

рассматриваемого типа соединения характеризуется равномерно-убывающими суммами рангов (за исключением параметров X_4 и X_7). Это свидетельствует о том, что нельзя уверенно сделать вывод о преимуществе одних факторов над другими (по крайней мере, рядом стоящими).

Полученные данные качественно характеризуют изучаемый объект. Они использовались при подготовке физического эксперимента, куда были включены параметры X_7 , X_4 , X_6 , X_9 , X_5 , имеющие наибольшие суммы рангов (рис.2). При этом учитывались результаты ранжирования в группах с высокими N и β , например, в группах 2.6.7

Таким образом, результаты оценки влияния параметров на герметичность разъемного соединения трубопроводов, полученные с помощью априорного ранжирования, не противоречат имеющимся теоретическим представлениям об изучаемом соединении. При данном методе обосновано включение в эксперимент значимых параметров, а в случае слабой изученности объекта практически только этим методом можно определить объем параметров для включения в эксперимент.

Л и т е р а т у р а

1. И а л и м о в В.В., Ч е р н о в а Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., "Наука", 1965.
2. А д л е р Ю.П. Введение в планирование эксперимента. М., "Металлургия", 1969.
3. Б о л ь ш е в Л.Н., С м и р н о в Н.В. Таблицы математической статистики. М., "Наука", 1965.

УДК 629.7:621.6.073.5 - 182.8

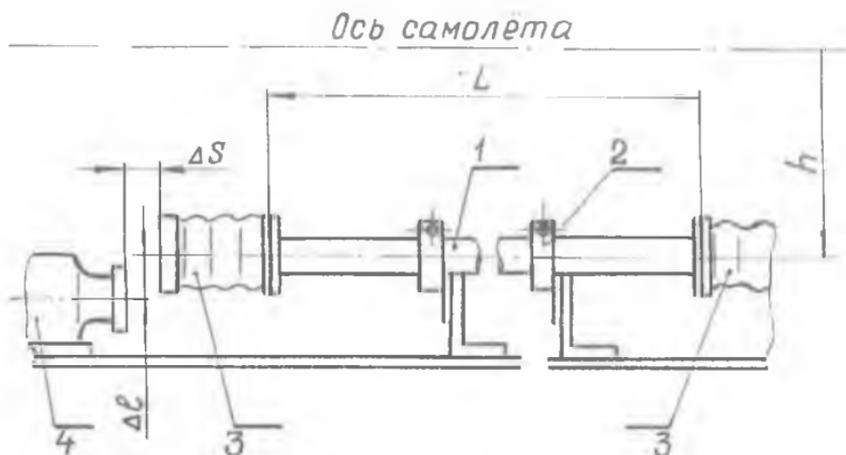
А.С.Горячев, Г.Н.Акимов, В.Г.Лацкий

РАСЧЕТ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ТРУБОПРОВОДОВ САМОЛЕТА

Как известно, компенсаторы (сильфоны) в системах трубопроводов вводятся для снятия напряжений, вызванных значительными колебаниями температур и деформаций самолета в процессе эксплуатации, а также для компенсации погрешностей изготовления и монтажа трубопроводов.

Правильное определение необходимой величины компенсации имеет большое значение для обеспечения взаимозаменяемости трубопровода. Недостаточная компенсация приводит к недопустимым напряжениям в трубопроводах, и следовательно, к значительному снижению ресурса и надежности всей системы. Избыточная компенсация усложняет компенсатор, увеличивает его вес.

На рис. 1 показаны схема соединения трубопровода 1 через компенсатор 2 с агрегатом арматуры 3 и характерные погрешности: смещение осей $\Delta \ell$ и зазора (недотяг) ΔS .



Р и с. 1. Схема соединения трубопроводов через компенсатор (сильфон): 1-трубопровод; 2-сильфон (компенсатор); 3-агрегат арматуры; 4-крепление трубопровода к изделию

Необходимая величина компенсации K по каждому параметру ($\Delta \ell$ и ΔS) определяется в общем случае по формуле

$$K \geq \Delta_{\Sigma B} - \Delta_{\Sigma H}, \quad (1)$$

где $\Delta_{\Sigma B}$ - верхнее отклонение суммарной погрешности;

$\Delta_{\Sigma H}$ - нижнее отклонение суммарной погрешности.

Результирующие отклонения по каждому параметру рассчитываются алгебраическим суммированием по следующей формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta u + \Delta \ell + \Delta g, \quad (2)$$

- где Δu - погрешность изготовления и монтажа трубопроводов;
 Δt - перемещения компенсатора, вызванные изменением температуры трубопровода и каркаса самолета в процессе эксплуатации;
 Δd - перемещения компенсатора, вызванные деформацией самолета от порывов беспокойного воздуха, при маневрах, от неровностей аэродрома и т.п.

Каждая из составляющих погрешностей в формуле (2) характеризуется своей частотой и общим числом циклов нагружения на компенсатор [1], и следовательно, по разному влияет на ресурс его работы [2].

Вследствие погрешностей изготовления Δu компенсатор нагружается при монтаже и в дальнейшем при эксплуатации трубопровода эта нагрузка не меняется.

Изменение температуры вызывает плавное нагружение компенсатора Δt со сравнительно небольшим количеством циклов нагружения.

Наконец, эксплуатационные нагрузки характеризуются большой частотой нагружения компенсатора и большим количеством циклов нагружения, что вызывает его перемещение на величину Δd .

По данным работы [2], для компенсации указанных погрешностей можно использовать 30-40% длины гофрированной части компенсатора при медленных и редких нагрузках и только 5 - 10% при быстрых и чисто повторяющихся перемещениях.

Поэтому при проектировании компенсатора и его использовании необходимо определить величину каждой составляющей в формуле (2) отдельно.

Величину составляющих перемещения наиболее точно можно определить непосредственно замером на изделиях. Но этот метод трудоемок и может быть применен как проверочный только после изготовления значительного количества изделий.

При проектировании же трубопроводной системы величину компенсации следует определять расчетным путем.

Результирующая точность изготовления и монтажа трубопроводов определяется следующими составляющими погрешностями:

- Δm - погрешность макетирования трубопроводов;
 Δm_t - температурная погрешность, вызванная разницей температур на этапе макетирования и изготовления трубопроводов;

- $\Delta_{на}$ - погрешность настройки универсального сборочного приспособления (УСП) или изготовления специальной оснастки по макету;
- $\Delta_{изг}$ - погрешность изготовления трубопроводов в УСП или в специальной оснастке;
- $\Delta_{ис}$ - погрешность инструментального стенда при заливке вилок сборочного приспособления, узла;
- $\Delta_{кр}$ - погрешность установки крепежных точек относительно базовых деталей;
- $\Delta_{д}$ - погрешность установки базовых деталей для трубопроводов (шпангоутов, нервюр) в сборочном приспособлении;
- $\Delta_{уст}$ - погрешность установки трубопровода на изделие;
- $\Delta_{к}$ - погрешность изготовления компенсатора;
- $\Delta_{см}$ - погрешность стыковки агрегатов.

В зависимости от принятой технологии изготовления и монтажа трубопроводов состав погрешностей может несколько меняться.

Погрешности изготовления и монтажа трубопроводов рассчитываются по известной методике, изложенной в работе [3] (далее показан конкретный пример). При этом считают, что погрешность какой-либо операции равна допуску, заложенному в действующей технической документации.

Перемещения компенсатора, вызванные изменением температуры трубопровода и каркаса самолета в процессе эксплуатации, определяются по формуле

$$\Delta L = (\alpha_T \Delta t_T - \alpha_K \Delta t_K) L, \quad (3)$$

- где α_T , α_K - коэффициенты линейного расширения материалов трубопровода и каркаса самолета;
- Δt_T , Δt_K - максимальные (минимальные) отклонения температуры трубопровода и каркаса самолета от нормальной;
- L - длина трубопровода в рассматриваемом направлении.

Температурные деформации трубопровода определяют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При этом направление, параллельное оси компенсатора, свидетельствует о перемещении его вдоль оси ΔS , а направление, перпендикулярное оси компенсатора - о его несоосности $\Delta \ell$.

Для расчета перемещений компенсатора от деформаций самолета в процессе эксплуатации приняты следующие допущения:

расчетным случаем для определения перемещений от упругих деформаций самолета является случай Е (посадка на три точки);

на каждом расчетном участке фюзеляж изгибается по дуге окружности, проходящей через три известные точки (полученные из графика деформаций для случая Е);

под действием нагрузок имеет место прямой плоский изгиб фюзеляжа, его нейтральная плоскость проходит через строительную плоскость (для цилиндрического сечения);

длина трубопровода не меняется под действием нагрузок, связанных с упругими деформациями фюзеляжа.

Перемещения трубопровода вдоль оси фюзеляжа зависят от радиуса кривизны фюзеляжа, длины трубопровода и расположения его относительно нейтральной плоскости.

На рис. 2 показаны оси расположения трубопроводов относительно нейтральной плоскости. Перемещения трубопроводов определяют из подобия треугольников OAC ; OA_1C_1 ; OA_2C_2 :

$$\Delta y = \pm \frac{Lh}{R} \quad (4)$$

Если отдельные участки трубопровода находятся на различном удалении от нейтральной плоскости и имеют значительную длину, то формула (4) принимает вид:

$$\Delta y = \pm \sum_{i=1}^n \frac{L_i h_i}{R_i} \quad (5)$$

где $i=1-n$ - порядковые номера участков изогнутого трубопровода;
 L_i - длина участка трубопровода;



h_z - расстояние от нейтральной плоскости изделия до оси участка трубопровода;

R_z - радиус дуги окружности изделия на рассматриваемом участке трубопровода.

Радиус дуги окружности определяют из таблиц [4] по известным хорде (длина трубопровода или его участка) и стреле прогиба (берется из графика деформаций изделия для расчетного случая Е).

Как показали расчеты, несоосностью компенсатора от упругих деформаций можно пренебречь ввиду ее малости.

При расчете погрешностей изготовления и монтажа трубопроводов, а также их перемещений под действием упругих деформаций и изменения температуры по формулам (1)-(5) необходимо учитывать частные случаи:

компенсатор воспринимает перемещения трубопровода с одной стороны [расчет производят по формулам (1)-(5)];

компенсатор воспринимает перемещения трубопроводов с двух сторон [расчет производят по формулам (1)-(5) для каждой ветви трубопровода, результат суммируют];

перемещения трубопровода воспринимают два компенсатора, установленные по его концам [расчет производят по формулам (1)-(5), результат делят пополам].

Пример расчета компенсации погрешности зазора для трубопровода, показанного на рис. 1.

Исходные данные: фюзеляж самолета дюралюминиевый, длина - 42,5 м, для случая Е в центре фюзеляжа он имеет стрелу прогиба 32 см; трубопровод титановый, температура его эксплуатации 400°C, $L = 1000$ мм, $h = 1800$ мм; температура в сборочном цехе изменяется в пределах $15 \pm 35^\circ\text{C}$.

Исходные данные: $R = 695000$ мм (по известной хорде 42500 мм и стреле прогиба 320 мм - из таблиц, приведенных в [4]);

$$\alpha_k = 22,8 \cdot 10^{-6} / \text{град}; \quad \alpha_r = 8,5 \cdot 10^{-6} / \text{град};$$

$$\Delta_{tr} = 400 - 20 = 380^\circ\text{C}; \quad \Delta_{tk} = -50 - 20 = -70^\circ\text{C};$$

(- 50°C - температура фюзеляжа на большой высоте;
20°C - нормальная температура)

$$\Delta_{nc} = L \Delta_t \alpha_r = 10^3 \left(\frac{35-20}{15-20} \right) 8,5 \cdot 10^{-6} = -0,04 \text{ мм.}$$

Погрешности, приведенные из технической документации, мм:

$$\Delta_M = \pm 0,2; \quad \Delta_{н.о} = \pm 0,2;$$

$$\Delta_{узг} = \pm 1; \quad \Delta_{у.с} = \pm 0,3;$$

$$\Delta_{д} = 0,2; \quad \Delta_{кр} = \pm 0,2;$$

$$\Delta_{у.с.м} = \pm 0,2; \quad \Delta_{к} = \pm 0,5.$$

$$\Delta_{с.т} = 0;$$

Так как погрешности изготовления трубопровода и деформации воспринимают два сильфона, при расчете зазора ΔS берут половину погрешностей от:

$$\Delta_M; \Delta_{н.о}; \Delta_{узг}; \Delta_{у.с}; \Delta_{д}; \Delta_{кр}; \Delta_{к}; \Delta_{с.т}.$$

Отсюда результирующая погрешность изготовления

$$\Delta_{и} = \pm 0,1 \overset{+0,13}{-0,04} \pm 0,1 \pm 0,5 \pm 0,3 \overset{0,2}{+0,0} \pm 0,2 \pm 0,2 \pm 0,5 \overset{+2,23}{-1,86} \text{ мм.}$$

Перемещения, вызванные упругими деформациями конструкции,

$$\Delta_{д} = \pm \frac{1000 \cdot 1800}{2 \cdot 695000} = \pm 1,3 \text{ мм.}$$

Перемещения компенсатора, вызванные изменением температуры трубопровода и изделия,

$$\Delta_{т} = \frac{(8,5 \cdot 10^{-6} \cdot 380 + 22,8 \cdot 10^{-6} \cdot 70) \cdot 1000}{2} = 2,42 \text{ мм.}$$

Общая погрешность по зазору определяется как сумма

$$\Delta_{S} = \overset{+2,23}{-1,86} + \overset{2,42}{0,00} \pm 1,3 \overset{+5,95}{-3,16} \text{ мм.}$$

Необходимая величина компенсации по зазору

$$\Delta = 5,95 - (-3,16) = 10,11 \text{ мм.}$$

По изложенной методике проведен расчет потребной компенсации для трубопроводов высотной системы одного изделия тяжелого класса. Для рассмотренного изделия суммарные перемещения по оси компенсатора находятся в пределах 6–18 мм, по несоосности торцов – в пределах 3–14 мм. При этом 16–45% их приходится на долю погреш-

ностей изготовления и монтажа трубопроводов, 0-50% - на долю температурных перемещений, 3-25% - на долю перемещений от упругих деформаций.

Предлагаемая методика может быть использована также для оценки взаимозаменяемости разрабатываемой конструкции трубопровода.

Л и т е р а т у р а

1. В и г д о р ч и к С.А. Технологические основы проектирования и конструирования самолетов. Вып. I. МАИ, 1974.
2. Б у р ц е в К.Н. Металлические сильфоны. М., "Машгиз", 1963.
3. М я г к о в Н.Д. Допуски и посадки. М., "Машиностроение", 1966.
4. Б р о н ш т е й н И.Н., С е м е н д я е в К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М., Гос.изд. технико-теоретической литературы, 1953.

УДК 629.7.02: 629.7.071.001.4

Б.С.Ч у б е н к о

О ПОКАЗАТЕЛЯХ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ЗАВОДСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с оценкой технологичности изделий при заводских контрольных испытаниях (ЗКИ) с учетом специфических факторов.

В настоящее время трудоемкость ЗКИ достигает 15-20% от общей трудоемкости изготовления изделий. Стоимость испытательного парка приборов и оборудования, необходимых для проведения ЗКИ, доходит до 30-40% от затрат в целом на производство изделий определенного типа.

Однако уровень проработки технологии ЗКИ отстает от современного технического уровня самих изделий. Объясняется это рядом обстоятельств. Во-первых, алгоритм ЗКИ и обеспечение испытательным парком приборов и оборудования полностью закладывается в конструкторской документации. При этом подробный технологический анализ самого алгоритма, как правило, отсутствует, что обусловлено слож-