

УДК 62-192

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВАКУУМ-ПЛОТНЫХ КОРПУСОВ РЭА

© 2009 Д. М. Свиридюк

Московский Государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Разработана математическая модель инъекции защитного газа из вакуум-плотного корпуса РЭА через паяное соединение крышки корпуса, позволяющая установить связь между временем эксплуатации и давлением защитного газа внутри вакуум-плотного корпуса РЭА. Разработан метод контроля герметичности вакуум-плотных корпусов РЭА с помощью измерения деформации крышки корпуса. Это позволяет выявлять разгерметизированные корпуса и прогнозировать дальнейшее изменение давления защитного газа внутри корпуса.

Контроль герметичности, корпус, математическая модель, метод контроля

Одним из основных элементов обеспечения надёжности ракетных двигателей является качество функционирования РЭА, управляющей ими. В настоящее время на космических летательных аппаратах не используются герметичные отсеки. Таким образом, возникает необходимость локальной герметизации РЭА в вакуум-плотных корпусах.

Вакуум-плотные корпуса после изготовления и помещения во внутрь РЭА, заполняются газовой защитной средой под небольшим избыточным (до 1,3 атм) давлением и герметизируются пайкой с применением припоя ПОС-61. После оценки их герметичности гелиевым течеискателем они достаточно длительное время хранятся (предстартовый период около 3 лет), и затем без дополнительного контроля устанавливаются на изделие.

Необходимо отметить, что на этапе хранения корпуса при атмосферном давлении, а также непосредственно в период эксплуатации в связи с остаточными напряжениями, со специфическими особенностями поведения материалов в условиях космического вакуума такими, как повышенные потери массы, изменение структуры и свойств поверхности, развитие электрических разрядов и пробоев и др., существует вероятность образования дефектов в герметизирующем шве, недопустимого снижения давления защитного газа в корпусе и, как следствие, выхода из строя РЭА.

В связи с вышеописанным была разработана математическая модель инъекции защитного газа из вакуум-плотного корпуса.

Анализ физических особенностей снижения давления наддува корпусов РЭА защитным газом позволил сформулировать следующие допущения, необходимые для математического моделирования данного процесса (рис.1).

1. Инъекция происходит через малый дефект (течь). Поэтому быстрыми вариациями

давления $p(\tau)$ типа: $\frac{d^2 p}{d\tau^2}$ (и выше) можно пренебречь по сравнению с интенсивностью (скоростью) снижения давления:

$$\frac{dp}{d\tau} \gg \frac{d^2 p}{d\tau^2}, \frac{d^3 p}{d\tau^3}, \text{ и т. д.}$$

2. В связи с вышеизложенным основным допущением процесс инъекции в микрообъёме будем считать изотермическим без волновых и переходных процессов.

3. В первом приближении интенсивность снижения давления пропорциональна перепаду давлений газа на стенке корпуса РЭА.

На основе сделанных физически обоснованных допущений будем иметь следующую математическую модель инъекции:

$$p(\tau) = p_0 + p_n e^{-\alpha\tau},$$

где $p(\tau)$ – давление защитного газа в корпусе РЭА в текущий момент времени τ ; p_0 – внешнее давление на корпус РЭА со стороны окружающей среды; p_n – избыточное давление газа в начальный момент времени; α – коэффициент пропорциональности характеризующий непроницаемость (герметичность) корпуса РЭА.

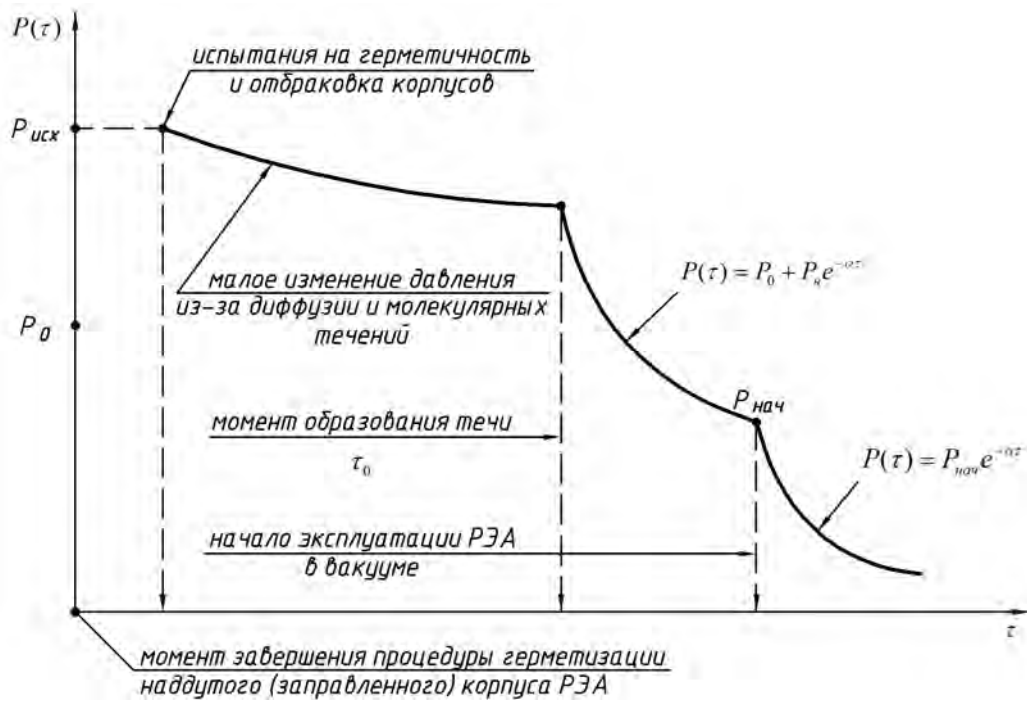


Рис. 1. Диаграмма изменения давления защитного газа в корпусе РЭА

Важная особенность реального процесса истечения защитного газа из корпуса РЭА состоит в том, что начало этого процесса по сути неопределенно. В связи с этим была разработана вероятностная модель для определения времени начала истечения защитно-

го газа. По результатам имитационного моделирования по методу Монте-Карло было получено распределение времени начала процесса истечения защитного газа из корпуса РЭА, представленное на рис. 2.

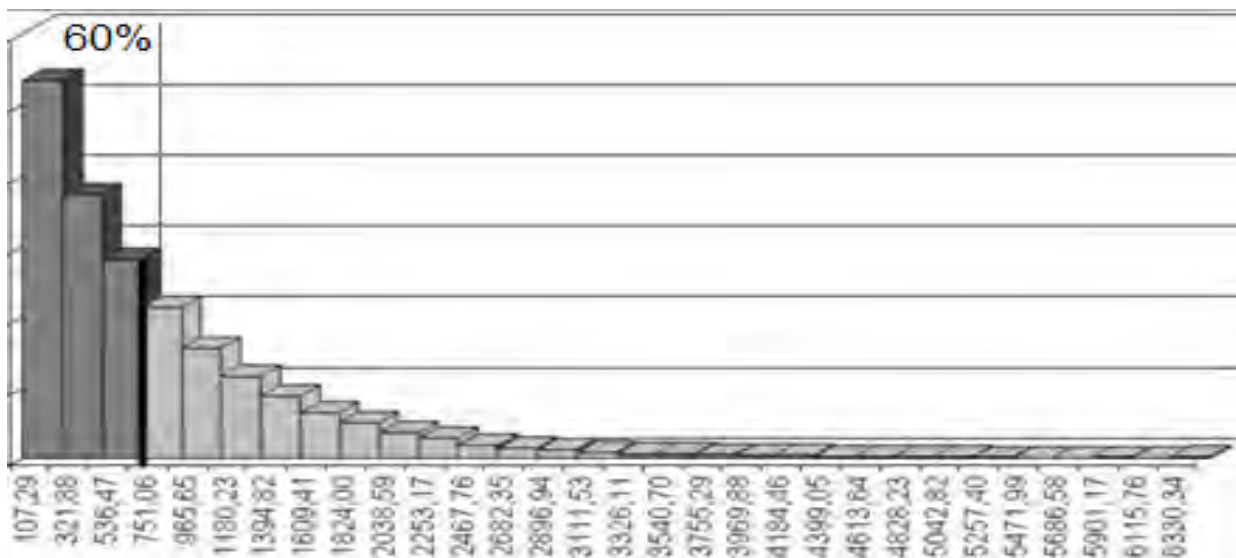


Рис. 2. Распределение времени начала процесса истечения защитного газа из корпуса РЭА

На основании полученного распределения были построены характерные варианты изменения давления защитного газа в корпусе РЭА, представленные на рис. 3.

его лучше заменить. Корпус 2 негоден, так как $\tau_{эксн}^2 < \tau_{эксн}$. Корпус 3 годен, но течь образовалась при эксплуатации.

Корпус 1 годен, так как $\tau_{эксн}^1 > \tau_{эксн}$, но

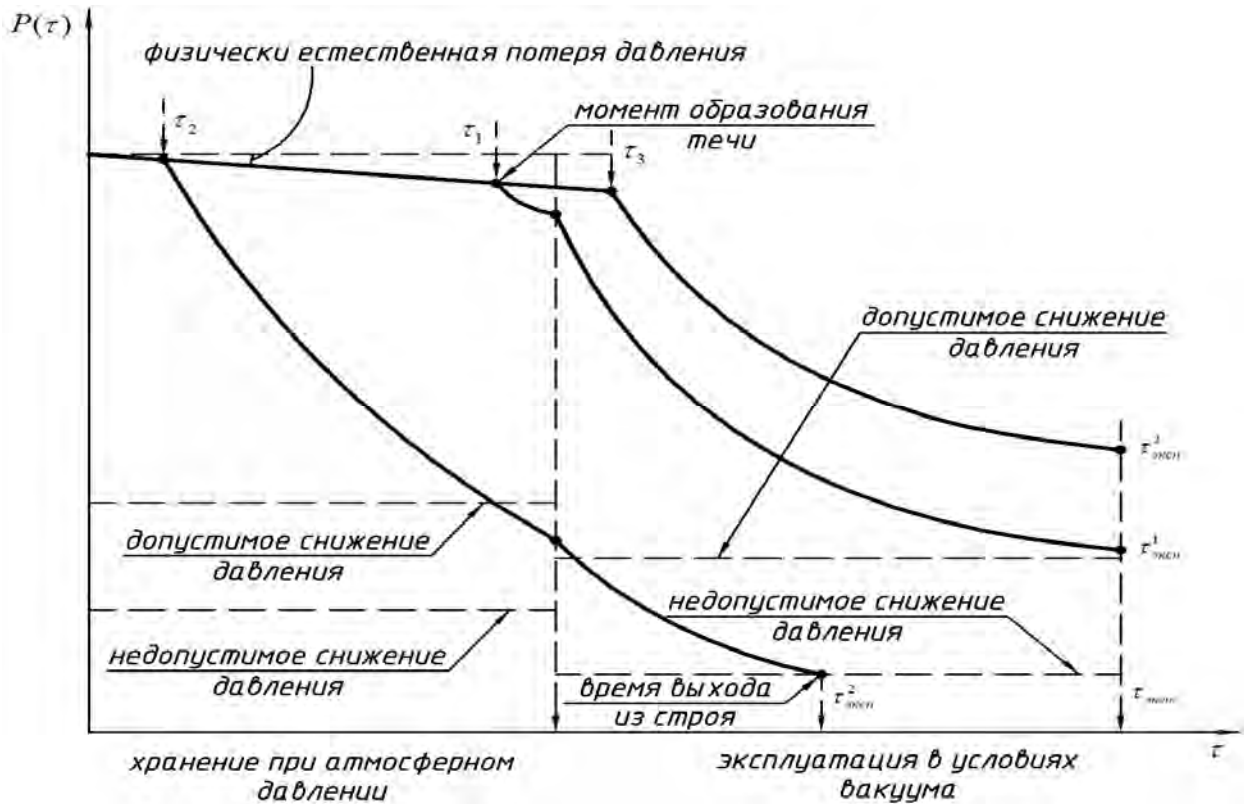


Рис. 3. Характерные варианты изменения давления защитного газа, иллюстрирующие возможности разработанной математической модели ($\tau_{\text{эксл}}$ – заданное время эксплуатации)

Соответственно при введении технологической операции неразрушающего контроля давления защитного газа в вакуум-плотном корпусе РЭА перед установкой на космический объект даст возможность выявить разгерметизированные корпуса и прогнозировать дальнейшее изменение давления защитного газа внутри корпуса.

Методом экспертных оценок на начальном этапе анализа установлено, что наиболее технически приемлемым способом решения задачи контроля давления защитного газа в корпусах РЭА является деформационный метод. Остальные методы (взвешивания и резонансно-динамический) практически нереализуемы. Деформационный метод контроля давления защитного газа в корпусах РЭА основан на изменении величины деформации крышки корпуса РЭА до заправки и после заправки. С помощью программ Nastran и SolidWorks были построены зависимости величины деформации крышки типового корпуса от давления защитного газа.

На следующем этапе работы было проведено экспериментальное исследование деформационного метода контроля давления

защитного газа. Общий вид установки для проведения измерений показан на рис. 4. На рис. 5 представлены расчетные и экспериментальные зависимости величины деформации крышки от давления защитного газа. Результаты теоретических расчетов хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными.

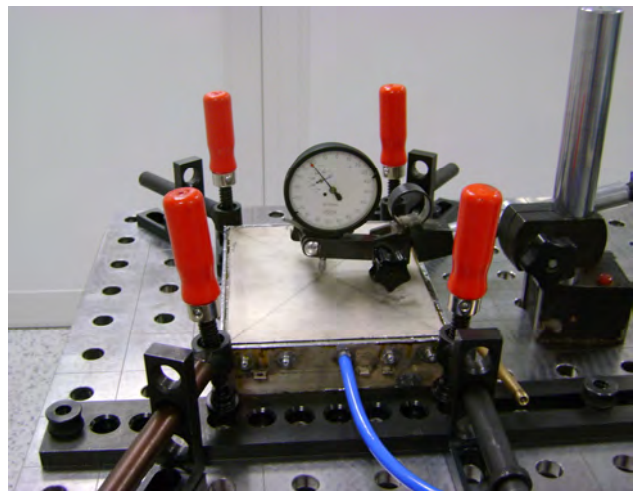


Рис.4. Общий вид установки для проведения измерений



Рис. 5. Зависимости величины деформации крышки от давления защитного газа

Выводы:

1. Разработана математическая модель инъекции защитного газа из вакуум-плотного корпуса РЭА через паяное соединение крышки корпуса, позволяющая установить связь между временем эксплуатации и давлением защитного газа внутри вакуум-плотного корпуса РЭА.

2. Используя статистические данные завода-изготовителя с применением метода имитационного моделирования Монте-Карло, показано, что если есть потенциальная возможность разгерметизации порядка 0.5%, то 60% случаев разгерметизации происходит на стадии хранения в течение предстартового периода.

3. Разработан метод контроля герметичности вакуум-плотных корпусов РЭА с помощью измерения деформации крышки корпуса. Данный метод обладает достаточно высокой чувствительностью и позволяет определить давление защитного газа внутри корпуса.

4. Показано, что при изменении давления на 0.01 атм изменение деформации корпуса составляет от 10 до 12 мкм. Это позволяет выявлять разгерметизированные корпуса и прогнозировать дальнейшее изменение давления защитного газа внутри корпуса. Результаты теоретических расчетов хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными.

IMPROVING THE OPERATING CHARACTERISTICS OF ENGINES BY THE IMPOSITION OF MANUFACTURING OPERATION OF HERMETICITY INSPECTION OF VACUUM-TIGHT RADIO ELECTRONIC DEVICE CASES

©2009 D. M. Sviridyuk

Bauman Moscow State Technical University

The mathematical model of the shielding gas injection from the vacuum-tight Radio electronic device (RED) case through the soldered joint of the closure head has been developed. It allows to establish binding between the operating time and pressure of the shielding gas inside the vacuum-tight RED case. The inspection method of vacuum-tight

RED case hermeticity by means of determination closure head of the RED case deformation has been developed. This allows to reveal depressurized RED cases and to forecast further changing of the shielding gas pressure.

Hermeticity control, case, mathematical model, inspection method

Информация об авторе

Свиридюк Денис Михайлович, аспирант, заведующий лабораторией учебно-инженерного центра нанотехнологии нано-микросистемной техники Московского Государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва. Тел.: (499) 263-65-31. E-mail: 12345den@mail.ru. Область научных интересов: нанотехнологии, технологии приборостроения, надежность технических систем, космическая техника, двигателестроение.

Sviridyuk Denis Mikhailovich, postgraduate student, Laboratory-manager in the educational engineering center of Nanotechnology, Nano- and Microsystem technics of Bauman Moscow State Technical University. Phone: (499) 263-65-31. Email: 12345den@mail.ru. Area of research: nanotechnologies, technologies of instrument engineering, reliability of technical systems, space technics, propulsion engineering.