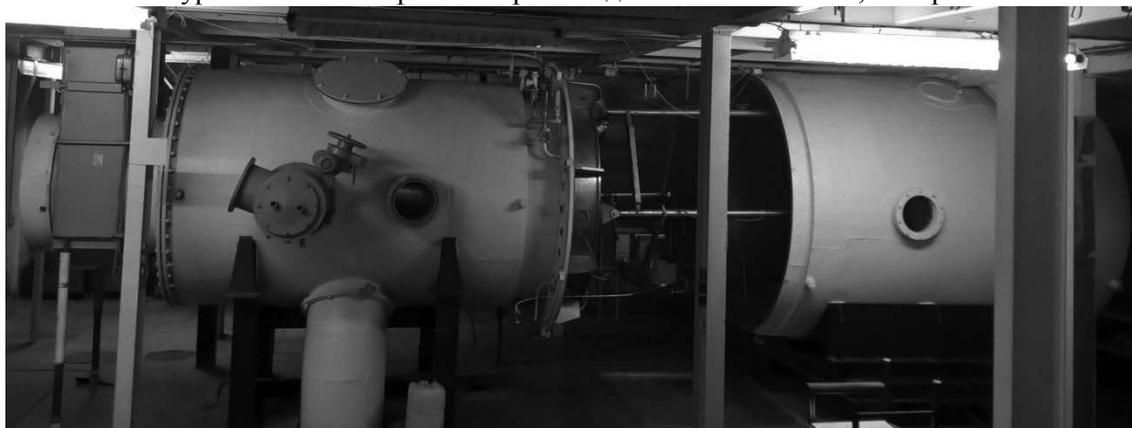


Рис. 1. Испытательный стенд 71-2-85 до модернизации.

Для модернизации стенда в части вакуумной системы (ВС) было разработано техническое задание, в котором определены цель, задачи, состав ВС и аттестуемые параметры.

Цель модернизации: обеспечение требуемой вакуумной среды в рабочей камере испытательного стенда 71-2-85 для испытания стационарных плазменных (ксеноновых) двигателей.

Задачи модернизации:

- Обеспечение полностью безмасляной вакуумной среды в рабочей камере испытательного стенда 71-2-85 с требуемыми значениями давления в статическом и динамическом режимах испытаний;
- Автоматизированное управление и мониторинг вакуумной откачной системой.

Аттестуемые параметры:

- статическое давление: не выше $3 \cdot 10^{-6}$ Торр;
- динамическое давление: не выше 10^{-4} Торр при расходе ксенона не более 10 мг/с.

Состав ВС:

- вакуумно-откачная система (ВОС);
- система водяного охлаждения (СВО);
- система пневмопитания (СП);
- система автоматизированного управления (АСУ)
- система электропитания (СЭ).

ХОД МОДЕРНИЗАЦИИ

Модернизация ВС проводилась специалистами АО «Интек Аналитика» и состояла из следующих этапов:

- разработка конструкторской и эксплуатационной документации;
- изготовление и поставка на территорию ФГУП «ОКБ «Факел»;
- сборка, монтаж, пуско-наладка;
- обучение персонала ФГУП «ОКБ «Факел» работе с оборудованием.

На первом этапе был разработан технический проект в соответствии с ГОСТ2.102.2013, рассчитаны и определены основные параметры откачного и вспомогательного оборудования. На этапе рабочей документации разработаны рабочие чертежи вновь изготавливаемых элементов стенда.

Вакуумная откачная система

Откачные средства, входящие в состав ВОС, полностью исключают возможность миграции масляных паров из систем насосов в рабочий объем установки.

Для форвакуумной откачки использованы безмасляные откачные посты Edwards GXS250/2600 (быстрота действия 1 900 м³/ч) и GXS160 (быстрота действия 160 м³/ч), которые располагаются под камерой на отметке 0,0 м так, чтобы обеспечить минимальную длину форвакуумного трубопровода и трубопровода откачки высоковакуумных насосов. Условный диаметр форвакуумного трубопровода – 160 мм, трубопровода откачки высоковакуумных насосов – 63 мм. Форвакуумная линия подключается через переходник DN500-DN160, привариваемый к нижнему левому патрубку камеры DN500. Дополнительно на этот переходник оборудован тремя патрубками KF40: два для жидкостных вводов водяного экрана, один для установки клапана напуска атмосферы.

Статическое давление обеспечивается двумя турбомолекулярными насосами на магнитном подвесе Edwards STPiXA4506C (быстрота действия 4 300 л/с) со интегрированным контроллером. Насосы отсекаются от камеры затворами VAT Series 11 DN320, и установлены под углом 45° на верхних патрубках камеры DN500 через переходники DN500-DN320.

Давление в динамическом режиме обеспечивается криогенным насосом VELCO 1250 Xe в специальном исполнении для улучшенной откачки ксенона. Быстрота действия по азоту и по ксенону составляет 65 000 л/с. Насос установлен на торцевую крышку неподвижной части камеры через затвор VAT Series 19.0. Для стыковки затвора изготовлен переходный патрубок DN1250, который вваривается в крышку камеры. Длина цилиндрической части патрубка минимально необходимая и достаточная монтажа затвора через пол отметки +5,0 м. Крионасос стыкуется непосредственно к фланцу затвора. Для снижения нагрузки на фланец камеры от затвора и крионасоса установлена подпорка для затвора.

Компрессоры криогенного насоса располагаются на отметке 0,0 м.

Разработанная вакуумная принципиальная схема (рис. 2) позволяет использовать оба форвакуумных откачных поста в произвольном режиме: либо для откачки камеры, либо для откачки турбомолекулярных насосов, либо для регенерации криогенного насоса.

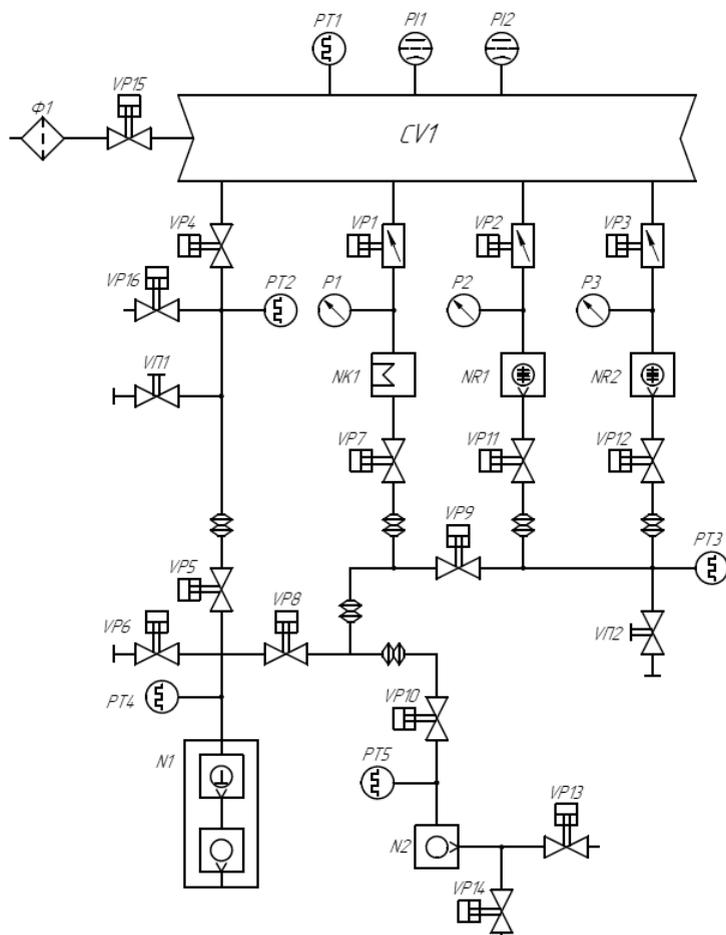


Рис. 2. Схема вакуумная принципиальная: CV1 – камера вакуумная; N1 – форвакуумный откачной пост Edwards GXС250/2600; N2 – форвакуумный откачной пост Edwards GXС160; NR1, NR2 – турбомолекулярный насос Edwards STPiXR4506C; NK1 – криогенный насос HSR VELCO 1250 Xe; PT1...PT5 – датчик вакуума Пирани Edwards APG100-XLC; PI1, PI2 – датчик вакуума ионизационный Edwards AIGX-S; P1...P3 – датчик вакуума широкодиапазонный Edwards WRG-S; VP1 – затвор электропневматический VAT Series 19 DN1250; VP2, VP3 – затвор электропневматический VAT Series 11 DN320; VP4...VP6 – клапан электропневматический VAT Series 26 DN160; VP7...VP10 – клапан электропневматический VAT Series 26 DN63; VP11...VP15 – клапан электропневматический VAT Series 26 DN40; VP16 – клапан электропневматический VAT Series 26 DN25; VP1, VP2 – клапан ручной VAT Series 26 DN25; Φ1 – фильтр

Система водяного охлаждения

Система водяного охлаждения предназначена для обеспечения охлаждения оборудования вакуумной откачной системы включая: компрессоры криогенного насоса, турбомолекулярные насосы, форвакуумные посты.

СВО реализована на базе охладителей-циркуляторов (чиллеров) с воздушным охлаждением BL149 и BL455, которые располагаются на отметке +5,0.

СВО состоит из двух замкнутых непересекающихся контуров. Первый контур охлаждается чиллером BL455, к нему параллельно присоединены форвакуумные посты GXС250/2600 и GXС160, и пять компрессоров F-70 криогенного насоса HSR VELCO 1250

Хе. Второй контур охлаждается чиллером BL149, к нему присоединены два турбомолекулярных насоса STRiXA4506C и водяной экран.

Водяной экран из нержавеющей стали предназначен для съема теплового потока порядка 1 кВт, идущего от плазменного двигателя в процессе испытаний. Экран располагается на минимальном расстоянии от торца неподвижной части камеры. Диаметр равен внутреннему диаметру криогенного насоса, конструкция оптически непрозрачная, жалюзийного типа. Толщина элементов криоэкрана – не менее 2 мм. Подача воды осуществляется по специальным водяным вводам, установленным на левом нижнем патрубке DN500. На вход воды устанавливается клапан, управляемый АСУ ВС, позволяющий включать/выключать ее подачу. Экран съемный.

После каждого охлаждаемого устройства установлено реле расхода для контроля наличия потока охлаждающей воды. Сигналы реле подключаются к АСУ ВС.

Система пневмопитания

Система пневмопитания предназначена для обеспечения осушенным сжатым воздухом оборудования ВОС включая: клапаны, затворы, системы форвакуумной откачки.

СП реализована на базе безмасляного поршневого компрессора с ресивером и встроенным осушителем Dr.Sonic 320-50V-ES-3M.

В СП включен дополнительный ресивер перед затвором Ду1250 для компенсации скачков давления при его срабатывании.

СП оборудована манометрами с реле давления или датчиками давления, сигналы которых идут в АСУ ВС.

Система автоматизированного управления вакуумной системы

Автоматизированная система управления предназначена для автоматизированного управления технологическим процессом вакуумной откачки. АСУ ВС обеспечивает: вывод вакуумной камеры стенда 71-2-85 на режим по давлению, поддержание рабочего давления в вакуумной камере, по завершении испытания напуск атмосферы в вакуумную камеру через фильтр.

В АСУ ВС входят напольная стойка с сенсорной панелью управления и автоматизированное рабочее место оператора (АРМ). Управление ВС может производиться как с АРМ, так и с сенсорной панели.

Технологические блокировки обеспечивают максимально возможную сохранность объекта испытания и оборудования при любых состояниях вакуумной системы. В АСУ ВС предусмотрены контроль правильности выполнения автоматических функций и диагностирование, с указанием места и вида возникновения нарушений правильности функционирования АСУ ВС.

В АСУ ВС предусмотрены меры по защите внешней среды от промышленных радиопомех, излучаемых техническими средствами АСУ ВС при работе, а также в момент включения и выключения.

АСУ ВС позволяет управлять ВС в автоматизированном и ручном режимах. В автоматизированном режиме АСУ ВС автоматически открывает/закрывает затворы и клапаны, включает/выключает насосы и датчики, при этом оператору предлагается только подтвердить переход с одного этапа откачки на другой (форвакуумная откачка > откачка турбомолекулярными насосами > откачка криогенным насосом). Кроме того, АСУ ВС может самостоятельно завершить работу ВС в правильной последовательности. Ответственные операции, выполняемые оператором, проходят с использованием дополнительного подтверждения.

Алгоритм работы ВС рассчитан на двухсменный (безостановочный) режим работы операторов системы вакуумирования, а также предусмотрена возможность остановки

процесса откачки в конце смены и его продолжение вначале следующей, независимо от момента остановки.

Система электропитания

Система электропитания (СЭ) предназначена для обеспечения электропитанием оборудования вакуумной системы.

СЭ включает источник бесперебойного питания MPX-P125BP2LHM3L3, обеспечивающий работу вакуумной системы в течение 30 минут в случае несанкционированного отключения электроэнергии.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ

В ходе проведенной модернизации все поставленные задачи были выполнены в установленные жесткие сроки – в течение 280 календарных дней.

Стенд позволяет испытывать до 16 двигателей СПД-50М за одну загрузку вакуумной камеры, один цикл.

На рис. 3...5 представлены изображения частей стенда после модернизации.



Рис. 3. Рабочая камера испытательного стенда 71-2-85 после модернизации.



Рис. 4. Форвакуумные откачные посты, гелиевые и воздушные компрессоры

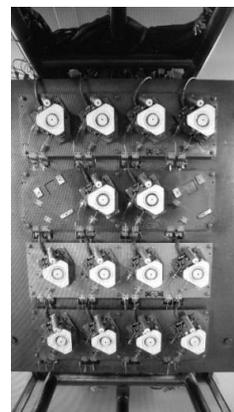


Рис. 5. Установленные в камере СПД

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.oneweb.world>.
2. https://fakel-russia.com/images/gallery/produczia/СПД_рус.pdf.