

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ВК-48 ПУТЁМ СОЗДАНИЯ ЕЁ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

А.Ю. Кочетков

АННОТАЦИЯ

В последнее время направление по созданию цифровых двойников сложных технических объектов, в том числе термовакuumной камеры, принимает всё большее значение, из-за необходимости прогнозирования их поведения в процессе эксплуатации. Создание цифровых двойников позволяет прогнозировать поведение термовакuumной камеры и своевременно принимать необходимые меры предупреждая негативные последствия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК, ТЕРМОВАКУУМНАЯ КАМЕРА, ТЕПЛОВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

IMPROVING THE OPERATIONAL AND METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE VK-48 THERMAL VACUUM CHAMBER BY CREATING ITS DIGITAL COUNTERPART

A.IU. Kochetkov

ABSTRACT

Recently, the direction of creating digital counterparts of complex technical objects, including a thermal vacuum chamber, has become increasingly important, due to the need to predict their behavior during operation. The creation of digital twins allows you to predict the behavior of the thermal vacuum chamber and take the necessary measures in a timely manner, preventing negative consequences.

KEYWORDS

DIGITAL TWIN, THERMAL VACUUM CHAMBER, EXPERIMENT

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время направление по созданию цифровых двойников сложных технических объектов принимает всё большее значение, из-за необходимости прогнозирования их поведения в процессе эксплуатации. Создание цифровых двойников во всех отраслях промышленности позволяет прогнозировать поведение этих объектов и своевременно принимать необходимые меры предупреждая негативные последствия.

Это касается как производственных объектов (цехов, установок), так и сложных готовых изделий (авиадвигатели).

Создание цифрового двойника термовакuumной камеры (ТВК) позволяет решать две основные задачи: первая - постоянное поддержание ТВК в работоспособном состоянии, вторая - проведение виртуального тепловакuumного эксперимента перед проведением натурального эксперимента в ТВК.

Первая задача относится к эксплуатации. Поскольку ТВК является сложным техногенным объектом, включающем большое количество сложного и дорогостоящего

оборудования, необходимо всегда держать её в исправном и безопасном состоянии, предупреждая возможные неисправности и иметь в наличии необходимое количество запасных частей и принадлежностей, заменяя их в срок.

Вторая задача относится к проведению теловакуумного эксперимента. Поскольку полностью отказаться от эксперимента в ТВК невозможно в силу невозможности построения 100 % надёжной тепловой модели космического аппарата. В то же время объединение имеющейся математической модели космического аппарата с математической моделью ТВК позволит провести виртуальный эксперимент, приближённые результаты которого дадут возможность оценить состояние объекта испытаний до проведения эксперимента.

Одновременно с этим, проведение совместного виртуального эксперимента КА в ТВК с использованием цифровых двойников обоих позволит определить наиболее оптимальные режимы эксплуатации систем ТВК и существенно повысит достоверность полученных экспериментальных данных.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Постановка задачи: определение подходов и методологии при создании цифрового двойника ТВК.

Цифровой двойник должен в первую очередь содержать информацию о метрологических характеристиках систем ТВК. Для имитатора Солнца должны быть представлены такие характеристики как: неравномерность плотности светового потока в пятне, углы расхождения светового пучка, диапазон воспроизводимых плотностей потока. Для вакуумной системы должны быть представлены величины максимального и минимального остаточного давления в рабочем объёме ТВК, и по возможности, поле давления по объёму ТВК. Для азотной системы должны быть представлены характеристики поля температур азотных экранов с тепловой нагрузкой и без неё. Аналогично, должны быть представлены характеристики и по остальным системам ТВК.

Вся перечисленная информация по ТВК и объекта испытаний должна быть перенесена в одну программную среду для проведения виртуального эксперимента.

Вторая очень важная задача, которую можно решить при помощи цифрового двойника - оценка текущего состояния ТВК и прогнозирование технического состояния в будущем. Эта задача касается в основном состояния экспериментального оборудования, которое во многом определяется объёмом и сроками технического обслуживания, планово-предупредительного ремонта, своевременной замены составных частей и др.

Все данные следует заносить в отдельную модель ТВК, никак не связанную с объектом испытаний, но при этом данная информация позволит делать прогноз изменения характеристик ТВК во времени.

Цифровой двойник ТВК должен содержать максимальное количество эксплуатационной информации по каждой системе. В целом по ТВК должна иметься информация о первичных и текущих технических и метрологических характеристиках, таких как данные аттестации и изменение их во времени. Также цифровой двойник должен содержать информацию о техническом состоянии систем ТВК.

На рисунке 1 показана схема ТВК включающая основные системы. Например, по системе вакуумирования должна быть информация по наработке каждого вакуумного насоса, оставшемся времени до технического обслуживания, давление на входе при работе «на себя», температуре и расходе охлаждающей жидкости, если она применяется,

информация о проведении технического обслуживания, ремонта и наличия ЗИП. Для арматуры, входящей в состав вакуумной системы должна иметься информация о циклах «открыт-закрыт», сроках замены резиновых уплотнений. Для приборов, измеряющих вакуум, должны быть указаны сроки периодической поверки, диапазон и погрешность измерений.

По криогенной системе кроме технических характеристик по ёмкости сосудов для жидкого азота и их рабочем давлении должна быть информация о сроках наружного осмотра и пневмо- гидроиспытаний. Для азотных экранов должна быть информация о первичной и текущей температуре во время испытаний, а также информация о состоянии термооптических покрытий, количестве циклов включения и др.

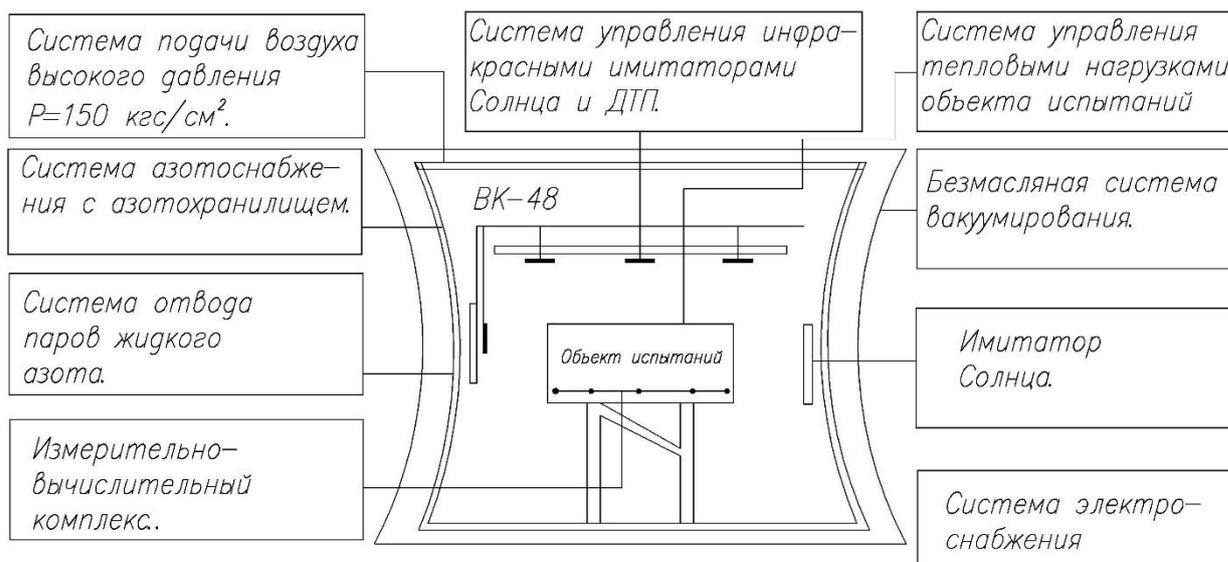


Рис. 1. Схема

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Представленные выше подходы, отражённые в цифровых двойниках, дают возможность отслеживать готовность ТВК к работе, и более широком смысле, дают исчерпывающую информацию о техническом состоянии ТВК.

Известно, что проведение тепловакуумных испытаний в ТВК по устоявшимся требованиям являются неотъемлемой частью разработки космического аппарата и производственного процесса. Без проведения тепловакуумных испытаний довольно трудно получить допуск к запуску космического аппарата. С другой стороны, тепловакуумные испытания являются одними из самых затратных испытаний по трудоёмкости и соответственно стоимости. Они вносят большой вклад в стоимость разработки и изготовления космического аппарата. Также большое значение при проведении тепловакуумных испытаний в ТВК играет так называемая стоимость владения испытательным оборудованием, то есть затраты на поддержание в рабочем состоянии ТВК, затраты на проведение ТВИ, затраты на содержание высококвалифицированного обслуживающего персонала и другие экономические характеристики, которые дополняют картину о состоянии ТВК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание цифрового двойника ТВК и объединение его с цифровым двойником испытуемого объекта позволит заранее определить наиболее критические режимы испытаний, и провести натурный эксперимент, получив наиболее достоверные экспериментальные данные при минимальных материальных затратах.

Основная цель создания цифрового двойника – повышение экономической эффективности разработки и производства космических аппаратов путём снижения издержек на эксплуатацию ТВК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтов В.В., Гуля В.М., Копяткевич Р.М., Мишин Г.С. и др. УДК 629.7.018.3:536.24. Тепловое проектирование и пофрагментная наземная отработка системы обеспечения теплового режима космического аппарата негерметичного исполнения на базе сотопанелей с тепловыми трубами. // "Космонавтика и ракетостроение" № 3 (60) 2010, Королёв, МО. С.33-41.
2. Андрейчук О.Б., Малахов Н.Н. Тепловые испытания космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1982. 143 с.
3. Афанасьев В.А., Барсуков В.С., Гофин М.Я. и др. Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов // Под редакцией Н.В. Холодкова. М.: Изд-во МАИ, 1994. 412 с.
4. Вакуумная техника: справочник/ К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин и др.; под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2009. 590 с., ил.
5. Зайцев А.Н., Чухлов В.Д., Тулин Д.В., к.т.н. Шабарчин А.Ф., Мартынов и др. К вопросу определения внешних тепловых потоков на космическом аппарате, размещённом в вакуумной камере // Материалы XIX научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. "Вакуумная наука и техника". Сентябрь 2012. С. 87-93.
6. А.Ю. Кочетков АО "НПО Лавочкина" Химки, МО. Имитация климатических условий поверхности Марса при проведении тепловакуумных испытаний посадочного аппарата в термовакуумной камере // Материалы XIV научно-технической конференции. "Вакуумная техника, материалы и технология". Апрель 2019. С. 210-213.
7. А.Ю. Кочетков АО "НПО Лавочкина" Химки, МО. Испытания посадочного аппарата в климатических условиях поверхности Марса в термовакуумной камере // Материалы XXVI научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. "Вакуумная наука и техника". Сентябрь 2019. С. 233-236.
8. Тулин Д.В., Шабарчин А.Ф., Зайцев А.Н., Кочетков А.Ю. и др. К проблеме измерения давления внутри КА и их модулей при проведении тепло-вакуумных испытаний (ТВИ). XVII научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов "Вакуумная техника и наука" 2010. с. 238-242.
9. Финченко В.С., Котляров Е.Ю., Иванков А.А. Системы обеспечения тепловых режимов автоматических межпланетных станций // под ред. д.т.н., проф. В.В. Ефанова, д.т.н. В.С. Финченко - Химки. Издатель АО "НПО Лавочкина", 2018. - 400 с.: ил.
10. Филатов А.А., Смирнов П.Г., Бояркин В.В., Ретякова Е.В. Цифровой двойник стенда тепловакуумных испытаний ВК 600/300 с верхнем оптическим отсеком и

имитатором Солнечного излучения ИС-500: предпосылки создания. XLVIII
академические чтения по космонавтике. Сборник тезисов. Москва, 24-27 января 2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кочетков Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, АО «НПО Лавочкина» г.Химки
Московской обл. e-mail: KochetkovAIU@laspace.ru