

УДК 621.646.9

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ВЕЛИЧИНЫ ЗАТЯЖКИ ИСПОЛНЯЕМЫХ ПО ОСТ92-8497-93 ШТУЦЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ ПНЕВМОСИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА РД-107/108

© 2017 А.В. Лаврин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 21.02.2017

Приведены результаты испытаний на герметичность штуцерных соединений при различных величинах затяжки и фиксированном внутреннем давлении. Уточнены требования нормативной документации по минимально необходимой величине затяжки стыков трубопроводов для конкретных условий эксплуатации. Выполнено расчетно-экспериментальное обоснование сохранения герметичности соединений для вновь определенных граничных условий.

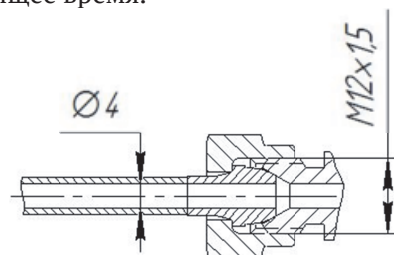
*Ключевые слова:* соединение штуцерное, величина затяжки, герметичность, контактное давление, накидная гайка.

### ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение надежности изделий ракетно-космической техники является приоритетной задачей как для соответствующих организаций-разработчиков, так и для предприятий, производящих указанную технику. Применительно к двигателям семейства РД-107/108 в русле указанной задачи актуальным является направление по повышению надежности стыков трубопроводов, имеющих условный внутренний диаметр 4 мм (Ду4), с ответными штуцерами распределителей и агрегатов [1]. Указанные трубопроводы обеспечивают подвод управляющего давления воздуха к указанным элементам двигателя, а также подачу замеряемого давления рабочих сред к соответствующим телеметрическим датчикам.

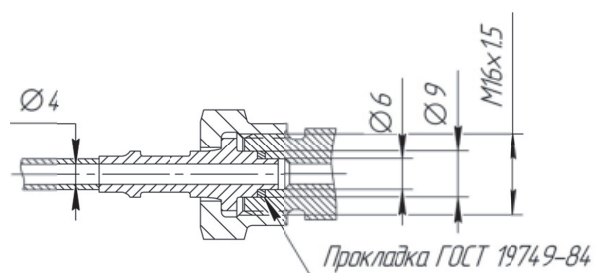
Применяемый в настоящее время в соединениях нормализованных трубопроводов, беспрокладочный способ уплотнения («торговая поверхность ниппеля трубопровода + конус штуцера») предъявляет довольно высокие требования к состоянию и геометрии уплотнительных поверхностей, так как при обжатии ответных деталей в стыке образуется только одна кольцевая зона уплотнения (рис. 1), имеющая сравнительно небольшой поперечный размер. При наличии в зоне уплотнения каких-либо поверхностных дефектов или искажений геометрии, протяженность которых сопоставима с шириной зоны уплотнения, возможна негерметичность стыка. Однако данный тип соединения широко применяется в трубопроводах двигателей типа РД-107, РД-108 из-за малых габаритов применяемой концевой арматуры, а также из-за отсутствия необходимости в дополнительных

деталей – уплотнительных прокладках. Указанные трубопроводы составляют примерно треть от общего количества всех обозначений трубопроводов двигателей, серийно производящихся в настоящее время.



**Рис. 1.** Стык нормализованного трубопровода Ду4 с ответным штуцером

Более надежный способ стыка обеспечивается путем применения соединения с плоской металлической прокладкой по типу, установленному ОСТ92-8497-93 (рис. 2). Соответствующее данному типу соединения конструктивное исполнение трубопроводов применяется во многих современных разработках «НПО Энергомаш». При затяжке такого соединения благодаря пластической деформации податливой металлической прокладки, находящейся в закрытом затворе (объеме), образуются две пары уплотнительных зон – по торцевой поверхности



**Рис. 2.** Стык трубопровода Ду4 с концевой арматурой по ОСТ92-8497-93

Лаврин Андрей Владимирович, аспирант кафедры ОКМ  
E-mail: olavrina@mail.ru

наконечника (штуцера) и по цилиндрической поверхности наконечника (штуцера). Благодаря этой особенности такой тип стыка является более надежным в части герметичности.

Для стыков, изготовленных по ОСТ 92-8497-93 в качестве основного устанавливается способ затяжки с использованием моментного ключа [2]. Однако при этом также допускается осуществление затяжки по углу поворота. В соответствии с п.2.5.5 [2] расчет угла поворота проводится по формуле:

$$\varphi = \frac{6,3 \cdot \varepsilon_1 \cdot s_0}{s_1} + \Delta\varphi (\text{рад}), \quad (1)$$

где  $\varepsilon_1$  - относительная деформация прокладки,  $\varepsilon_1 = 0,3$ ;

$s_0$  - толщина прокладки до сжатия,  $s_0 = 1,5$  мм;

$s_1$  - шаг резьбы,  $s_1 = 1,5$ ;

$\Delta\varphi$  - дополнительный угол поворота гайки относительно штуцера за счет микронеровности и разнотолщинности прокладки,  $\Delta\varphi = 0,35$  рад;

$$\varphi = \frac{6,3 \cdot 0,3 \cdot 1,5}{1,5} + 0,35 = 2,24 \text{ рад} = 128^\circ \approx 2 \text{ грани.}$$

Необходимо отметить, что указанный способ монтажа (по углу поворота или граням накидной гайки) для двигателей типа РД-107, РД-108 может оказаться более предпочтительным, т.к. существующая технология и требования конструкторской документации в подавляющем большинстве случаев при сборке не предусматривают применения моментных ключей. Полученный результат (~2 грани накидной гайки от упора) позволяет легко реализовать затяжку существующим штатным инструментом без увеличения его номенклатуры, причем указанная величина затяжки может быть применима для трубопроводов с другим Ду из-за одинакового шага резьбы в накидных гайках и фиксированной величины относительно деформации прокладки ( $\varepsilon_1 = 0,3$ ) и ее толщины (1,5 мм).

В настоящее время Приволжским филиалом АО «НПО Энергомаш» накоплен достаточный опыт успешного применения трубопроводов Ду4 с концевой арматурой по ОСТ92-8497-93 в составе экспериментальных двигателей типа РД-107, РД-108. Завершение обработки указанного типа трубопроводов и последующее их внедрение потребует определения допуска на величину затяжки их стыков, который будет указан в соответствующих технических условиях на сборку двигателей.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ЗАТЯЖКИ

Работа проводилась с использованием специального распределителя (рис. 3), у которого три штуцера из четырех были исполнены в соответствии ОСТ92-8497-93. Для организации стыков

использовались три трубопровода Ду4 с концевой арматурой, также соответствующей ОСТ92-8497-93. Выполнение работы осуществлялось с учетом следующих особенностей и условий:

а) на каждом этапе последовательно использовался один штуцер из трех; остальные заглашались силовыми заглушками;

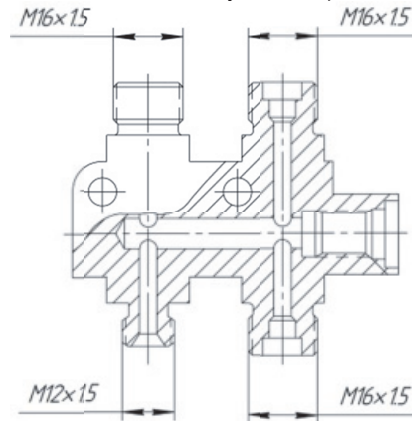


Рис. 3. Распределитель

б) монтаж стыков по ОСТ92-8497-93 осуществлялся с использованием алюминиевых прокладок 6х9-1 ГОСТ 19752-84 (материал – алюминий марки АД1 отожженный); в конечном итоге было смонтировано три стыка;

в) затяжка исследуемых стыков осуществлялась на зафиксированном в приспособлении распределителе; выполнение - ступенчатое с шагом 0,5 грани от первоначально выбранного упора; предельная величина затяжки – 2 грани; после каждой промежуточной затяжки полученная сборка транспортировалась на участок проведения пневмоиспытания;

г) испытание на герметичность методом «аквариума» (при каждом цикле проверки) осуществлялось давлением 90 кгс/см<sup>2</sup> (изб.); указанная величина в соответствии с требованиями действующих технических условий являлась стандартной при испытании на герметичность всех нормализованных трубопроводов Ду4, независимо от выполняемой ими функции. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

В процессе испытаний была зафиксирована однократная негерметичность стыка при затяжке на 0,5 грани (30° от упора). Однако данная негерметичность возникла после нештатного воздействия на трубопровод в процессе переноса сборки («трубопровод + распределитель») на участок пневмоиспытания. Очевидно, что в процессе сборки двигателя трубопроводы не будут подвергаться подобным воздействиям или ударам, приводящим к провороту наконечника в месте стыка. Тем не менее, учитывая возникшие обстоятельства, с определенным запасом можно утверждать, что герметичность подобных стыков гарантировано достигается при за-

**Таблица 1.** Испытания на герметичность штуцерных соединений

№ штуцера	Испытательное давление, кгс/см <sup>2</sup> (изб.)	Время испытания, мин	Состояние стыка после затяжки			
			0,5 грани	1 грань	1.5 грани	2 грани
1	90	2	Негерм.	Герм.	Герм.	Герм.
2			Герм.	Герм.	Герм.	Герм.
3			Герм.	Герм.	Герм.	Герм.

тяжке от 1 грани и выше. Объединяя результаты эксперимента и требования ГОСТ 19749-84, для исследуемых стыков целесообразно назначить величину затяжки 2<sub>0,5</sub> грани от упора.

### РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОХРАНЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ

Очевидно, что основным условием сохранения герметичности стыка является достижение таких величин контактного давления в парах «прокладка + штуцер» и «прокладка + наконечник трубопровода», которые заведомо будут больше давления рабочей среды. При выполнении данного условия раскрытия (рассоединения) стыка не произойдет.

В нормативной документации [2] не приводится методика пересчета величины затяжки по углу поворота накидной гайки в усилие затяжки, необходимое для расчета контактного давления. Однако оценка получаемой величины давления все-таки возможна, исходя из следующих соображений:

а) материал прокладки – алюминий марки АД1 отожженный – является высокопластичным; для данного материала в нормативной документации отсутствует параметр  $\sigma_{0,2}$ ; поэтому с достаточной точностью можно утверждать, что пластическая деформация прокладки наступает практически сразу после выборки упора и начала затяжки;

б) исходя из статического равновесия всех элементов стыка и пренебрегая деформацией штуцеров и наконечников, контактное давление можно приблизительно принять равным напряжению текучести в материале прокладки;

в) относительная деформация прокладки (по толщине) сравнительно легко вычисляется, исходя из угла поворота гайки и шага резьбы гайки (штуцера);

г) в [2] приводится эмпирическая формула для расчета напряжения текучести материала прокладки в зависимости от ее относительной деформации, предполагая, что деформация с самого начала носит пластический характер.

При затяжке гайки на 2 грани при шаге резьбы 1,5 мм прокладка деформируется на 0,5 мм.

Тогда при начальной толщине  $S_0 = 1,5$  мм относительная деформация

$$\varepsilon = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad (2)$$

примет значение:

$$\varepsilon = \frac{0,5}{1,5} \cdot 100 = 33\%.$$

С момента начала деформации материал достигает предела текучести  $\sigma_{s0}$  (340 кгс/см<sup>2</sup> для отожженного алюминия АД1), который при дальнейшем развитии деформации начинает увеличиваться из-за упрочнения при сжатии в закрытом затворе. Итоговое значение предела текучести  $\sigma_s$  вычисляется по формуле [2]:

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + 0,7\varepsilon^{0,6} \cdot 10^2, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – относительная деформация в процентах.  
 $\sigma_s = 340 + 0,7 \cdot (33)^{0,6} \cdot 10^2 = 910,4 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$  (89,2 МПа).

При затяжке гайки на 1,5 грани при шаге резьбы 1,5 мм прокладка деформируется на 0,375 мм. Тогда относительная деформация примет значение

$$\varepsilon = \frac{0,375}{1,5} \cdot 100 = 25\%.$$

Итоговое значение предела текучести в данном случае

$$\sigma_s = 340 + 0,7 \cdot (25)^{0,6} \cdot 10^2 = 822,9 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (80,6 МПа)}.$$

Особенностью конструкции и испытаний двигателей типа РД-107/108 является то обстоятельство, что давление в трубопроводах Ду4 воздушной системы не может превышать величины давления настройки предохранительного клапана, составляющего ~102 кгс/см<sup>2</sup> (изб.)

Указанную величину можно рассматривать как максимально возможное расчетное значение.

С учетом проведенных расчетов очевидно, что даже при затяжке стыка на 1,5 грани контактное давление в сопрягаемых деталях стыка более чем в 8 раз превышает давление рабочей среды. Указанное обстоятельство однозначно гарантирует полную герметичность стыка и отсутствие предпосылок к его раскрытию.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ И ГЕРМЕТИЧНОСТИ СТЫКА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАТЯЖКИ НА НИЖНЕЙ ГРАНИЦЕ ДОПУСКА

Для работ был использован распределитель (рис. 3), у которого на трех штуцерах были установлены силовые заглушки. К оставшемуся штуцеру, исполненному по ОСТ92-8497-93, был присоединен трубопровод Ду4 с концевой арматурой, также соответствующей ОСТ92-8497-93. Затяжка указанного стыка осуществлялась на 1,5 грани от упора (угол поворота накидной гайки 90°). После монтажа полученная сборка (трубопровод + распределитель) была помещена в гидроиспытательный стенд с последующей опрессовкой и нагружением 830 кгс/см<sup>2</sup> (изб.) (81,4 МПа). После минутной выдержки в связи с отсутствием падения давления и видимых изменений в элементах сборки испытательное давление было снято. Повторное нагружение осуществлялось давлением 930 кгс/см<sup>2</sup> (изб.) (82,9 МПа) при выдержке в 2 минуты, при этом падения давления также не отмечалось. После снятия испытательного давления и внешнего осмотра, не выявившего каких-либо замечаний, исследуемый участок воздушной системы двигателя был испытан на герметичность методом «аквариума» при давлении воздуха 90 кгс/см<sup>2</sup> (изб.) (8,8 МПа). При этом исследуемый стык, а также все элементы сборки показали свою полную герметичность.

Полученные результаты превзошли расчетные данные, согласно которым при реализованном способе затяжки герметичность обеспечивается до давления рабочей среды 80,6 МПа. Указанные обстоятельства позволяют использовать ранее сделанное допущение по равенству контактного давления напряжению текучести

прокладки, а также представленные в [2] эмпирические зависимости для предварительной оценки минимального значения запаса прочности исследуемого штуцерного соединения в зависимости от угла его затяжки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных расчетно-экспериментальных работ и требований [2] при внедрении в конструкцию двигателей типа РД-107/108 трубопроводов Ду4 с концевой арматурой по ОСТ 92-8497-93 целесообразно назначить для них величину затяжки  $2_{-0,5}$  грани от упора. При этом даже на нижнем пределе указанной величины обеспечивается более чем восьмикратный запас прочности по превышению контактного давления в стыке относительно величины максимально возможного давления рабочей среды.

Допустимость выполнения затяжки по граням позволит не увеличивать существующую номенклатуру оснастки и инструмента, используемых при сборке двигателей, ввиду отсутствия необходимости в моментных ключах.

Полученные данные по допускаемой величине затяжки могут быть использованы при корректировке требований технических условий на сборку двигателей типа РД-107/ РД-108.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы и перспективы развития двигателестроения: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф. 22-24 июня 2016г. Самара: Самарский университет, 2016. В 2 ч. Ч. 2. С 184-185.
2. ГОСТ 19749-84. Соединения неподвижные разъемные пневмогидросистем. Затворы закрытые. Типы и технические требования.

### DETERMINATION OF THE LOWER LIMIT OF THE TIGHTENING TORQUE OF THE CHOKE JOINTS PERFORMED IN ACCORDANCE WITH OST92-8497-93 UNDER THE OPERATING CONDITIONS OF THE ENGINE PNEUMATIC SYSTEM TYPE RD-107/108

© 2017 A.V. Lavrin

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

Has been adducted testing results of fitting leakproofness for different values of tightening and fixed internal pressure. Have been refined demands of the minimum required value for tightening connections of pipelines for the specific operating conditions of RD-107/108. The possibility of using a new type of connections in engine design is confirmed.

*Keywords:* tightening connections, tightening torque magnitude, leakproofness, contact pressure, coupling nut.

Andrey Lavrin, Post-Graduate Student at the Fundamentals  
of Designing Machines Department.  
E-mail: olavrina@mail.ru