

УДК 620.162.4+621.6

**ИСПЫТАНИЯ НА РЕСУРС ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДА**© 2012 О. М. Болтенкова<sup>1</sup>, О. Ю. Давыдов<sup>1</sup>, В. Г. Егоров<sup>2</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»<sup>2</sup>ОАО «Научно-исследовательский институт автоматизированных средств производства и контроля»

Проведены ресурсные испытания пульсирующим внутренним давлением элементов трубопровода типа «крутоизогнутый патрубок». В ходе испытаний было установлено, что патрубки, формообразованные гибкой проталкиванием через фильеру с внутренним давлением наполнителя, и патрубки, полученные гибкой раздачей эластичной средой, имеют циклическую долговечность, превышающую ресурс планера летательного аппарата.

*Испытания на ресурс, трубчатые детали, долговечность, пульсирующее давление.*

Трубопроводные системы являются жизненно важным элементом в конструкции современных летательных аппаратов, и поэтому к ним предъявляются особые требования по обеспечению ресурса и надёжности.

Как показали предварительные испытания, ресурс трубопровода можно увеличить в 1,5-2 раза и приблизить к ресурсу планера при использовании крутоизогнутых, ступенчатых патрубков и тройников, формообразованных гидромеханической штамповкой из цельнотянутых или прямошовных трубных заготовок и собранных в трассу с применением автоматической сварки, взамен элементов, изготавливаемых из полупатрубков с применением ручной сварки.

Трубопроводы воздушных систем, топливной системы подвергаются при работе следующим нагрузкам: переменное (пульсирующее) внутреннее давление; вибрационные нагрузки частотой до 200 Гц; изгибные, монтажные и температурные нагрузки. Весь спектр нагрузок при одновременных ресурсных испытаниях воспроизвести чрезвычайно сложно. Поэтому проводились ресурсные испытания трубных узлов отдельными видами нагружений.

Ресурсные испытания проводились пульсирующим внутренним давлением.

Сравнивался ресурс крутоизогнутых патрубков, изготовленных штамповкой полупатрубков с последующей их ручной сваркой [1]; крутоизогнутых патрубков, формообразованных гибкой проталкиванием через фильеру с внутренним давлением наполнителя [2]; крутоизогнутых патрубков, полученных гибкой раздачей эластичной средой [3]. Все испытываемые образцы были изготовлены из сплава ВТ1-0, имели диаметр 80 мм и толщину стенки 0,8 мм.

Для проведения экспериментов были созданы специальные стенды для испытания пульсирующим внутренним давлением.

Изготовление натуральных узлов трубопровода для сравнительных ресурсных испытаний с формообразованными элементами типа «крутоизогнутый патрубок» потребовало проведения комплекса работ по калибровке, торцовке и автоматической сварке продольных и кольцевых стыков элементов.

Перед испытаниями натурные узлы трубопровода из сплава ВТ1-0 отжигались в следующем режиме: нагрев в печи до 550 °С, выдержка 1 час.

Схема испытаний и закрепления натуральных узлов трубопровода представлена на рис. 1.

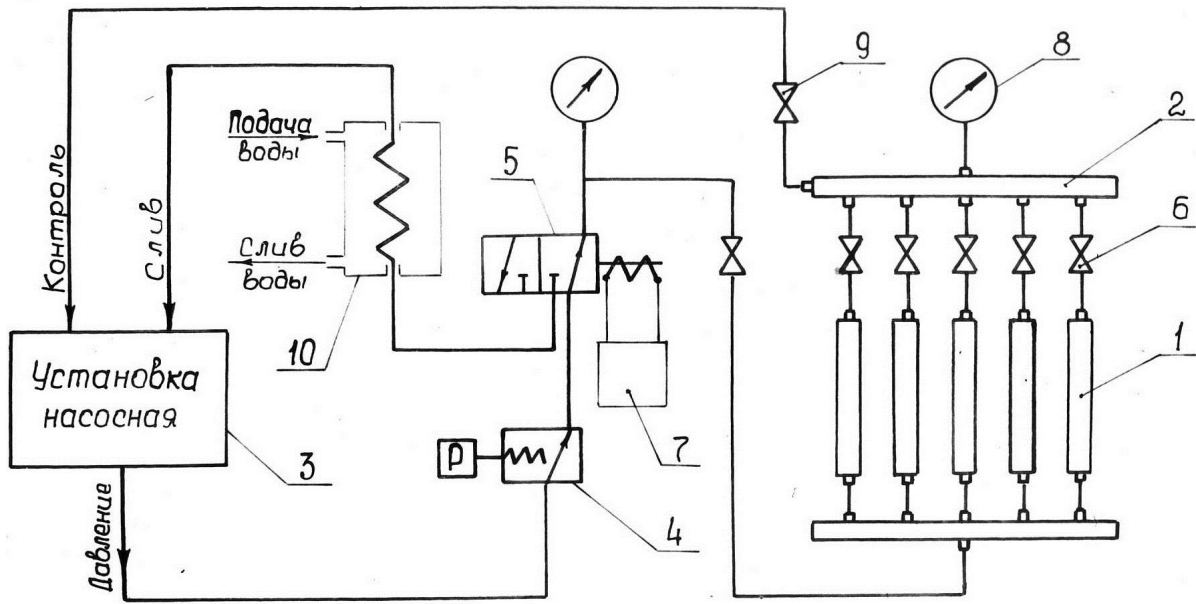


Рис. 1. Схема испытаний и закрепления трубчатых деталей

Испытываемые трубчатые детали 1 закреплялись жёстко в ложементах стенда в вертикальном положении и подключались через уплотнительные соединения к трубным гребёнкам стенда 2. Рабочее давление при испытании подавалось от насосной станции 3 через клапан регулировки давления 4 и электрогидравлический клапан 5, обеспечивающий пульсацию рабочего давления, через запорные краны 6 в испытываемые трубчатые детали 1. Управление электрогидравлическим клапаном 5 осуществлялось автоматом пульсирующих нагрузок 7, который регулирует продолжительность выдержки труб под рабочим давлением и без него. Контроль рабочего давления осуществлялся двумя манометрами 8. Спуск воздуха из гидравлической системы стенда и испытываемых трубчатых деталей после их заполнения маслом перед началом испытаний производился через запорный кран 9. Охлаждение рабочей жидкости производилось радиатором с водяным охлаждением 10.

Испытания натуральных узлов проводились при нормальной температуре окружающей среды  $t_{окр} = (25 \pm 10)^{\circ}C$  и при нормальной температуре рабочей жидко-

сти  $t_{окр} = (35 \pm 10)^{\circ}C$ , которая поддерживается в заданном диапазоне за счёт радиатора водяного охлаждения.

Сравнительные испытания производились ускоренным методом за счёт повышения частоты нагружения и увеличения уровня испытательных нагрузок по сравнению с частотой и уровнем полётных нагрузок.

Исходя из большой номенклатуры натуральных узлов труб, испытания проводили на двух уровнях напряжений:  $s_{t_1} = 0,5s_{0,2}$  (где  $s_t$  – окружное напряжение,  $s_{0,2}$  – предел текучести материала) и  $s_{t_2} = 0,7s_{0,2}$ .

Подбор рабочего давления при испытаниях производился по зависимости, связывающей окружное напряжение и внутреннее давление для цилиндрических тонкостенных сосудов:

$$s_t = \frac{P_{исп} R}{t}, \quad (1)$$

где  $s_t$  – окружное напряжение, МПа;

$P_{исп}$  – максимальное давление при испытании, МПа;

$R$  – наружный радиус трубы, мм;

$t$  – толщина стенки трубы, мм.

Расчётные нагрузки при испытаниях натуральных узлов:

– при  $s_{t_1} = 0,5s_{0,2} = 200$  МПа –

$$P_{исп_1} = 4 \text{ МПа};$$

– при  $s_{t_2} = 0,7s_{0,2} = 280$  МПа –

$$P_{исп_2} = 5,6 \text{ МПа}.$$

Трубопровод воздушных систем эксплуатируется с рабочим давлением 0,8 МПа и два раза за полёт испытывает перегрузки при включении вспомогательной силовой установки. Трубопровод топливной системы эксплуатируется с рабочим давлением 0,4 МПа и испытывает перегрузки при заправке топливом в среднем два раза за время предполётной подготовки.

Ожидаемая долговечность трубопровода, эквивалентная назначенному ресурсу, при эксплуатации рабочим давлением с учётом перегрузок определяется по зависимости:

$$N = n \cdot N_1 \cdot h. \quad (2)$$

Здесь  $n$  – количество нагружений за полёт,  $n = 2$ ;

$N_1$  – назначенный ресурс планера (высокоресурсного трубопровода);

$N_1 = 20000$  взлётов-посадок (30000 летних часов);

$h$  – коэффициент надёжности:

$$h = h_1 \cdot h_2 \cdot h_3 \cdot h_4,$$

где  $h_1$  – коэффициент надёжности, учитывающий возможные неточности программы испытаний на выносливость:  $h_1 = 1,5$ ;

$h_2$  – коэффициент, учитывающий место разрушения, характер разрушения и скорость распространения трещины:  $h_2 = 1,2$ ;

$h_3$  – коэффициент, учитывающий большую или меньшую достоверность данных о повторяемости нагрузок:  $h_3 = 1,5$ ;

$h_4$  – коэффициент, учитывающий разброс данных выносливости идентичных образцов:  $h_4 = 3,5$ .

Тогда  $h = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 3,5 \approx 10$ .

Ожидаемая долговечность трубопровода при эксплуатации рабочим давлением с учётом перегрузок:

$$N = 2 \cdot 20000 \cdot 10 = 400000 \text{ циклов}.$$

Ожидаемая долговечность натуральных узлов трубопровода при ускоренных испытаниях нагрузками определяется по формуле:

$$N_2 = N \left( \frac{P_1}{P_{исп}} \right)^m, \quad (3)$$

где  $N$  – ожидаемая долговечность трубопровода при эксплуатации рабочим давлением с учётом перегрузок, эквивалентная назначенному ресурсу трубопровода,  $N = 400000$  циклов;

$P_1$  – максимальное давление при эксплуатации,

$P_1 = 0,8$  МПа для топливной системы,

$P_1 = 1,3$  МПа для воздушных систем;

$P_{исп}$  – давление при ускоренных сравнительных испытаниях для данного типа натуральных образцов;

$m$  – коэффициент, который принимается равным 3.

Тогда для трубопровода топливной системы:  $N_2' = 148148$  циклов.

Для трубопровода воздушных систем:  $N_2' = 150686$  циклов.

Принимаем базу испытаний натуральных образцов трубопровода:  $N_2 = 170000$  циклов.

Испытания проводились в следующем порядке: партии образцов (по 3...5 шт.) нагружались пульсирующим давлением до  $P_{исп_1}$  ( $s_{t_1} = 0,5s_{0,2}$ ), и по достижении базы испытаний  $N_2 = 170000$  циклов нагрузку увеличивали до  $P_{исп_2}$  ( $s_{t_2} = 0,7s_{0,2}$ ) и продолжали испытание до разрушения натуральных узлов трубопровода.

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты ресурсных испытаний трубчатых деталей

№№ об-раз-цов	Наименование образца	Число циклов до разрушения		Число циклов до разрушения	Примечание
		при $s_{t_1} = 0,5s_{0,2}$	при $s_{t_2} = 0,7s_{0,2}$		
1.	Патрубки, изготовленные штамповкой полупатрубок с последующей их ручной сваркой	610	-	610	Разрушение по линии сплавления продольного шва
2.		220	-	220	
3.		890	-	890	
4.		115	-	115	
5.	Патрубки, формообразованные гибкой проталкиванием через фильеру с внутренним давлением наполнителя	170000 б/р	28600	198600	Разрушение по основному материалу образца
6.		170000 б/р	30680	200680	
7.		170000 б/р	25170	195170	
8.	Патрубки, полученные гибкой раздачей эластичной средой	170000 б/р	200000 б/р	370000 б/р	-
9.		170000 б/р	200000 б/р	370000 б/р	
10.		170000 б/р	81050	251050	

Примечание: б/р – образцы не разрушились при испытаниях.

Из табл. 1 следует, что патрубки, изготовленные штамповкой из двух половин, отличаются пониженным ресурсом при циклическом нагружении. Они выдерживают до 890 циклов до разрушения, что соответствует 157 лётным часам. В то же время патрубки, полученные с использованием прогрессивных технологий (гибка проталкиванием и гибка раздачей), выдержали от 195170 до 370000 и более циклов до разрушения. Следовательно, их циклическая долговечность соответствует от 34441 до 52941 и более лётных часов.

Таким образом, узлы титанового трубопровода с крутоизогнутыми патрубками из сплава ВТ1-0, полученными гидромеханической штамповкой из трубных заготовок, имеют циклическую долговечность, превышающую в 1,2-2 раза ресурс планера летательного аппарата в 30 000 лётных часов.

### Библиографический список

- Исаченков, Е. И. Развитие технологии штамповки эластичными, жидкостными и газовыми средами [Текст] / Е. И. Исаченков // Кузн.-штамп. пр-во. – 1976. – №7. – С. 2-5.
- Егоров, В. Г. Оценка предельных возможностей формообразования патрубков проталкиванием [Текст] / В. Г. Егоров, О. Ю. Давыдов, М. В. Ганеев // Заготовительные производства в машиностроении. – 2004. – №2. – С. 30-32.
- Болтенкова, О. М. Моделирование кинематики пластического течения при гибке патрубков раздачей [Текст] / О. М. Болтенкова, А. И. Кочегаров // Наука и технологии. Материалы XXXI Всероссийской конференции. – Миасс: МСНТ, 2011. – С. 125-131.

## LIFE TESTING OF PIPELINE ELEMENTS

© 2012 O. M. Boltenkova<sup>1</sup>, O. Yu. Davydov<sup>1</sup>, V. G. Yegorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies

<sup>2</sup>Research Institute of Automated Production and Control Facilities plc

Life tests of pipeline elements such as a strongly curved branch pipe by pulsating internal pressure have been carried out. In the course of the tests it was established that the pipes formed by flexible pushing through a die with the internal pressure of the filler and those produced by flexible expansion with elastic medium have cyclic longevity exceeding the resource of an airframe.

*Life test, tubular parts, longevity, pulsating pressure.*

### Информация об авторах

**Болтенкова Оксана Михайловна**, аспирант кафедры «Техническая механика», ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий». E-mail: [boltenkova0210@mail.ru](mailto:boltenkova0210@mail.ru). Область научных интересов: обработка давлением применительно к процессам формообразования элементов трубопроводных систем эластичными средами.

**Давыдов Олег Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика», ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий». E-mail: [dav\\_61@mail.ru](mailto:dav_61@mail.ru). Область научных интересов: обработка давлением применительно к процессам формообразования элементов трубопроводных систем эластичными средами.

**Егоров Владислав Геннадьевич**, доктор технических наук, профессор, генеральный директор, ОАО «Научно-исследовательский институт автоматизированных средств производства и контроля». E-mail: [akvapaskal@mail.ru](mailto:akvapaskal@mail.ru). Область научных интересов: обработка давлением применительно к процессам формообразования элементов трубопроводных систем эластичными средами.

**Boltenkova Oksana Mikhailovna**, postgraduate student, the department of technical mechanics, Voronezh State University of Engineering Technologies. E-mail: [boltenkova0210@mail.ru](mailto:boltenkova0210@mail.ru). Area of research: plastic working as applied to the processes of shaping elements of pipeline systems by elastic media.

**Davydov Oleg Yurievich**, candidate of technical science, associate professor, the department of technical mechanics, Voronezh State University of Engineering Technologies. E-mail: [dav\\_61@mail.ru](mailto:dav_61@mail.ru). Area of research: plastic working as applied to the processes of shaping elements of pipeline systems by elastic media.

**Yegorov Vladislav Guennadievich**, doctor of technical science, professor, general director of the Research Institute of Automated Production and Control Facilities. E-mail: [akvapaska@mail.ru](mailto:akvapaska@mail.ru). Area of research: plastic working as applied to the processes of shaping elements of pipeline systems by elastic media.