

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПОЛНЕНИЯ ПОЛОСТЕЙ ПРИ ПНЕВМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

А. Р. Алиев

АО «Государственный космический научно-производственный центр имени М. В. Хруничева»,
Россия, 121309, г. Москва, ул. Новозаводская, 18

Рассмотрена схема и технология автоматизированного процесса наполнения полостей контрольным газом. Построено математическое описание функционирования системы наполнения, служащее основой для разработки методики проектирования и исследования рабочих характеристик.

Ключевые слова: испытания на герметичность, пневмовакуумные испытания, наполнение полости газом, автоматический режим наполнения, автоматизация технологического процесса.

Введение

Важным этапом при создании различных образцов техники является этап испытаний на герметичность. Особое внимание к результатам таких испытаний уделяется при экспериментальной отработке устройств и агрегатов ракетно-космической и авиационной техники. Существует множество классификаций методов контроля герметичности изделий, представленных в нормативных документах [1–4] и в научно-технической литературе [5–9]. В силу специфики изделий ракетно-космической отрасли наиболее актуальной для нее послужит классификация, представленная в [4], по которой методы контроля герметичности делятся на две большие группы: методы контроля суммарной негерметичности и методы поиска локальной негерметичности. Для изделий в сборе применяют вакуумный масс-спектрометрический метод контроля суммарной негерметичности, как наиболее надежный и высокочувствительный, о чем свидетельствуют и данные источников [3, 7, 10–12]. Для реализации данного метода контроля наиболее часто применяют способ — в вакуумной камере. Такой вид проведения испытаний изделий на герметичность называют пневмовакуумными испытаниями. Технологически их выполнение заключается в том, что образец, в котором заключена испытываемая полость, помещается в вакуумную камеру. Полость образца наполняется газом, как правило, гелием или гелиево-воздушной смесью. Степень негерметичности испытываемой полости определяется по величине утечки газа из полости в вакуумную камеру.

Простая, на первый взгляд, технология проведения испытаний имеет ряд особенностей. В процессе наполнения полости должна обеспечиваться определенная скорость изменения давления рабочего газа, значение температуры не должно превышать допустимый уровень, а время всего процесса наполнения должно быть по возможности наименьшим и не превышать заданного значения. Существующие в настоящее время технологии пневмовакуумных испытаний выполняются в ручном режиме. Необходимо при этом постоянно вести контроль и регулирование одновременно двух параметров процесса наполнения (давления и температуры) в ручном режиме, что де-

лает такую технологию малоэффективной. При этом трудно обеспечить заданную точность параметров процесса, время испытаний затягивается, не всегда возможно обеспечить требуемый сигнал управления с учётом реакции оператора. В связи с этим разработка автоматизированной системы управления процессом наполнения газом полостей при испытаниях на герметичность различных по назначению устройств и агрегатов является актуальной.

Формирование структуры автоматизированной системы наполнения

Функциональная схема системы автоматического наполнения полости при пневмовакуумных испытаниях представлена на рис. 1.

Работа системы наполнения полости осуществляется ступенчатым образом (с временными выдержками), обеспечивая требование по температурному режиму [13–19]. Причем каждая ступень включает два режима работы. Первый, когда по команде системы управления (СУ) открывается электропневмоклапан (ЭПК) и система регулирования давления, согласно команде СУ, выдает газ с требуемой величиной давления, а совместно с дросселем D_r требуемой величины расхода и скоростью нарастания давления в испытываемой полости. При достижении заданного предельного значения температуры в полости СУ отключает ЭПК. Наступает второй режим процесса наполнения, когда за счёт теплообмена между газом и стенками полости температура газа и давление уменьшаются. При достижении заданной разницы температур СУ вновь открывает ЭПК и воспроизводит следующую ступень процесса наполнения. При достижении в полости заданного конечного значения давления процесс наполнения заканчивается и осуществляется контроль параметров газа в вакуумной камере, которые и характеризуют негерметичность испытываемого объекта.

Математическое описание функционирования системы наполнения

Система, обеспечивающая автоматический режим наполнения рабочих полостей при пневмовакуумных испытаниях представляет собой совокупность

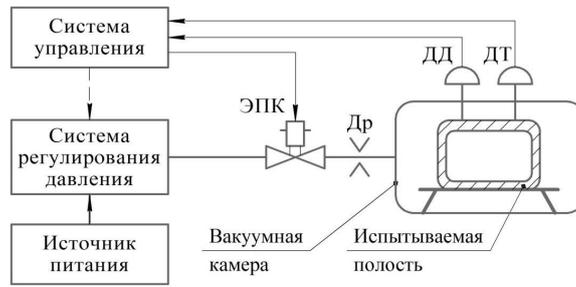


Рис. 1. Функциональная схема системы автоматического наполнения полости при пневмовакuumных испытаниях:
 Др — дроссель; ЭПК — электропневмоклапан;
 ДД — датчик давления; ДТ — датчик температуры
Fig. 1. Functional diagram of the automatic system for filling the chamber during pneumatic vacuum tests:
 Др — throttle; ЭПК — electro-pneumatic valve; ДД — pressure sensor; ДТ — temperature sensor

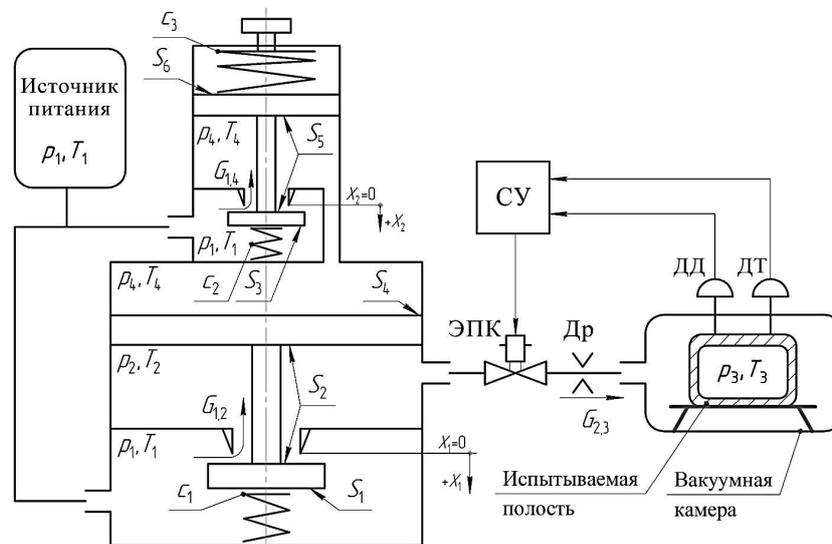


Рис. 2. Расчетная схема системы наполнения полости при пневмовакuumных испытаниях:
 СУ — система управления; ЭПК — электропневмоклапан; ДД — датчик давления;
 ДТ — датчик температуры; Др — дроссель
Fig. 2. Design diagram of the chamber filling system during pneumatic vacuum tests:
 СУ — control system; ЭПК — electro-pneumatic valve; ДД — pressure sensor; ДТ — temperature sensor; Др — throttle

различных элементов, где имеют место процессы различной физической природы: термодинамические, механические, тепловые, электромагнитные. Определение рациональных значений параметров системы наполнения, обеспечивающих наиболее эффективный режим ее работы, возможно лишь с использованием методов математического моделирования. Принципиальный подход к построению математической модели системы наполнения полости газом состоит в использовании фундаментальных законов физики для описания процессов в объекте исследования. Объект исследования рассматривается как совокупность взаимодействующих устройств, и для каждого устройства строится математическая модель.

Рассмотрим построение математической модели, устанавливающей связь между характеристиками наполнения и её конструктивными параметрами на

примере системы, расчетная схема которой представлена на рис. 2.

Данная схема, как один из возможных вариантов системы, позволяющей менять в широком диапазоне параметры газа, подаваемого в испытываемую полость, что позволяет использовать широкую номенклатуру испытываемых образцов техники. Система регулирования давления построена на основе комбинированной схемы однокаскадных регуляторов давления. Взаимосвязанная работа основного и управляющего регулятора, их размещение в одном корпусе, позволили получить компактную схему агрегатного регулятора давления, обеспечивающего заданную величину выходного давления [20].

Одним из наиболее ответственных моментов при построении математической модели исследуемой системы является формирование системы допущений в отношении протекающих в объекте процессов. Чем

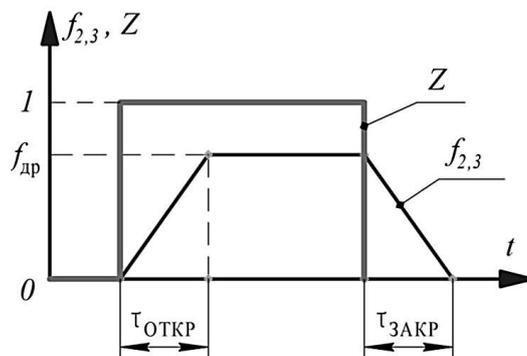


Рис. 3. Закон работы запорного элемента ЭПК:
 $\tau_{откр}, \tau_{закр}$ — время срабатывания ЭПК при открытии и закрытии;
 $f_{др}$ — величина проходного сечения дросселя Др;
 $f_{2,3}$ — площадь проходного сечения канала между выходной полостью основного регулятора давления и наполняемой полостью;
 Z — выходная величина системы управления

Fig. 3. The cyclogram of the Electropneumatic valve element operation:
 $\tau_{откр}, \tau_{закр}$ — EV actuation time when opening and closing the valve;
 $f_{др}$ — orifice size; $f_{2,3}$ — open area of the duct between the outlet chamber of the main pressure regulator and the filling chamber;
 Z — output value of the control system

строже система допущений, тем точнее воспроизводит модель свойства системы, но тем сложнее сама модель. Отыскание разумного компромисса между сложностью и точностью вырабатывается на основе опыта решения конкретных задач. При описании термодинамических процессов в полостях исследуемой системы принимаются следующие допущения:

— скорость газа в полости незначительна, его кинетическая энергия пренебрежимо мала по сравнению с внутренней энергией, параметры газа в полости равны параметрам торможения;

— давление, плотность и температура газа во всех точках полости одинаковы;

— параметры газа подчиняются уравнению состояния идеального газа, уравнению Клапейрона [21];

— теплообмен между газом и стенками полости учитывается только в объекте испытаний;

— течение газа через дроссельные элементы будем считать одномерным, для описания расхода используется уравнение Сен-Венана – Ванцеля [21].

Основу математического описания процессов в исследуемой системе составляют уравнения законов сохранения. В данном случае используем законы сохранения энергии и массы газа [21, 22]. Переменными, однозначно определяющими состояние газа в полости, являются давление p и плотность ρ . При известных значениях p и ρ температура газа находится из уравнения состояния. Система уравнений, отражающая термодинамические процессы в выходной полости подсистемы регулирования давления (основного регулятора давления), имеет вид:

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{k}{(W_2 - S_2 \cdot X_1)} \times \left[\begin{aligned} &\mu_{1,2} f_{1,2} K_0 p_1^{3/2} \rho_1^{-1/2} Y_{1,2} - \\ &-\mu_{2,3} f_{2,3} K_0 p_2^{3/2} \rho_2^{-1/2} Y_{2,3} - p_2 S_2 V_{\text{пл}} \end{aligned} \right], \quad (1)$$

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{1}{(W_2 - S_2 \cdot X_1)} \times \left[\begin{aligned} &\mu_{1,2} f_{1,2} K_0 p_1^{1/2} \rho_1^{1/2} Y_{1,2} - \\ &-\mu_{2,3} f_{2,3} K_0 p_2^{1/2} \rho_2^{1/2} Y_{2,3} - p_2 S_2 V_{\text{пл}} \end{aligned} \right], \quad (2)$$

$$f_{1,2} = \begin{cases} \pi \cdot d_{c1} \cdot X_1 & \text{при } 0 < X_1 < X_{KP1}, \\ 0 & \text{при } X_1 \leq 0, \\ \pi \cdot d_{c1} \cdot X_{KP1} & \text{при } X_1 \geq X_{KP1}, \end{cases}$$

$$Y_{1,2} = Y_{1,2} \left(\frac{p_2}{p_1} \right) =$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{k} \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \sqrt{\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}}} & \text{при } \frac{p_2}{p_1} > \delta_{kp}, \\ 1 & \text{при } \frac{p_2}{p_1} \leq \delta_{kp}, \end{cases}$$

$$K_0 = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}},$$

$$\delta_{kp} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3)$$

где k — показатель адиабаты; $f_{1,2}$ — площадь дросселирующего сечения клапанной пары основного регулятора давления; $f_{2,3}$ — площадь проходного сечения канала между выходной полостью основного регулятора давления и наполняемой полостью; W_2 — объем выходной полости основного редуктора при $X_1 = 0$; S_2 — площадь подвижных частей, на которую действует давление p_2 ; d_{c1} — диаметр седла основного регулятора давления; X_1 — перемещение подвижных частей основного регулятора давления; X_{KP1} — перемещение подвижных частей основного регулятора давления, при котором площадь дросселирующего сечения затвора равна площади кольцевого сечения между поверхностями штока и седла; $V_{\text{пл}}$ — скорость подвижных частей основного регулятора давления; $\mu_{1,2}, \mu_{2,3}$ — коэффициенты расхода.

Система уравнений, отражающая термодинамические процессы в управляющей полости подсистемы регулирования давления (управляющего регулятора давления), имеет вид:

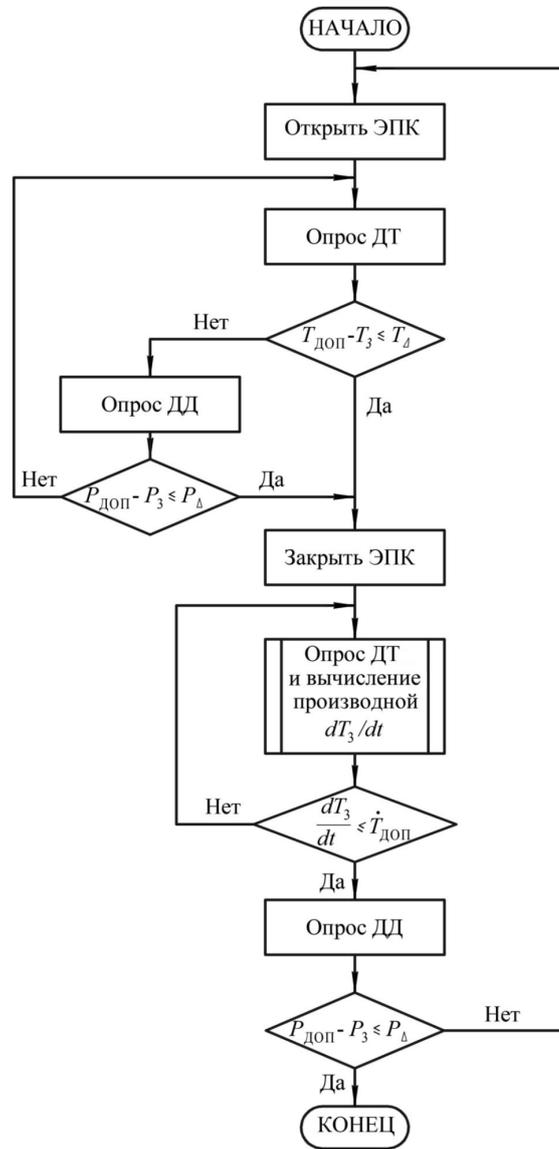


Рис. 4. Алгоритм функционирования системы управления
 Fig. 4. Operation algorithm of the control system

$$\frac{dp_4}{dt} = \frac{k}{(W_4 - S_5 X_2 + S_4 X_1)} \times [\mu_{1,4} f_{1,4} K_0 p_1^{3/2} \rho_1^{-1/2} Y_{1,4} + p_4 S_5 V_{\Pi 2} - p_4 S_4 V_{\Pi 1}], \quad (4)$$

$$\frac{dp_4}{dt} = \frac{1}{(W_4 - S_5 X_2 + S_4 X_1)} \times [\mu_{1,4} f_{1,4} K_0 p_1^{1/2} \rho_1^{1/2} Y_{1,4} + p_4 S_5 V_{\Pi 2} - p_4 S_4 V_{\Pi 1}], \quad (5)$$

$$f_{1,4} = \begin{cases} \pi \cdot d_{C2} \cdot X_2 & \text{при } 0 < X_2 < X_{KP2}, \\ 0 & \text{при } X_2 \leq 0, \\ \pi \cdot d_{C2} \cdot X_{KP2} & \text{при } X_2 \geq X_{KP2}, \end{cases}$$

$$Y_{1,4} = Y_{1,4} \left(\frac{p_4}{p_1} \right) =$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{k} \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \sqrt{\left(\frac{p_4}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_4}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}}} & \text{при } \frac{p_4}{p_1} > \delta_{кр}, \\ 1 & \text{при } \frac{p_4}{p_1} \leq \delta_{кр}, \end{cases}$$

где $f_{1,4}$ — площадь дросселирующего сечения клапанной пары управляющего регулятора давления; W_4 — суммарный объем выходной полости управляющего регулятора давления и управляющей полости основного регулятора давления; S_5 — площадь подвижных частей управляющего регулятора давления, на которую действует давление p_3 ; S_4 — площадь подвижных частей основного регулятора давления, на которую действует давление p_3 ; d_{C2} — диаметр седла управляющего регулятора давления; X_2 — перемещение подвижных частей управляющего регулятора давления; X_{KP2} — перемещение подвижных частей управляющего регулятора давления, при котором площадь дросселирующего сечения затвора равна площади кольцевого сечения между поверхностями штока и седла; $\mu_{1,4}$ — коэффициент расхода затвора; $V_{\Pi 2}$ — скорость подвижных частей управляющего регулятора давления.

Для полости объекта испытаний

$$\frac{dp_3}{dt} = \frac{1}{W_3} \times \left[\mu_{2,3} f_{2,3} K_0 p_2^{3/2} \rho_2^{-1/2} Y_{2,3} - \alpha_T F \cdot (k-1) \cdot \left(\frac{p_3}{R p_3} - T_{CT3} \right) \right], \quad (6)$$

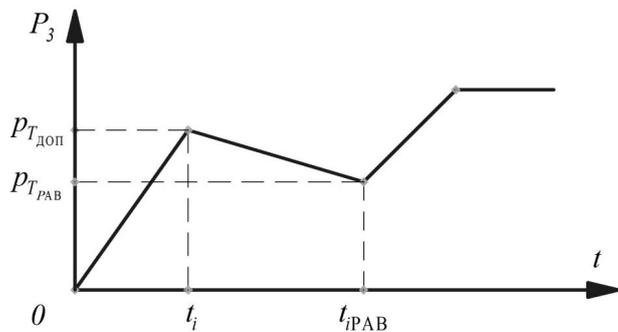


Рис. 5. График процесса наполнения полости объекта испытаний:

$p_{T_{доп}}$ — давление в полости, когда $T_3 = T_{доп}$, останов процесса наполнения;
 $p_{T_{РАВ}}$ — давление в полости, когда $T_3 = T_{РАВ}$, возобновление процесса наполнения

Fig. 5. The chamber filling process curve of the unit under test:

$p_{T_{доп}}$ — the chamber pressure, when $T_3 = T_{доп}$, the filling process stop;
 $p_{T_{РАВ}}$ — the chamber pressure, when $T_3 = T_{РАВ}$, resuming the filling process

$$\frac{dp_3}{dt} = \frac{1}{W_3} \cdot [\mu_{2,3} f_{2,3} K_0 p_2^{1/2} p_2^{1/2} Y_{2,3}], \quad (7)$$

$$\frac{dT_{CT3}}{dt} = \frac{1}{c_{CT3} \cdot m_{CT3}} \cdot \left(\alpha_T F \cdot \left(\frac{p_3}{R p_3} - T_{CT3} \right) \right), \quad (8)$$

где W_3 — объем полости объекта испытаний; α_T — коэффициент теплоотдачи; m_{CT3} — масса материала стенки полости объекта испытаний; c_{CT3} — удельная теплоемкость материала стенки полости объекта испытаний; F — площадь поверхности теплообмена.

Система уравнений, отражающая механические процессы движения подвижных частей основного регулятора давления, имеет вид:

$$\frac{dV_{П1}}{dt} = \frac{1}{m_{П1}} (-p_1 S_1 - p_2 S_2 + p_4 S_4 - F_{KЛ1} - c_{KЛ1} X_1 - F_{TP1}), \quad (9)$$

$$\frac{dX_1}{dt} = V_{П1}, \quad (10)$$

где $m_{П1}$ — масса подвижных частей основного регулятора давления; S_1 — площадь подвижных частей основного регулятора давления, на которую действует давление p_1 ; $F_{KЛ1}$ — сила предварительного поджатия клапанной пружины основного регулятора давления; $c_{KЛ1}$ — жесткость клапанной пружины основного регулятора давления; F_{TP1} — сила трения, включающая составляющие вязкого и сухого трения.

$$F_{TP1} = h_1 V_{П1} + F_{CT1}, \quad (11)$$

где h_1 — коэффициент «вязкого» трения; F_{CT1} — сила «сухого» трения.

Если $V_{П1} \neq 0$, то $F_{CT1} = F_{CT1} \cdot \text{sign} V_{П1}$, где F_{CT1} — модуль силы сухого трения основного регулятора давления.

Если $V_{П1} = 0$ и $|-p_1 S_1 - p_2 S_2 + p_4 S_4 - F_{KЛ1} - c_{KЛ1} X_1| < F_{CT1}$, то

$$F_{CT1} = -p_1 S_1 - p_2 S_2 + p_4 S_4 - F_{KЛ1} - c_{KЛ1} X_1.$$

Если $V_{П1} = 0$ и $|-p_1 S_1 - p_2 S_2 + p_4 S_4 - F_{KЛ1} - c_{KЛ1} X_1| < F_{CT1}$, то

$$F_{CT1} = F_{CT1} \cdot \text{sign} [-p_1 S_1 - p_2 S_2 + p_4 S_4 - F_{KЛ1} - c_{KЛ1} X_1].$$

Система уравнений, описывающая движение подвижных частей управляющего регулятора давления, имеет вид:

$$\frac{dV_{П2}}{dt} = \frac{1}{m_{П2}} (-p_1 S_7 - p_4 S_5 - F_{KЛ2} - c_{KЛ2} X_2 - F_{TP2}), \quad (12)$$

$$\frac{dX_2}{dt} = V_{П2}, \quad (13)$$

где $m_{П2}$ — масса подвижных частей управляющего регулятора давления; S_7 — площадь подвижных частей управляющего регулятора давления, на которую действует давление p_1 ; $F_{KЛ2}$ — сила предварительного поджатия эквивалентной пружины управляющего регулятора давления; $c_{KЛ2}$ — жесткость эквивалентной пружины управляющего регулятора давления; F_{TP2} — сила трения, включающая составляющие вязкого и сухого трения.

$$F_{TP2} = h_2 V_{П2} + F_{CT2}, \quad (14)$$

где h_2 — коэффициент «вязкого» трения; F_{CT2} — сила «сухого» трения.

Если $V_{П2} \neq 0$, то $F_{CT2} = F_{CT2} \cdot \text{sign} V_{П2}$, где F_{CT2} — модуль силы сухого трения управляющего регулятора давления.

Если $V_{П2} = 0$ и $|-p_1 S_7 - p_4 S_5 - F_{KЛ2} - c_{KЛ2} X_2| < F_{CT2}$, то

$$F_{CT2} = -p_1 S_7 - p_4 S_5 - F_{KЛ2} - c_{KЛ2} X_2.$$

Если $V_{П2} = 0$ и $|-p_1 S_7 - p_4 S_5 - F_{KЛ2} - c_{KЛ2} X_2| < F_{CT2}$, то

$$F_{CT2} = F_{CT2} \cdot \text{sign} [-p_1 S_7 - p_4 S_5 - F_{KЛ2} - c_{KЛ2} X_2].$$

Математическая модель электропневмоклапана строится на основе основных зависимостей электромеханики и достаточно сложна. Поэтому будем учитывать эффект запаздывания в срабатывании ЭПК, принимая закон работы его запорного органа в виде, приведенном на рис. 3. Работа такого элемента системы описывается зависимостью:

$$f_{2,3} = \begin{cases} k_1(t - t_0) & \text{если } (t - t_0) < \tau_{ОТК} \text{ и } Z = 1, \\ f_{AP} & \text{если } (t - t_0) > \tau_{ОТК} \text{ и } Z = 1, \\ f_{AP} - k_1(t - t_0) & \text{если } (t - t_0) > \tau_{ЗАКР} \text{ и } Z = 0, \\ 0 & \text{если } (t - t_0) < \tau_{ЗАКР} \text{ и } Z = 0, \end{cases} \quad (15)$$

где t_0 — время начала переключения ЭПК; k_1 — коэффициент пропорциональности; $\tau_{\text{ОТКР}}$, $\tau_{\text{ЗАКР}}$ — время срабатывания ЭПК при открытии и закрытии; $f_{\text{ДР}}$ — величина проходного сечения дросселя Др; $f_{2,3}$ — площадь проходного сечения канала между выходной полостью основного регулятора давления и наполняемой полостью; Z — выходная величина системы управления.

Алгоритм функционирования системы управления

Важнейшим звеном в работе системы наполнения газом испытываемой полости является система управления. Алгоритм, отражающий функционирование системы управления, приведен на рис. 4, на котором обозначено: $P_{\text{ДОП}}$, $T_{\text{ДОП}}$ — максимально допустимые величины давления и температуры газа в полости, а $T_{\text{ДОП}}$ — скорость охлаждения газа в полости, при которой интенсивность теплообмена между газом и стенкой полости мала и процесс теплообмена можно считать оконченным, P_{Δ} — допускаемая разность значений допускаемого и фактического давления газа в полости; T_{Δ} — допускаемая разность значений допускаемой и фактической температуры газа в полости; T_3 — текущее значение температуры контрольного газа в наполняемой полости.

Реализация алгоритма обеспечивает выполнение в автоматическом режиме требуемой технологии процесса наполнения испытываемой полости в процессе пневмовакуумных испытаний устройств и агрегатов на герметичность (рис. 5).

Заключение

Применение предложенного варианта построения системы наполнения позволит автоматизировать технологический процесс наполнения полостей изделий при проведении пневмовакуумных испытаний, обеспечит повышение точности регулирования параметров процесса испытаний, ускорение процесса наполнения за счет исключения простоев и минимизации человеческого фактора. Предложенное математическое описание отдельных элементов системы наполнения и протекающих в них процессов является основой для разработки методики проектирования и исследования ее рабочих характеристик.

Список источников

1. ГОСТ Р 56542-2015. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. Введ. 2016–06–01. Москва: Стандартинформ, 2015. 11 с.
2. ОСТ 5Р.0170-81 Контроль неразрушающий. Металлические конструкции. Газовые и жидкостные методы контроля герметичности. Введ. 1981–04–27. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. 86 с.
3. ГОСТ 24054-80 Изделия машиностроения и приборостроения. Методы испытаний на герметичность. Общие требования. Введ. 1987–01–01. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. 18 с.
4. ОСТ 92-4316-90 Изделия отрасли. Порядок выбора методов контроля герметичности. Утв. и введ. в действие приказом ГТУ Мин-ва от 02.01.1991 г. № 2. 1992. 56 с.
5. Евлампиев А. И., Попов Е. Д., Сажин С. Г. [и др.] Неразрушающий контроль: справ. В 7 т. Т. 2: в 2 кн. Кн. 1. Контроль

герметичности / под общ. ред. В. В. Клюева. Москва: Машиностроение, 2003. 688 с.

6. Жежера Н. И. Автоматизация испытаний на герметичность. Оренбург: Изд-во ГОУ ОГУ, 2005. 475 с.
7. Джур Е. А., Вдовин С. И., Кучма Л. Д. [и др.] Технология производства космических ракет. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. 184 с.
8. Запунный А. И., Фельдман Л. С., Рогаль В. Ф. Контроль герметичности. Киев: Изд-во Техника, 1976. 152 с.
9. Технология технического контроля в машиностроении. Справочник проектировщика / под общ. ред. В. Н. Чупырина. Москва: Изд-во стандартов, 1990. 400 с.
10. Кишкин А. А., Колчанов И. П., Делков А. В., Ходенков А. А. К вопросу повышения чувствительности локальных методов контроля герметичности для изделий ракетно-космической техники // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. 2014. № 1 (53). С. 127–133.
11. Грабин Б. В., Давыдов О. И., Жихарев В. И. [и др.] Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов / под ред. В. П. Мишина, В. К. Карраска. Москва: Машиностроение, 1991. 416 с.
12. Беляков И. Т., Зернов И. А., Антонов Е. Г. [и др.] Технология сборки и испытаний космических аппаратов / под общ. ред. И. Т. Белякова, И. А. Зернова. Москва: Машиностроение, 1990. 352 с.
13. Пат. 2194260 Российская Федерация, МПК G 01 М 3/02. Способ испытаний изделий на герметичность / Зяблов В. А., Напитухин Л. Е., Щербаков Э. В. № 2001101684/28; заявл. 17.01.01; опубл. 10.12.02, Бюл. № 348.
14. А. с. 1772639 СССР, МПК G 01 М 3/00. Способ контроля герметичности изделий, работающих под давлением / Горгидзе А. Д., Липняк Л. В., Ольшанский В. А., Щербаков Э. В. № 2239897/28; заявл. 30.06.78; опубл. 30.10.92, Бюл. № 40.
15. А. с. 1840701, МПК G 01 М 3/02. Способ контроля герметичности изделий / Горгидзе А. Д., Липняк Л. В., Ольшанский В. А., Щербаков Э. В. № 2249059/28; заявл. 28.12.78; опубл. 10.12.08, Бюл. № 34.
16. Пат. 2712762 Российская Федерация, МПК G 01 М 3/02. Способ измерения степени суммарной герметичности многоступенчатого изделия / Зяблов В. А., Оксов И. А., Тройников В. И., Щербаков Э. В. № 2019107982; заявл. 20.03.19; опубл. 31.01.20, Бюл. № 4.
17. Аникейчик Н. Д., Антропов О. А., Баранов Л. Т. [и др.] Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры. В 3 т. Т. 1. Объекты космической инфраструктуры: моногр. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 400 с. ISBN 5-94157-568-8.
18. Wu X., Liu J., Shao J., Deng G. Fast filling strategy of type III on-board hydrogen tank based on time-delayed method // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. Vol. 46, Issue. 57. P. 29288–29296. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.01.094.
19. Dicken C. J. V., Merida W. Modeling the Transient Temperature Distribution Within a Hydrogen Cylinder During Refueling // Numerical Heat Transfer. 2008. Part A, Vol. 53. P. 1–24. DOI: 10.1080/10407780701634383.
20. Арзуманов Ю. А., Петров Р. А., Халатов Е. М. Системы газоснабжения и устройства пневмоавтоматики ракетно-космических комплексов: моногр. Москва: Машиностроение, 1997. 464 с.
21. Алиев А. Р., Тимофеев Ю. М., Халатов Е. М. Методика упрощенного расчета параметров процесса наполнения полостей изделий ракетно-космической техники при пневмовакуумных испытаниях // Контроль. Диагностика. 2018. № 6. С. 28–33. DOI: 10.14489/td.2018.06.pp.028-033.

22. Арзуманов Ю. Л., Халатов Е. М., Чекмазов В. И. Основы проектирования систем регулирования параметров газа в комплексах газоавтоматики: моногр. Москва: Издат. дом Спектр, 2013. 264 с.

АЛИЕВ Андрей Рафаилович, инженер-конструктор
1-й категории конструкторского бюро «Арматура».
SPIN-код: 3872-7088
AuthorID (РИНЦ): 814613
Адрес для переписки: And_88_99@mail.ru

Для цитирования

Алиев А. Р. Автоматизация технологического процесса наполнения полостей при пневмовакуумных испытаниях // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2021. Т. 5, № 4. С. 24–32. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-4-24-32.

Статья поступила в редакцию 21.10.2021 г.
© А. Р. Алиев

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF FILLING CHAMBERS DURING PNEUMATIC VACUUM TESTS

A. R. Aliev

Khrunichev State Research and Production Space Center, JSC,
Russia, 121309, Moscow, Novozavodskaya St., 18

The scheme and technology of the automated process of filling chambers with control gas are considered. Mathematical description of the functioning of filling system served as a basis for the development of design and analysis procedure of performance characteristics is constructed.

Keywords: tightness test, pneumatic vacuum tests, filling the chamber with gas, automatic filling mode, automation of the technological process.

References

1. GOST R 56542-2015. Kontrol' nerazrushayushchiy. Klassifikatsiya vidov i metodov [Non-destructive testing. Classification of types and methods]. Moscow. 2015. 11 p. (In Russ.).
2. OST 5P.0170-81 Kontrol' nerazrushayushchiy. Metalicheskiye konstruksii. Gazovyye i zhidkostnyye metody kontrolya germetichnosti [Non-destructive testing. Metal structures. Gas and fluid methods of leakage test]. Moscow. 1981. 86 p. (In Russ.).
3. GOST 24054-80 Izdeliya mashinostroyeniya i priborostroyeniya. Metody ispytaniy na germetichnost'. Obshchiye trebovaniya [Engineering and instrument production items. Leak detection methods. General requirements]. Moscow. 1980. 18 s. (In Russ.).
4. OST 92-4316-90 Izdeliya otrasli. Poryadok vybora metodov kontrolya germetichnosti [Branch products. Leakage test methods selection procedure]. 1992. 56 p. (In Russ.).
5. Yevlampiyev A. I., Popov E. D., Sazhin S. G. [et al.] Nerazrushayushchiy kontrol': sprav. V 7 t. T. 2: v 2 kn. Kn. 1. Kontrol' germetichnosti [Non-destructive testing: handbook. In 7 vols. Vol. 2: in 2 bks. Bk. 1. Leakage test] / Ed. V. V. Klyuyev. Moscow, 2003. 688 p. (In Russ.).
6. Zhezhera N. I. Avtomatizatsiya ispytaniy na germetichnost' [Automation of leakage tests]. Orenburg, 2005. 475 p. (In Russ.).
7. Dzhur E. A., Vdovin S. I., Kuchma L. D. [et al.]. Tekhnologiya proizvodstva kosmicheskikh raket [Space rockets production technology]. Dnipropetrovsk, 1992. 184 p. (In Russ.).
8. Zapunnyy A. I., Feldman L. S., Rogal V. F. Kontrol' germetichnosti [Leakage test]. Kiev, 1976. 152 s. (In Russ.).
9. Chupyrina V. N. Tekhnologiya tekhnicheskogo kontrolya v mashinostroyenii. Spravochnik proyektirovshchika [Technical control practices in mechanical engineering. Designer Handbook]. Moscow, 1990. 400 p. (In Russ.).
10. Kishkin A. A., Kolchanov I. P., Delkov A. V., Khodenkov A. A. K voprosu povysheniya chuvstvitel'nosti lokal'nykh metodov kontrolya germetichnosti dlya izdeliy raketno-kosmicheskoy tekhniki [The problem of increasing the sensitivity of local control methods for tightness products of rocket and space technology] // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M. F. Reshetneva. Vestnik Sibirskogo Gosudarstvennogo Aerokosmicheskogo Universiteta Imeni Akademika M. F. Reshetneva. 2014. No. 1 (53). P. 127–133. (In Russ.).
11. Grabin B. V., Davydov O. I., Zhikharev V. I. [et al.]. Osnovy konstruirovaniya raket-nositel'ey kosmicheskikh apparatov [Design principles of launch vehicles for spacecraft] / Eds.: V. P. Mishin, V. K. Karrask. Moscow, 1991. 416 p. (In Russ.).
12. Belyakov I. T., Zernov I. A., Antonov E. G. Tekhnologiya sborki i ispytaniy kosmicheskikh apparatov [Assembly technique and test procedure of spacecrafts] / Eds.: I. T. Belyakov, I. A. Zernov. Moscow, 1990. 352 p. (In Russ.).
13. Patent 2194260 Russian Federation, IPC G 01 M 3/02. Sposob ispytaniy izdeliy na germetichnost' [Method of testing articles for tightness] / Zyblov V. A., Napitukhin L. E., Shcherbakov E. V. No. 2001101684/28. (In Russ.).
14. Patent 1772639 SSSR, IPC G 01 M 3/00. Sposob kontrolya germetichnosti izdeliy, rabotayushchikh pod davleniyem [Method of fluid-tightness testing of articles operating under pressure] / Gorgidze A. D., Lipnyak L. V., Ol'shanskii V. A., Shcherbakov E. V. No. 2239897/28. (In Russ.).
15. Patent 1840701, IPC G 01 M 3/02. Sposob kontrolya germetichnosti izdeliy [Method of article tightness control] / Gorgidze A. D., Lipnyak L. V., Ol'shanskii V. A., Shcherbakov E. V. No. 2249059/28. (In Russ.).
16. Pat. 2712762 Russian Federation, IPC G 01 M 3/02. Sposob izmereniya stepeni summarnoy germetichnosti mnogopolostnogo izdeliya [Method of measuring degree of total tightness of multicenter pieces] / Zyblov V. A., Oksov I. A., Troynikov V. I., Shcherbakov E. V. No. 2019107982. (In Russ.).
17. Anikeychik N. D., Antropov O. A., Baranov L. T. [et al.]. Teoriya i praktika ekspluatatsii ob'yektov kosmicheskoy infrastruktury. V 3 t. T. 1. Ob'yekty kosmicheskoy infrastruktury [Theory and practice of operating space infrastructure objects. In 3 vols. Vol. 1. Objects of space infrastructure]. St. Petersburg, 2006. 400 p. ISBN 5-94157-568-8. (In Russ.).
18. Wu X., Liu J., Shao J. [et al.]. Fast filling strategy of type III on-board hydrogen tank based on time-delayed method // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. Vol. 46. Issue. 57. P. 29288–29296. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.01.094. (In Engl.).
19. Dicken C. J. B., Merida W. Modeling the Transient Temperature Distribution Within a Hydrogen Cylinder During Refueling // Numerical Heat Transfer. 2008. Part A, Vol. 53. P. 1–24. DOI: 10.1080/10407780701634383. (In Engl.).
20. Arzumanov Yu. L., Petrov R. A., Khalatov E. M. Sistemy gazosnabzheniya i ustroystva pnevmoavtomatiki raketno-kosmicheskikh kompleksov [Gas supply systems and pneumatic automation equipment of rocket and space complexes]. Moscow, 1997. 464 p. (In Russ.).
21. Aliev A.R., Timofeyev Yu. M., Khalatov E. M. Metodika uproschennogo rascheta parametrov protsessa napolneniya polostey izdeliy raketno-kosmicheskoy tekhniki pri pnevmovakuumnykh ispytaniyakh [Simplified analysis procedure of parameters for filling the chambers of rocket and space engineering products during pneumovacuum tests] // Kontrol'. Diagnostika.

Control. Diagnostics. 2018. No. 6. P. 28–33. DOI: 10.14489/td.2018.06.pp.028-033. (In Russ.).

22. Arzumanov Yu. L., Khalatov E. M., Chekmazov V. I. Osnovy proektirovaniya sistem regulirovaniya parametrov gaza v kompleksakh gazoavtomatiki [Design basis of gas parameters control systems in gas automatic complexes]. Moscow, 2013. 264 p. (In Russ.).

ALIEV Andrey Rafailovich, Design Engineer 1st Categories of Armatura Design Bureau.
SPIN-code: 3872-7088

AuthorID (RSCI): 814613

Correspondence address: And_88_99@mail.ru

For citations

Aliev A. R. Automation of technological process of filling chambers during pneumatic vacuum tests // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2021. Vol. 5, no. 4. P. 24 – 32. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-4-24-32.

Received October 21, 2021.

© A. R. Aliev