

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 632:629.73

Н. И. ТЮКОВ, И. А. МЕДВЕДЕВ, А. А. ОЛЬХОВ, А. И. ДАУТОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЯ
МЯГКИХ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В статье рассмотрены варианты испытания мягких топливных баков на герметичность при погружении их в воду и истечение воздуха в атмосферу. Дан анализ параметров, влияющих на проникновение топлива в микропоры. *Испытание ; мягкие баки ; герметичность ; истечение ; поверхностное натяжение ; капиллярность ; щель*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений научно-технического прогресса является создание и внедрение в производство новых технологических процессов и более современных машин и оборудования.

Полые изделия имеют широкое применение в различных отраслях народного хозяйства: машиностроении, авиации, химической, нефтегазовой, пищевой. К полым изделиям относятся и мягкие баки авиационной техники, предназначенные для хранения топлива и масел.

Полые изделия в процессе производства подвергаются испытаниям на герметичность. Эти испытания сопровождаются тяжелыми условиями труда и недостаточной точностью контроля герметичности. Требования к изделиям по точности контроля герметичности возрастают и для многих типов изделий нормируются государственными стандартами или отраслевыми нормами.

Испытание на герметичность изделий является одной из проблем науки и техники. В условиях производства почти полностью отсутствуют апробированные установки и устройства автоматизированных испытаний на герметичность изделий серийного изготовления. Фактически, каждое предприятие такие установки проектирует и изготавливает самостоятельно.

В научно-технической литературе отсутствуют результаты теоретических и экспериментальных исследований по проектированию устройств и систем для испытания на герметичность изделий авиационной техники.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ИСТЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА
ЧЕРЕЗ МИКРОЩЕЛИ

Испытание на герметичность производится воздухом, подаваемым внутрь бака, а сам бак помещается в воду. По выделению пузырьков воздуха или их отсутствию определяется герметичность бака.

При погружении изделий в жидкость возникает поверхностное натяжение, которое представляет собой меру нескомпенсированности межмолекулярных сил в поверхностном (межфазном) слое [1].

Поверхностное натяжение жидкости способствует созданию дополнительного давления, величина которого определяется по уравнению Лапласа [2]

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{R_{\text{щ}}}, \quad (1)$$

где ΔP – дополнительное давление жидкости, Па; σ – поверхностное натяжение на границе двух сред, н/м; $R_{\text{щ}}$ – радиус кривизны поверхности, м.

Размеры, форма щелей в изделии могут быть самыми разнообразными, поэтому условно принимаем их круглыми диаметром $d_{\text{щ}}$. Тогда радиус кривизны поверхности

$$R_{\text{щ}} = \frac{d_{\text{щ}}}{2}. \quad (2)$$

Тогда формула (1) примет вид

$$\Delta P = \frac{4\sigma}{d_{\text{щ}}}. \quad (3)$$

Испытание топливных баков, в соответствии с отраслевой инструкцией, производится избыточным давлением воздуха 0,025 МПа с погружением в резервуар с водой. При отсутствии

выделения пузырьков воздуха бак считается выдержавшим испытание.

$\Delta P \cdot 10^3 \text{ Па}$

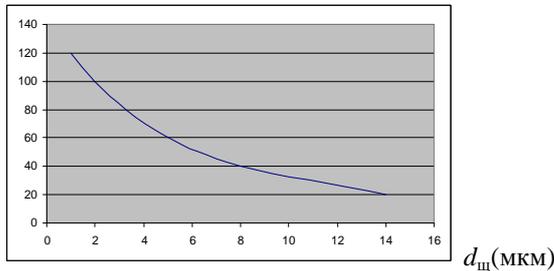


Рис. 1. Изменение избыточного давления в микрощелях за счет поверхностного натяжения воды

Из рис. 1 и формулы (3) можно сделать вывод, что при избыточном давлении воздуха 0,025 МПа щели с условным диаметром 11,6 мкм не будут пропускать воздух из-за равенства давлений, создаваемых в щели воздухом и силами поверхностного натяжения.

Рассмотрим истечение воздуха через щели в атмосферу. На рис. 2 приведена схема истечения воздуха через щель изделия. В сечении 1–1, которое находится внутри изделия, воздух имеет параметры: давление P_1 , плотность ρ_1 , и температуру T_1 . Скорость воздуха внутри изделия v_1 принимаем равной нулю, так как геометрические размеры бака во много раз больше размеров щелей.

На выходе воздуха из щели в сечении 2–2: скорость воздуха v_2 ; давление P_2 ; плотность ρ_2 , температура T_2 . Считается, что температура по длине щели не изменяется, т. е. процесс истечения адиабатный [3]. Тогда уравнение Бернулли для воздуха примет вид:

$$\frac{k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{k}{k-1} \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}, \quad (4)$$

где k – показатель адиабаты, для воздуха $k=1,4$ [3].

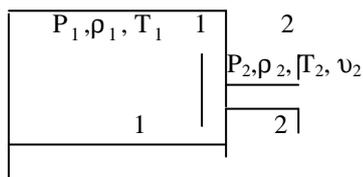


Рис. 2. Схема истечения воздуха в атмосферу через щель бака

Решив уравнение (4) относительно v_2 , получим

$$v_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}. \quad (5)$$

Для адиабатного истечения воздуха через щель

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}}. \quad (6)$$

Получим

$$v_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}. \quad (7)$$

При установившемся течении газа его объемный расход может определяться параметрами в любом сечении. Тогда объемный расход воздуха через щель [4].

$$G_v = \frac{\Pi}{4} d_{щ}^2 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}, \quad (8)$$

где G_v – объемный расход воздуха через щель $\text{мм}^3/\text{с}$; P_1 и P_2 – давление воздуха до и после щели, Па; ρ_1 – плотность воздуха, протекающего через щель, $\text{кг}/\text{м}^3$.

По формуле (8) определяется объемный расход воздуха через сопло, которое имеет закругления на входе. В щелях закругления отсутствуют, поэтому вводится коэффициент расхода Ψ .

Тогда формула (8) примет вид:

$$G_v = \Psi \frac{\Pi}{4} d_{щ}^2 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}, \quad (9)$$

где Ψ – коэффициент расхода воздуха через щель ($\Psi = 0,7$) [4].

$G(\text{мм}^3/\text{с})$

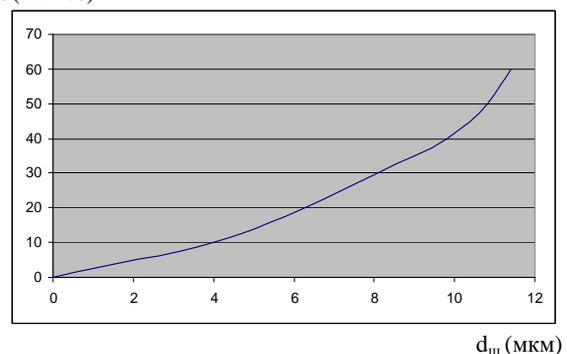


Рис. 3. Расход воздуха через щели в атмосферу (для диаметров 1...12 мкм)

На рис. 3 приведены результаты расчетов по формуле (10) расхода сжатого воздуха через щели в атмосферу. Для щели $d_{щ}=11,6$ мкм расход составит $67,8$ мм³/с.

По формуле (9) можно определить расход воздуха через щель для различных соотношений p_2/p_1 . В зависимости от способа обнаружения истечения воздуха можно обнаружить щели диаметром от 1 до 2 мкм, что недоступно при испытании баков погружением в воду.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОНИКНОВЕНИЯ ТОПЛИВА В МИКРОПОРЫ

Одной из стадий изготовления мягких топливных баков является испытание их на герметичность и набухание внутреннего слоя резины. Испытание проводится топливом. При наличии несквозных пор топливо проникает в них. В этом случае стенки баков можно отнести к капиллярно-пористым телам, а топливо к жидкостям. При наличии градиента влагосодержания в капиллярно-пористом теле влага перемещается от места с большей влажностью к местам с меньшей влажностью. Плотность потока, проходящего через единицу площади поверхности, перпендикулярной направлению перемещения, в единицу времени, пропорциональна градиенту влагосодержания капиллярно-пористого тела:

$$G_{ж} = -D\rho_0 \left(\frac{du}{dn} \right), \quad (10)$$

где $G_{ж}$ – плотность потока жидкости, кг/(м²с); D – коэффициент пропорциональности (коэффициент диффузии), (м²/с); ρ_0 – плотность абсолютно сухого материала, кг/м³, $\frac{du}{dn}$ – градиент влагосодержания, м⁻¹.

При испытании топливных баков возникает разность давления по высоте бака. Давление в любой точке определяется по закону Паскаля:

$$P = P_0 + \rho gh \quad (11)$$

где P – давление в данной точке, Па, P_0 – давление на свободной поверхности жидкости, Па, ρ – плотность жидкости, кг/м³, h – расстояние от свободной поверхности до рассматриваемой точки, м.

Диффузия, возникающая от неоднородности давления, называется бародиффузией.

Плотность потока массы, учитывающая бародиффузию

$$G_p = -D\rho_0 \frac{1}{P} \left(\frac{dP}{dn} \right), \quad (12)$$

где P – местное абсолютное давление, Па, $\frac{dP}{dn}$ – градиент абсолютного давления, Па/м.

При повышении температуры процесс диффузии жидкости в капиллярно-пористые тела интенсифицируется из-за раскрытия пор и увеличения подвижности молекул жидкости.

Плотность потока влаги, обусловленного температурным градиентом:

$$G_T = -D\rho_0 \delta \left(\frac{dT}{dn} \right), \quad (13)$$

где δ – коэффициент термовлагопроводности, 1/К, $\frac{dT}{dn}$ – градиент температуры, К/м.

Общий поток жидкости равен сумме всех потоков

$$G = G_{ж} + G_p + G_T = -D\rho_0 \left(\frac{du}{dn} \right) - D\rho_0 \frac{1}{P} \left(\frac{dP}{dn} \right) - D\rho_0 \delta \left(\frac{dT}{dn} \right). \quad (14)$$

Данное дифференциальное уравнение описывает перенос массы вещества. Решение уравнения при условии постоянства массообменных характеристик дает возможность теоретически рассчитать поле влагосодержания стенок топливных баков.

ВЫВОДЫ

Установлен характер взаимодействия между мягкими топливными баками как капиллярно-пористыми телами и авиационным топливом. В статье выявлено, что плотность потока зависит от температуры топлива, давления и градиента влагосодержания и с увеличением этих параметров процесс диффузии топлива интенсифицируется.

При испытании баков на герметичность избыточным давлением 0,025 МПа с погружением в воду щели с условным диаметром менее 11,6 мкм не обнаруживаются из-за поверхностного натяжения воды. При испытании с истечением в атмосферу можно обнаружить щели с условным диаметром 1...2 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чертов, А. Г. Физические величины / А. Г. Чертов. М. : Высшая школа. 1990. 469 с.
2. Жежера, Н. И. Основы автоматизации испытаний изделий на герметичность / Н. И. Жежера, Н. И. Тюков. Кумертау, 2003. 328с.

3. **Егорушкин, В. У.** Основы гидравлики и теплотехники / В. У. Егорушкин, Б. И. Цепхович. М. : Машиностроение, 1981. 264 с.

4. **Луканин, В. Н.** Теплотехника / В. Н. Луканин. М. : Высшая школа, 2000. 671 с.

ОБ АВТОРАХ

Тюков Николай Иванович, проф., зав. кафедрой промышленной автоматизации Кумертауск. филиала УГАТУ. Дипл. инженер по механизации и автоматизации технологич. процессов (Оренбургск. с.-х. ин-т, 1963). Д-р техн. наук по автоматич. упр-ю и регулир-ю (ин-т им. Потона, Киев, 1984). Иссл. в обл. мет. основ проектир-я автоматизир. технологич. процессов и изготовления изделий вертолета из полимеров.



Медведев Иван Александрович, ст. преп. Кумертауск. филиала УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1974). Иссл. в обл. производства изделий авиац. техники из неметаллов.



Ольхов Александр Анатольевич, зам. гл. инженера КумАПП. Дипл. инженер по пром. электронике (УАИ, 1988). Иссл. в обл. пр-ва изделий из неметаллов.



Даутов Анвар Ибрагимович, дир. Кумертауск. филиала УГАТУ, зав кафедрой естественнауч. и общетехн. дисциплин». Дипл. инженер электр. техники по электр. приборам (Электротехн. ин-т нефти, 1972). Канд. техн. наук по теор. основам теплотехники (Казанск. хим.-технол. институт, 1977). Иссл. в обл. теплотехники, теплофизики.

