

## **Оценка технологичности трубопроводных систем летательных аппаратов на ранних этапах проектирования**

**Колыхалов Д.Г.\*, Сысоев О.Е.\*\*, Иванов И.Н.\*\*\***

*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,  
проспект Ленина, 27, Комсомольск-на-Амуре, 681013, Россия*

*\*e-mail: [dgk@knastu.ru](mailto:dgk@knastu.ru)*

*\*\*e-mail: [fs@knastu.ru](mailto:fs@knastu.ru)*

*\*\*\*e-mail: [ivanov\\_il@inbox.ru](mailto:ivanov_il@inbox.ru)*

### **Аннотация**

Статья посвящена новым подходам к оценке трубопроводных систем и их элементов на технологичность. В работе рассмотрены основные аспекты производственной технологичности трубопроводов летательных аппаратов, выявлены основные конструктивно-технологические параметры трубопроводов, в значительной степени влияющие на технологичность производства и монтажа трубопроводных систем. Проведен анализ производства трубопроводов и их элементов, проведена классификация технологических операций с точки зрения их сложности и влияния на технологичность, разработана система поправочных коэффициентов, учитывающая сложность производства и монтажа изделий трубопроводов. Предложен коэффициентный подход к оценке технологичности, введены коэффициенты технологичности трубопроводов, патрубков, магистралей, основанные на использовании сравнения проектируемых элементов трубопроводов с эталонными прямыми трубами без разделки. Данный подход может быть полезен

при предварительной оценке технологичности трубопроводных магистралей на ранних этапах проектирования летательных аппаратов и их систем. Приведены примеры оценки производственной технологичности трубопроводов.

**Ключевые слова:** производственная технологичность, коэффициенты технологичности, трубопроводные системы, летательные аппараты.

## Введение

Под понятием «технологичность» для сложных технических изделий или систем подразумевается целый комплекс характеристик, которые определяют удобство его изготовления, унификацию, стандартизацию и взаимозаменяемость, а также экономические затраты на производство и эксплуатацию.

Технологичность сложно измерить, она закладывается на ранних этапах проектирования при определении геометрии конструкции, но при этом еще зависит от назначения и функциональных параметров изделия [1].

Технологичным можно считать изделие, которое не требует особых сложностей при изготовлении, больших экономических затрат, содержит минимальное количество деталей, при этом является унифицированным и ремонтпригодным.

При изготовлении и эксплуатации трубопроводов гидрогазовых систем высокого давления различного диаметра в авиа-и ракетостроении, существует проблема повышения технологичности производства, но добиться ее высоких показателей достаточно сложно ввиду сложных форм изделий [2].

На ранних этапах проектирования уже можно предварительно определиться с технологическими операциями производства гидрогазовых систем самолета, а по форме трубопроводов можно сделать выводы о сложности изделия в целом.

### **Особенности разработки электронного макета гидрогазовых систем летательных аппаратов**

На ранних этапах проектирования гидрогазовых систем летательных аппаратов решается задача прокладки трубопроводов, их модификации и анализ полученных конструктивных решений (оптимизация длин и масс коммуникаций) [3]. Для этого используют специализированные модули САД-систем, обеспечивающие: прокладку трасс трубопроводов, как одиночных, так и объединенных в параллельные пучки; сопряжение участков труб различными радиусами, в том числе в зависимости от наружного диаметра трубы; ассоциативное перестроение конфигурации трубопровода, используя механизм контрольных точек; осуществление наглядной и точной стыковки труб и агрегатов гидросистемы с использованием специализированных портов.

В состав модуля входит база данных стандартных изделий соединений трубопроводов: электронные модели труб с законцовками из стали и алюминиевого сплава; электронные модели соединительной (проходной и переходной) арматуры трубопроводов из стали, титанового и алюминиевого сплава;

Модуль выполняет значительную часть рутинной работы конструктора. Так конструктор задает базовые точки траектории и выбирает стандартное сечение,

после чего модуль автоматически моделирует трубу с построением необходимых радиусов. Модель трубопровода ассоциативно связана с трассой.

Степень сложности электронной модели трубопровода возрастает при переходе к последующим этапам проектирования. Так, например, на ранней стадии проектирования (аванпроект) конструктор осуществляет компоновку основных агрегатов в отсеках, магистрали трубопровода выглядят упрощенно, соединительная арматура и крепеж отсутствуют. В дальнейшем модель детализуется, разбивается на входящие сборочные единицы, стандартные изделия [4].

В результате, на заключительном этапе проектирования электронного макета представляет собой с высокой степенью приближения реальную трубопроводную систему как составную и неотъемлемую часть электронного макета изделия [5].

При оценке технологичности на ранних этапах проектирования большую сложность представляет разбиение деталей на сборочные единицы, или в применении к трубопроводам – монтажные зоны.

### **Оценка монтажных зон по уровню технологичности**

Монтажные зоны по уровню технологичности можно подразделить исходя из принципов их компоновки:

- возможность проверки всех или одной системы на функционирование;
- возможность промывки и проверки магистрали на герметичность;
- возможность выполнения установки элементов систем.

При анализе технологичности производства трубопроводов необходимо учитывать:

- выбор методов обработки конфигурации;
- возможность использования типовых технологических решений по изготовлению трубопроводов;
- разработку новых технологических решений по изготовлению трубопроводов и средств их оснащения.

В процессе проработки конструкторской документации определяется перечень деталей, требующих освоения новых технологических процессов, разработки средств оснащения и оборудования.

Анализируя возможность разбиения трубопроводов на отдельные участки можно предложить оценку технологичности производства трубопроводов для двух входящих монтажных зон: патрубки и участки трубопроводов, выполненных из цельногнутых трубных заготовок с дополнительной технологической проработкой.

Анализ технологичности предусматривает классификацию участков труб и патрубков в сборе по методам формирования конфигурации и условиям стандартизации, а также разработку новых технологических решений в связи с освоением новых конструкций [6].

Конфигурация патрубков круглого сечения прямой формы с обработанными торцами характеризуется геометрическими параметрами согласно рис. 1.

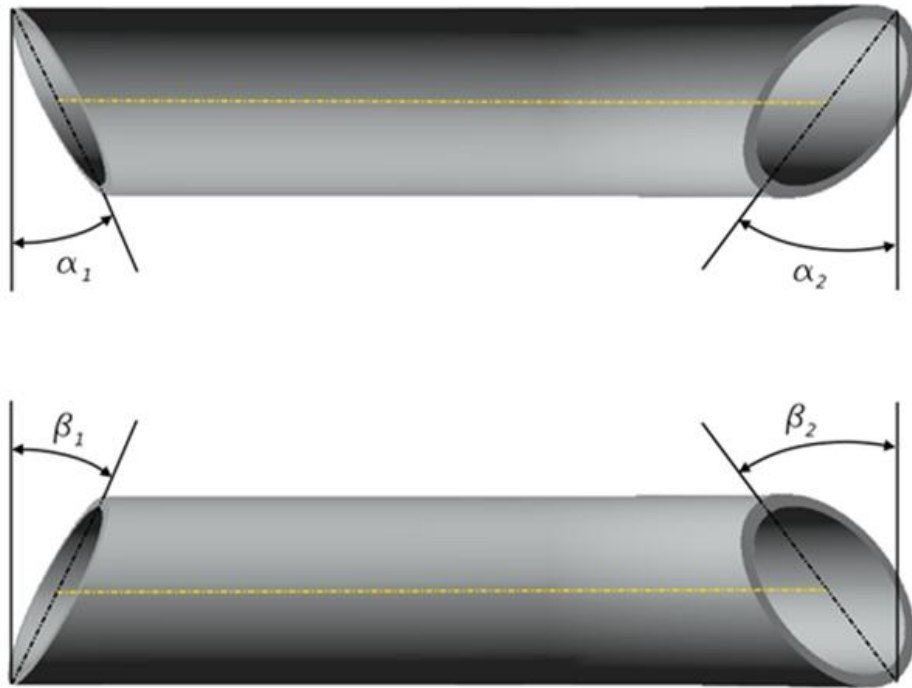


Рис. 1. Патрубок круглого сечения прямой формы с обработанными торцами:  
 $\alpha_1$  и  $\beta_1$  – углы скоса левого торца в двух плоскостях;  $\alpha_2$  и  $\beta_2$  – углы скоса правого торца в двух плоскостях.

Конфигурация патрубков круглого сечения изогнутой формы с обработанными торцами характеризуется геометрическими параметрами согласно рис. 2.

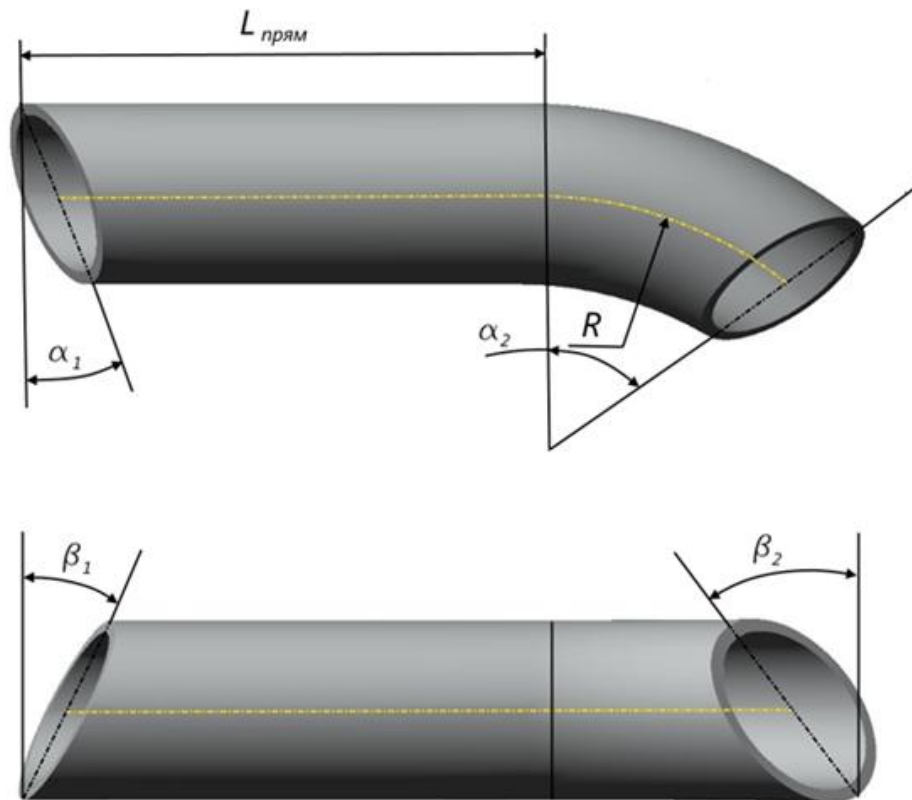


Рис. 2. Патрубок круглого сечения изогнутой формы с обработанными торцами:  
 $L_{\text{прям}}$  - длина прямого участка;  $R$  – радиусгиба;  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  – углы скоса левого торца в двух плоскостях;  $\alpha_2$  – уголгиба;  $\beta_2$  – углы скоса правого торца в одной плоскости.

Конфигурация участков трубопроводов круглого сечения, изогнутых в одной либо двух плоскостях с обработанными торцами, выполненных из цельноизогнутых трубных заготовок характеризуется геометрическими параметрами согласно рис. 3.

Для всех конфигураций патрубков и участков трубопроводов принимаем диаметр исходной заготовки -  $D_0$ .

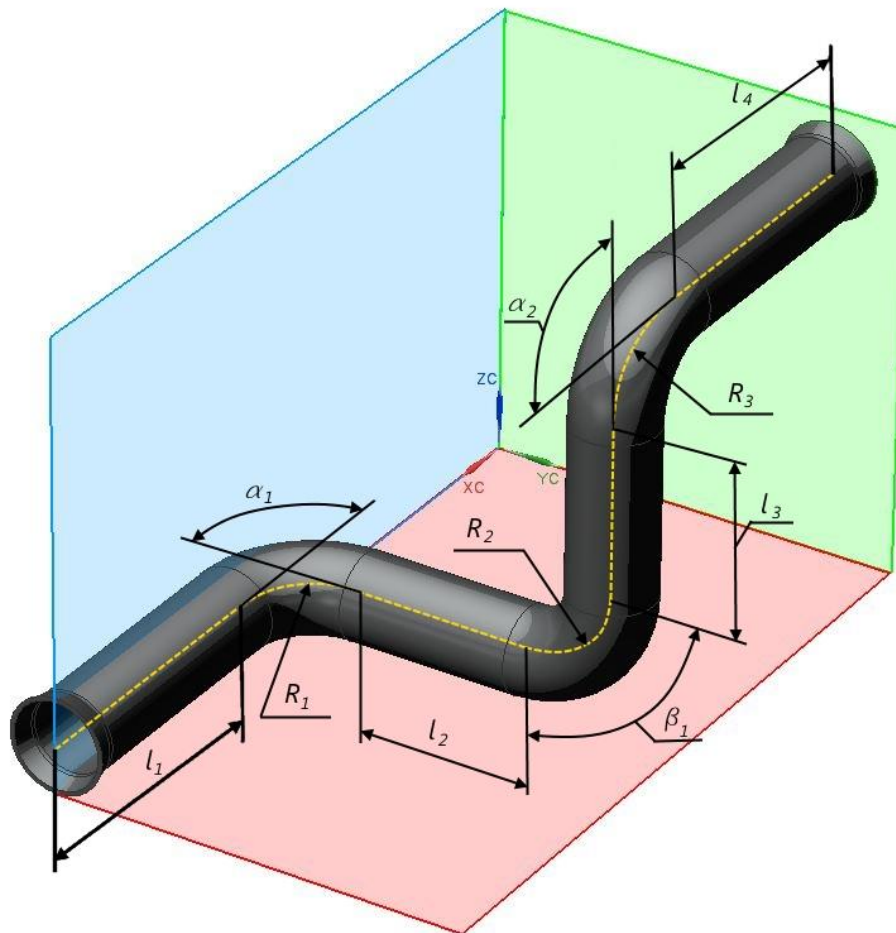


Рис. 3. Патрубок круглого сечения изогнутой формы с обработанными торцами:

$l_1 \dots l_4$  - длины прямых участков;  $R_1 \dots R_3$  – радиусыгиба;  $\alpha_1, \alpha_2 \dots$  – уголгиба заготовки в одной плоскости;  $\beta_1$  – уголгиба заготовки в другой плоскости.

К соединениям трубопроводов предъявляются очень высокие требования. Эти требования определяют, прежде всего, вид соединений трубопроводов и материал, которые выбирают в зависимости от рабочих параметров: давления, температуры, агрессивности рабочей жидкости и внешней среды, диаметра, толщины стенки трубы, необходимой точности стыковки трубопроводов при монтаже, числа циклов при эксплуатации, допустимой негерметичности [6]. Данные по соединениям могут



быть учтены при общей оценке технологичности магистралей трубопроводов в целом на этапе постановки на производство

### **Оценка технологичности**

Оценка технологичности производства патрубков и участков трубопроводов основывается на сравнении проектной конфигурации, которая учитывает все технологические операции производства трубопровода, с базовой конфигурацией трубной заготовки, учитывающей только прямые необработанные участки.

Любая технологическая операция с торцом трубы (развальцовка, зиговка, раскатка, дорнование) увеличивает общее время, требует дополнительного технологического оснащения для деформирования и нагрева, и, как следствие, снижает технологичность. В некоторых случаях торцы труб могут быть выполнены со скосами в разных плоскостях (рис. 1, 2), а в некоторых случаях могут иметь боковое отверстие в стенке трубы, полученной при помощи технологической операции «отбортовка».

Кроме того патрубки могут иметь изгиб в одной или нескольких плоскостях, что также требует специального трубогибочного оборудования, а некоторые патрубки производят методом гибки-раздачи на рогообразных сердечниках с индукционным нагревом, что также снижает технологичность производства.

Все эти, а также и другие технологические операции по производству патрубков и трубопроводов, а также формы самих патрубков и трубопроводов должны быть учтены при расчете показателя технологичности в виде отдельных коэффициентов сложности изготовления.

Перечислим конструкторско-технологические факторы, которые будут учтены при назначении коэффициентов сложности изготовления:

- количество прямых участков (характеризуется длиной прямого участка);
- количество углов скоса в одной плоскости (характеризуется углами скоса);
- количество углов скоса в двух плоскостях (характеризуется углами скоса во второй плоскости);
- количество угловгиба (характеризуется угламигиба в одной плоскости, а также отношением радиусагиба к диаметру трубной заготовки);
- количество углов поворота (характеризуется углами в другой плоскости, а также отношением радиусагиба к диаметру трубной заготовки);
- количество обработанных торцов (характеризуется коэффициентом обжима и раздачи, а также использованием пуансонов различного типа, применением дополнительной технологической операции нагрева);
- количество крутоизогнутых рогообразных участков (характеризуется углом изгиба и коэффициентом раздачи);
- количество отбортованных отверстий в стенке трубы с вытяжкой и без (характеризуется отношением диаметра трубной заготовки к диаметру отверстия).

Введем показатели конструкторско-технологических факторов, которые будут являться обобщающими для коэффициентов сложности изготовления изделий [7].

Фактор  $Y_0$  – фактор количества прямых участков (оценивает долю прямых участков в общей длине изделия);

$$Y_0 = \sum_{i=1}^{n_l} K_{li} \quad (1)$$

Здесь  $n_l$  – количество прямых участков,  $K_{li}$  – коэффициент, учитывающий длину прямого участка (таблица 1).

Таблица 1

Зависимость коэффициента  $K_{li}$  от длины прямого участка

Длина прямого участка, мм	0...50	50...100	100...250	250...400	400...700	700...1200	1200...
Коэффициент длины прямого участка $K_{li}$	0,8	1	1,1	1,25	1,4	1,6	2,0

Фактор  $Y_1$  - фактор угла скоса (оценивает долю операций обрезки в общем количестве технологических операций); изделие без отбортовок в стенке имеет два торца, следовательно:

$$Y_1 = \sum_{i=1}^2 K_{S1i} K_{S2i} \quad (2)$$

Здесь  $K_{S1i}$  – коэффициент, учитывающий угол скоса в одной плоскости,  $K_{S2i}$  – коэффициент, учитывающий угол скоса во второй плоскости (таблица 2).

Таблица 2

Зависимость коэффициентов  $K_{S1i}$ ,  $K_{S2i}$  от углов скоса

Угол скоса, град	0...5	5...25	25...45
Коэффициент угла скоса в одной плоскости $K_{S1i}$	1,0	1,15	1,25
Коэффициент угла скоса в второй плоскости $K_{S2i}$	1,05	1,1	1,15

Фактор  $Y_2$  – фактор количества гибов (оценивает долю гнутых участков в общей длине изделия);

$$Y_2 = \sum_{i=1}^{n_\alpha} K_{\alpha i} K_{\alpha R/Di} \quad (3)$$

Здесь  $n_\alpha$  – количество гнутых участков,  $K_{\alpha i}$  – коэффициент, учитывающий уголгиба участка (таблица 3),  $K_{\alpha R/Di}$  – коэффициент, учитывающий отношение радиусагиба трубы к ее диаметру (таблица 4).

Таблица 4

Зависимость коэффициентов  $K_{\alpha i}$  от углагиба

Уголгиба $\alpha$ , град.	0...25	25...40	40...60	60...90	90...120	120...180
Коэффициент углагиба $K_{\alpha i}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Таблица 5

Зависимость коэффициентов  $K_{\alpha R/Di}$  от отношения радиусагиба трубы к её диаметру

Отношение радиусагиба трубы к ее диаметру $R/D_0$	более 2,5	2,0...2,5	1,5...2,0	1,25...1,5	1,0...1,25	менее 1,0
Коэффициент, учитывающий отношение радиуса трубы к ее диаметру $K_{\alpha R/Di}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Фактор  $Y_3$  – фактор количества поворотов (оценивает долю гнутых участков в плоскости отличной от плоскостигиба в общей длине изделия);

$$Y_3 = \sum_{i=1}^{n_\beta} K_{\beta i} K_{\beta R/Di} \quad (4)$$

Здесь  $n_\beta$  – количество гнутых участков,  $K_{\beta i}$  – коэффициент, учитывающий угол поворота участка (таблица 6),  $K_{\beta R/Di}$  – коэффициент, учитывающий отношение радиуса поворота трубы к ее диаметру (таблица 7).

Таблица 6

Зависимость коэффициентов  $K_{\beta i}$  от угла гiba

Угол поворота $\beta$ , град.	0...25	25...40	40...60	60...90	90...120	120...180
Коэффициент поворота $K_{\beta i}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

Таблица 7

Зависимость коэффициентов  $K_{\beta R/Di}$  от отношения радиуса гiba трубы к её диаметру

Отношение радиуса поворота трубы к ее диаметру $R/D_0$	более 2,5	2,0...2,5	1,5...2,0	1,25...1,5	1,0...1,25	менее 1,0
Коэффициент, учитывающий отношение радиуса трубы к ее диаметру $K_{\beta R/Di}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

Фактор  $Y_4$  – фактор количества обработанных торцов (оценивает долю участков торцевания в общей длине изделия). Изделие без отбортовок в стенке имеет два торца, следовательно:

$$Y_4 = \sum_{i=1}^2 K_{T1i} K_{T2i} \quad (5)$$

Здесь  $K_{Ti}$  – коэффициент, учитывающий деформацию, т.е. отношение диаметра торцованного участка к диаметру трубной заготовки (таблица 8),  $K_{T2i}$  – коэффициент, учитывающий способы торцевания (таблица 9).

Таблица 8

Зависимость коэффициентов  $K_{Ti}$  от коэффициента деформации

Коэффициент деформации $D/D_0$	0,5...0,75	0,75...0,95	1,05...1,25	1,25...1,5	1,5...1,75	1,75...2
Коэффициент учитывающий деформацию $K_{Ti}$	1,5	1,15	1,05	1,15	1,25	1,5

Таблица 9

Зависимость коэффициентов  $K_{T2i}$  от способа обработки торцов

Способ обработки торцов	С использованием жестких пуансонов (без нагрева/с нагревом)	Ротационными способами (без нагрева/с нагревом)	Эластичными и эластосыпучими средами (без нагрева/с нагревом)
Коэффициент, учитывающий способы торцевания $K_{T2i}$	1,1/1,3	1,2/1,4	1,3/1,5

Фактор  $Y_5$  – фактор количества крутоизогнутых рогообразных участков (оценивает долю крутоизогнутых рогообразных участков в общей длине патрубка).

$$Y_5 = \sum_{i=1}^{n_\alpha} K_{\alpha i} K_{Ti} \quad (6)$$

Здесь  $n_\alpha$  – количество гнутых участков,  $K_{\alpha i}$  – коэффициент, учитывающий уголгиба участка (таблица 10),  $K_{Ti}$  – коэффициент, учитывающий деформацию патрубка (таблица 11). Данная технологическая операция предусматривает использование местного нагрева в обязательном порядке.

Таблица 10

Зависимость коэффициентов  $K_{\alpha i}$  от углагиба

Уголгиба $\alpha$ , град.	0...25	25...40	40...60	60...90	90...120	120...180
Коэффициент углагиба $K_{\alpha i}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Таблица 11

Зависимость коэффициентов  $K_{Ti}$  от коэффициента деформации

Коэффициент деформации $D/D_0$	1,05...1,25	1,25...1,5	1,5...1,75	1,75...2,0
Коэффициент учитывающий деформацию $K_{Ti}$	1,05	1,15	1,25	1,5

Фактор  $Y_6$  – фактор количества отбортованных отверстий в стенке трубы (оценивает долю отбортованных отверстий в общей длине патрубка).

$$Y_6 = \sum_{i=1}^{n_\alpha} Y_{6i} K_{Oi} \quad (7)$$

Здесь  $n_\alpha$  – количество отбортованных отверстий,  $K_{Oi}$  – коэффициент, учитывающий отношение диаметра отверстия к диаметру трубной заготовки (таблица 12). Данная технологическая операция предусматривает использование местного нагрева в обязательном порядке.

Таблица 12

Зависимость коэффициентов  $K_{Oi}$  от отношения диаметра отверстия к диаметру трубной заготовки

Отношение диаметра отверстия к диаметру трубной заготовки $D_{отв}/D_0$	0,1...0,25	0,25...0,5	0,5...0,75	0,75...1,0
Коэффициент отношения диаметра отверстия к диаметру трубной заготовки $K_{Oi}$ (с вытяжкой/без вытяжки)	1,05/1,1	1,1/1,2	1,3/1,4	1,4/1,5

Приведенные коэффициенты являются экспертными оценками и дают лишь приблизительную оценку уровня сложности производства того или иного элемента трубопровода и могут быть либо выше, либо ниже реального уровня, однако в процессе оценки сложных магистралей с большим количеством обработанных участков положительные и отрицательные отклонения суммируются и нивелируются. Таким образом, можно получить достаточно объективную оценку технологичности производства трубопровода и магистралей в целом.

Общая оценка технологичности участка трубопровода производится по формуле:

$$K = 1 - \frac{Y_1+Y_2+Y_3+Y_4+Y_5+Y_6}{Y_0+Y_1+Y_2+Y_3+Y_4+Y_5+Y_6} \quad (8)$$

Здесь  $K$  – коэффициент технологичности.

Данный вид формулы предложен для простоты и удобства оценки технологичности производства трубопроводов и их элементов. Чем ближе



коэффициент к единице, тем выше показатель технологичности. Похожий способ оценки применяется при расчете безразмерных коэффициентов эксплуатационной технологичности (доступность, легкоъемность, взаимозаменяемость, контролепригодность), и хорошо себя зарекомендовал при оценке эксплуатационной технологичности на ранних этапах проектирования летательных аппаратов и их систем.

### **Уровни технологичности трубопроводов**

Приведенные данные могут быть использованы как для оценки технологичности действующих магистралей, так и для сравнительной оценки проектных решений. В случае одинаковых значений показателей технологичности следует также оценивать работоспособность системы, распределение скоростей потоков по сечению магистралей, в местах отбортовок, изгибов, поворотов [6].

В случае оценки технологичности следует установить пороговое значение коэффициента технологичности (например – 0,5) ниже которого считать, что оцениваемый элемент имеет низкую технологичность, выше – высокую. Однако в производстве зачастую применяют понятие «уровень технологичности». В применении к трубопроводам разделяют четыре таких уровня. В связи с этим можно установить следующие диапазоны значений коэффициентов для оценки технологичности:

- первый (0,7...1,0) – высокий уровень технологичности;
- второй (0,40...0,69) – средний уровень технологичности;
- третий (0,20...0,39) – низкий уровень технологичности;

- четвертый (0,05...0,19) – крайне низкий уровень технологичности.

### Примеры оценки технологичности изготовления патрубков и участков трубопроводов

**Пример 1.** Проведем оценку технологичности патрубка, показанного на рис. 1

Геометрические характеристики патрубка:  $D_0 = 40$  мм,  $l_l = 1250$  мм, углы скоса с левого торца в двух плоскостях  $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\beta_l = 15^\circ$ , угол скоса с правого торца  $\alpha_1 = 25^\circ$ ,  $\beta_2 = 25^\circ$ . Тогда, подставляя коэффициенты сложности изготовления, взятые из таблиц 1 – 12 в формулы (1-7) получим следующие показатели факторов сложности:

$$Y_0 = 2,0;$$

$$Y_1 = 1 * 1,1 + 1,15 * 1,1 = 2,365;$$

$$Y_2 = 0;$$

$$Y_3 = 0;$$

$$Y_4 = 0;$$

$$Y_5 = 0;$$

$$Y_6 = 0.$$

Подставляем в итоговую формулу (8), получаем:

$$K = 1 - \frac{2,365 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0}{2,0 + 2,365 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0} = 0,46$$

Согласно приведенных данных данный патрубок имеет второй (средний) уровень технологичности.

**Пример 2.** Проведем оценку технологичности патрубка, показанного на рис. 2

Геометрические характеристики патрубка:  $D_0 = 40$  мм,  $l_1 = 1250$  мм, уголгиба  $\alpha_2 = 60^\circ$   $R = 60$  мм, углы скоса с левого торца в двух плоскостях  $\alpha_1 = 30^\circ$ ,  $\beta_1 = 15^\circ$ , угол скоса с правого торца  $\beta_2 = 25^\circ$ . Тогда, подставляя коэффициенты сложности изготовления, взятые из таблиц 1 – 12 в формулы (1-7) получим следующие показатели факторов сложности:

$$Y_0 = 2,0;$$

$$Y_1 = 1,25 * 1,1 + 1,25 = 2,625;$$

$$Y_2 = 1,3 * 1,2 = 1,56;$$

$$Y_3 = 0;$$

$$Y_4 = 0;$$

$$Y_5 = 0;$$

$$Y_6 = 0.$$

Подставляем в итоговую формулу (8), получаем:

$$K = 1 - \frac{2,625 + 1,56 + 0 + 0 + 0 + 0}{2,0 + 2,625 + 1,56 + 0 + 0 + 0 + 0} = 0,32$$

Согласно приведенных данных данный патрубок имеет третий (низкий) уровень технологичности, что и не удивительно, так как для его изготовления потребовалась (по сравнению с первым патрубком) дополнительная технологическая операциягиба, что усложнило его конструкцию и снизило показатель технологичности.

**Пример 3.** Проведем оценку технологичности участка трубопровода, показанного на рис. 3. Геометрические характеристики трубопровода следующие:  $D_0 = 25$  мм,  $l_1 = 500$  мм,  $l_2 = 750$  мм,  $l_3 = 1250$  мм,  $l_4 = 800$  мм. Имеются два участка

гиба с углом гиба  $\alpha = 90^{\circ}$   $R = 60$  мм, один участок поворота с углом поворота  $\beta = 90^{\circ}$ ,  $R = 80$  мм. Имеются два торцованных участка, с диаметром  $D = 30$  мм, полученным методом раздачи по жестким пуансонам без нагрева. Тогда, подставляя коэффициенты сложности изготовления, взятые из таблиц 1 – 12 в формулы (1-7) получим следующие показатели факторов сложности:

$$Y_0 = 1,4 + 1,6 + 2,0 + 1,6 = 6,6;$$

$$Y_1 = 0;$$

$$Y_2 = 1,3 * 1,1 + 1,3 * 1,1 = 2,86;$$

$$Y_3 = 1,4 * 1,1 = 1,54;$$

$$Y_4 = 1,05 * 1,1 + 1,05 * 1,1 = 2,31;$$

$$Y_5 = 0;$$

$$Y_6 = 0.$$

Подставляем в итоговую формулу (8), получаем:

$$K = 1 - \frac{0 + 2,86 + 1,54 + 2,31 + 0 + 0}{6,6 + 0 + 2,86 + 1,54 + 2,31 + 0 + 0} = 0,49.$$

Согласно приведенных данных данный патрубок имеет второй (средний) уровень технологичности. Если исключить из этого ряда операцию торцевания, то получим  $K = 0,6$ .

### **Заключение**

Для авиационных конструкций и систем требования производственной технологичности могут противоречить требованиям к показателям работоспособности системы. Трубопровод с низкими показателями

производственной технологичности может быть более долговечным, безотказным и живучим [8]. Однако стоимость производства подобного рода изделий чрезвычайно высока и может быть обоснована в отдельных случаях при производстве изделий ракетно-космической, военной техники. Когда речь идет о серийном производстве изделий гражданской авиационной техники повышение показателей технологичности производства становится весьма актуальным, поскольку повышает эффективность производства за счет снижения трудоемкости, применения наиболее рациональных, отработанных технологических процессов.

### **Библиографический список**

1. Гидрогазовые системы летательных аппаратов / Б. Н. Марьин, Ю.Л. Иванов, К.А. Макаров, С.И. Феоктистов, В.И. Шпорт, А.Г. Прохоров, Д. Г. Колыхалов, С.В. Белых / Под ред. Б.Н. Марьина. – Владивосток, Дальнаука, 2006. – 459 с.
2. Бобарика И.О., Демидов А.И. Совершенствование всасывающих линий гидросистем с учетом кавитации // Труды МАИ, 2016, №85: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=65646>
3. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия/ В.В. Бакаев, Е.В. Судов, В.А. Гомозов, В.Ю. Иванов, С.Н. Кольцов, Е.И. Кураленя, А.И. Левин, Б.Н. Марьин, А.М. Нахимович, А.В. Петров, А.А. Сафонов, С.Г. Черкасов, А.И. Яцкевич / Под ред. В.В. Бакаева. - М.: Машиностроение-1, 2005. - 624 с.
4. Феоктистов С.И., Марьин Б.Н., Марьин С.Б., Колыхалов Д.Г. Теория и практика изготовления элементов трубопроводов летательных аппаратов. –

Комсомольск–на–Амуре, КНАГТУ, 2013. - 92 с.

5. Астапов В.Ю., Хорошко Л.Л., Афшари П., Хорошко А.Л. САПР при моделировании режимов технологических процессов производства элементов конструкций летательных аппаратов // Труды МАИ, 2016, № 87: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=69638>

6. Кузнецов Е.А., Сысоев О.Е., Колыхалов Д.Г. Прогнозирование предельных состояний трубопроводов высокого давления гидрогазовых систем на этапе ввода в эксплуатацию // Труды МАИ, 2016, № 88 <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=70409>

7. Одинцова С.А. Исследование безразмерного критерия оценки весовой эффективности конструкций силовых шпангоутов // Труды МАИ, 2016, № 85: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=65597>

8. Марьин Б.Н., Феоктистов С.И., Колыхалов Д.Г., Куриный В.В., Иванов И.Н. Исследование совмещенных процессов при изготовлении деталей летательных аппаратов // Ученые записки КНАГТУ. 2016. Т.1. № 2 (26). – С. 34-41.