

УДК 658.382: 533.5

А.С.Корнилов (асп., каф. КГМ), А.Г.Семёнов, к.т.н., доц.

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕРМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ

Технологический цикл создания промышленной продукции предполагает испытания образцов в условиях, приближенных к эксплуатационным.

В частности, в космическом научно-производственном комплексе обеспечение высочайшей надежности космических аппаратов и приборов (особенно автоматических станций, роботов-планетоходов и т.п. безэкипажных устройств) требует проведения тщательной наземной отработки с имитацией космических условий (давление, температура и т.д.). Часть изделий имеет негерметичное исполнение и предназначена для эксплуатации в условиях высокого и сверхвысокого вакуума (до 10^{-12} Па). Наземная отработка таких изделий возможна лишь в термобарокамерах (ТБК). При этом обычно достаточно обеспечить вакуумирование рабочего объема ТБК до давления $p_k = 10^{-2} \dots 10^{-4}$ Па, практически исключая конвективную составляющую теплообмена и вероятность возникновения "коронных" разрядов в электрооборудовании объектов испытаний.

При невысокой степени негерметичности изделия его вакуумирование происходит не непосредственно средствами откачки (механическими, пароструйными, адсорбционными или иными насосами ТБК), а посредством создаваемого в рабочем объеме ТБК вакуума – как и в реальных условиях. Т.к. давление в ТБК значительно ниже натурального, процесс вакуумирования носит затяжной характер и без метрологического контроля давления p_n в полостях объекта испытаний приходится действовать "вслепую". А ведь структура полостей изделия зачастую сложна и не позволяет производить предварительный расчёт динамики перепадов давления. Ситуация усугубляется сублимацией и испарением ("гажением") внутри объекта. Особенно "коварно" "гажение", вызванное общим или локальным ростом температуры уже отвакуумированного объекта на рабочем этапе испытаний.

Учитывается и экономическая сторона проблемы. Стоимость космической программы напрямую зависит от продолжительности испытаний.

В результате, испытания проводят, ориентируясь на предыдущий опыт или на приближенные расчетные оценки. Необоснованное форсирование этапа вакуумирования, преждевременное включение внутреннего электрооборудования неизбежно влечет за собой повышенную вероятность "коронных" разрядов и непредсказуемых температурных воздействий в объекте на форвакууме. Отсюда – отдельные случаи аварийных ситуаций с экономическим ущербом и реальной угрозой жизни и здоровью обслуживающего персонала и космонавтов, экологии Земли и космического пространства.

Одним из возможных путей повышения безопасности, экономичности термовакuumных испытаний негерметичных изделий с электрооборудованием (в частности космических аппаратов и приборов), достоверности их результатов (а значит надежности научно-производственного оборудования и самих изделий) может стать предложенный комплекс технических средств и методик их использования.

Эти средства представляют собой дополнительные малогабаритные адсорбционные насосы, вставляемые непосредственно в отверстия корпусных деталей объекта испытаний. Они получили название "индивидуальные адсорбционные насосы" (ИАН) и защищены патентами Российской Федерации.

Перед подключением ИАНа к объекту адсорбент регенерируют.

На ранних стадиях откачки вакуумирование объекта происходит обычным путем - за счет перепада давлений остаточных газов в полости объекта и в рабочем объеме термобарокамеры (ТБК) $p_{и}-p_{к}$. При захолаживании криозкранов ИАН также охлаждается. При температуре адсорбента 200...180 К ИАН выходит на “рабочий” режим и начинает поглощать газы непосредственно из ближайшей полости объекта. При этом продолжается и косвенное вакуумирование объекта через все негерметичности. В результате, необходимое по условиям испытаний значение остаточного давления в полости объекта испытаний достигается быстрее.

Выход ИАНа на рабочий режим несколько преждевременен, при $p_{и}=1,0...0,1$ Па. Это сужает возможности, не позволяя достичь значений $p_{и} \leq 10^{-3}$ Па.

Рекомендуется более совершенная методика без внесения конструктивных изменений, также имеющая патентную защиту. Ее отличие: одновременно с охлаждением криозкранов включают нагреватель ИАНа, выдерживают температуру адсорбента выше “рабочей” и по достижении в ТБК высокого вакуума нагреватель отключают. За счет перепада $p_{и}-p_{к}$ адсорбент поглощает, главным образом, газы из полости изделия. В результате совместной работы основных средств откачки и ИАНа перепад уменьшается. В зависимости от конкретных параметров и условий возможно достижение равенства или обратного перепада давлений.

Как показала экспериментальная проверка эффективности ИАНов в ТБК объемом $0,25 \text{ м}^3$, даже при отсутствии криорубашки и электронагревателя ИАНЫ позволяют сократить продолжительность выхода на второй, третий и четвертый порядки вакуума (в Па) соответственно более чем на 47, 60 и 63%, дополнительно уменьшая остаточное давление в объекте испытаний в 50...100 раз. Выявлена целесообразность применения ИАНов для объектов с негерметичностью не более $0,05...0,1 \text{ м}^{-1}$.