

Влияние конструктивно-технологических параметров планера самолета на его стоимость

Стрелец М.Ю., Попик В.Н., Прусаков А.И.,
Басманова А.О., Комиссаров А.А.

Аннотация

В статье рассматривается влияние выбора конструктивно-технологического исполнения планера самолета на его стоимость. Приводится формула, позволяющая провести сравнение стоимости различных конструктивно-технологических вариантов исполнения планера, варьируемых по следующим параметрам: массовая доля в конструкции различных типов материалов, процентное соотношение деталей и сборочных единиц, изготовленных различными типами производства.

Ключевые слова

стоимость; исполнение; параметры

В условиях рыночной экономики выбор конструктором того или иного варианта конструктивно-технологического исполнения планера самолета должен определяться не только его весовыми характеристиками, при условии выполнения всех остальных требований ТТЗ, но и стоимостью его изготовления. Для проведения необходимого анализа различных вариантов исполнения у конструктора под рукой всегда должен быть удобный аналитический аппарат, позволяющий установить функциональные зависимости между стоимостью конструкции и ее конструктивно-технологическим исполнением. На ранних стадиях проектирования при формировании облика нового самолета при составлении технико-экономического обоснования принимается, что стоимость самолета пропорциональна его размерности и зависит от его геометрических (или весовых параметров). Однако, для сравнения различных вариантов конструкции зависимости стоимости от размерности самолета явно недостаточно.

Анализ статистической информации по стоимости самолетов тактической авиации позволил выявить четыре основных фактора, после веса конструкции, оказывающих максимальное влияние на стоимость планера. К этим параметрам относятся:

1. Массовая доля применения различных марок материалов в конструкции планера самолета.
2. Соотношение массовых долей деталей, изготовленных механообрабатывающим производством и штампо-заготовительным.

3. Доля сварных соединений в конструкции планера.
4. Доля герметичных соединений

Сравнения различных исполнений агрегатов будем проводить по критерию, который назовем удельной относительной стоимостью конструкции планера \bar{C} , характеризующим отношение стоимости 1 кг анализируемой конструкции к 1 кг «типовой». В качестве «типовой» конструкции определим авиационную конструкцию, на 100% выполненную из алюминиевых сплавов, все детали которой получены методами механообрабатывающего производства (а не штампо-заготовительного), собранного без использования сварки и герметизации соединений.

Тогда формула для расчета удельной относительной стоимости анализируемой конструкции будет выглядеть следующим образом:

$$\bar{C} = (0,44 \cdot \bar{m}_{Al} \cdot (1 + 1,1\bar{m}_{\text{фрез}_{Al}}) + 0,36 \cdot \bar{m}_{\text{сталь}} (1 + 1,75\bar{m}_{\text{фрез}_{\text{сталь}}}) + 0,37 \cdot \bar{m}_{Ti} (1 + 4,4\bar{m}_{\text{фрез}_{Ti}})) + 0,94\bar{m}_{KM} - 0,05 \cdot \bar{l}_{CB} + 0,04 \cdot \bar{V}_{\text{герм}} + 0,08 \quad (1)$$

где

$\bar{m}_{Al}, \bar{m}_{Ti}, \bar{m}_{\text{сталь}}, \bar{m}_{KM}$ - массовая доля материала (алюминиевых сплавов, титановых сплавов, сталей и композиционных материалов соответственно) в конструкции планера самолета, которая определяется по формуле

$$\bar{m}_i = \frac{m_i}{m_{\text{констр}}} \quad (2)$$

$\bar{m}_{\text{фрез}_i}$ - относительная масса деталей, выполненных механообрабатывающим производством из i -го материала, отнесенная к общей массе деталей, изготовленных из i -го материала

$$\bar{m}_{\text{фрез}_i} = \frac{m_{\text{фрез}_i}}{m_i} \quad (3)$$

\bar{l}_{CB} - относительная протяженность сварных швов показывает отношение длины сварных швов l_{CB} к общей длине всех швов L в агрегате и определяется по формуле:

$$\bar{l}_{CB} = \frac{l_{CB}}{L} \quad (4)$$

$\bar{V}_{\text{герм}}$ - относительный объем герметичных отсеков (топливных баков, кабины пилота) - это отношение объема герметичных отсеков в агрегате планера $V_{\text{герм}}$ к общему объему агрегата V , характеризующее долю герметичных соединений в конструкции планера самолета, которое определяется по формуле:

$$\bar{V}_{герм} = \frac{V_{герм}}{V} \quad (5)$$

Коэффициенты пропорциональности, определяющие влияние того или иного параметра на относительную удельную стоимость агрегата выведены на базе статистического материала по самолетам тактической авиации разработки ОАО «ОКБ Сухого» и характеризуют сегодняшний уровень производственных возможностей и экономических показателей серийных заводов.

Проведем экспресс-анализ приведенной функциональной зависимости.

На рис. 1 представлено влияние массовой доли различных типов материалов на стоимость агрегата. Как видно из графика, наибольшее рост стоимости наблюдается при увеличении в конструкции доли титановых сплавов, что объясняется двумя факторами:

1. Более высокой ценой титановых сплавов по сравнению с алюминиевыми.
2. Большим машинным временем обработки деталей из титановых сплавов.

Стоит отметить также тот факт, что увеличение в конструкции доли деталей из композиционных материалов, не смотря на их высокую стоимость, не приводит к существенному увеличению стоимости конструкции в связи с высоким КИМ деталей, изготовленных из ПКМ.

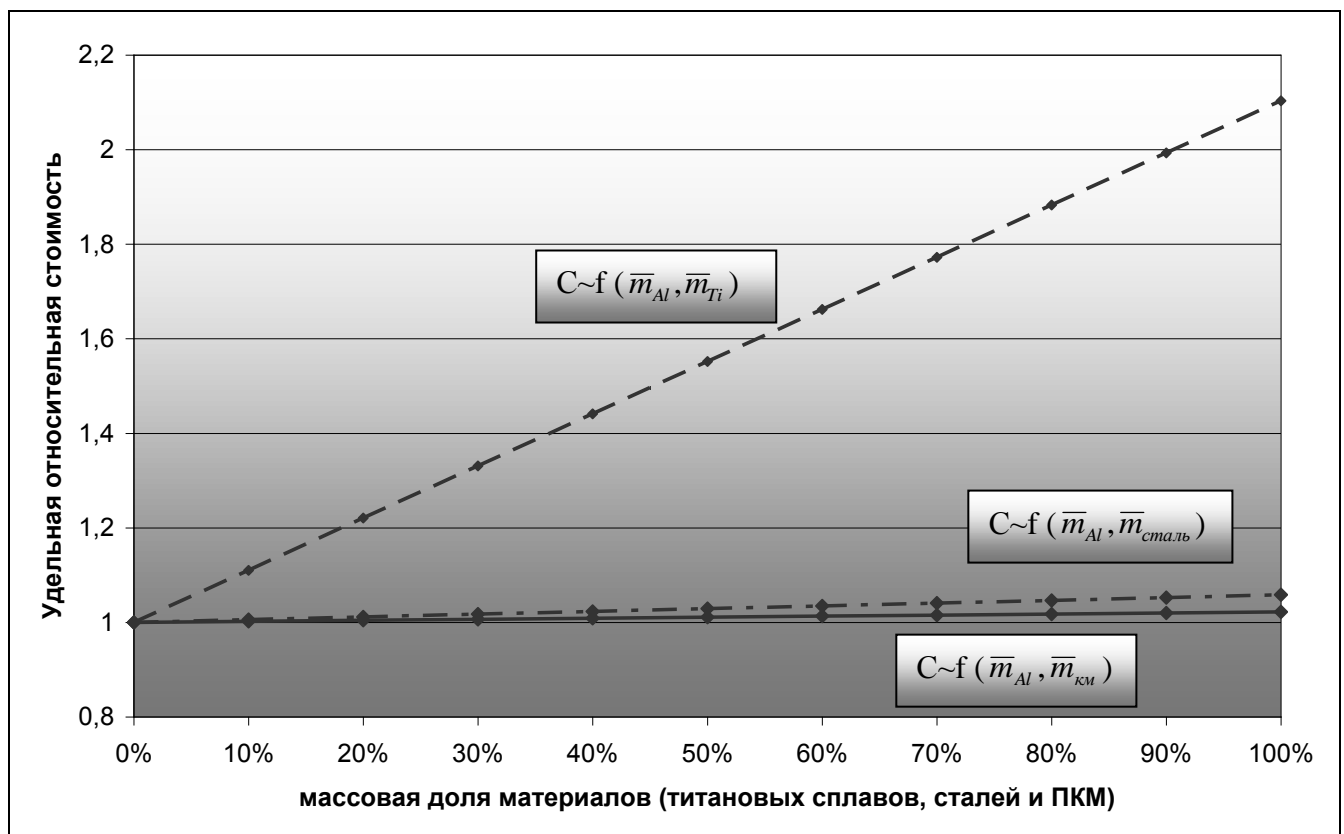


Рис. 1. График изменения стоимости конструкции в зависимости от массовой доли различных материалов.

На рис. 2 представлена зависимость, иллюстрирующая влияние доли деталей механообрабатывающего производства на стоимость конструкции. Как наглядно видно из графика, при использовании в конструкции самолета деталей, изготовленных из стандартных полуфабрикатов (профилей, листов), стоимость изготовления планера самолета значительно снижается, особенно сильная экономия видна при использовании титановых сварных конструкций из листовых материалов.

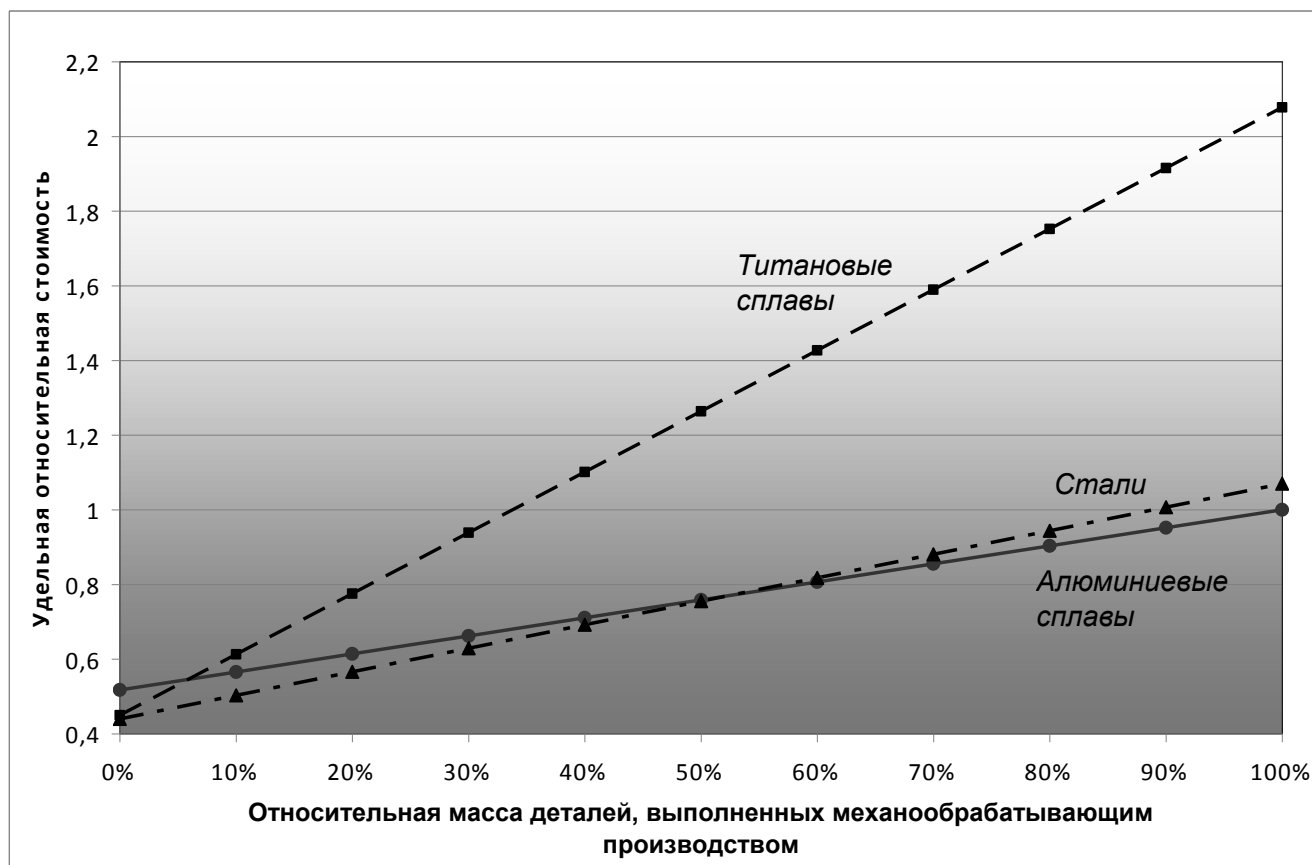


Рис. 2. График изменения удельной относительной стоимости конструкции в зависимости от относительной массы деталей, выполненных механообрабатывающим производством.

На рис. 3 представлена зависимость, показывающая влияние увеличения доли сварных швов в конструкции самолета на стоимость самолета. Зависимость дает четкое представление, что увеличения числа сварных соединений может снизить стоимость изделия, хотя и не на очень большую величину.

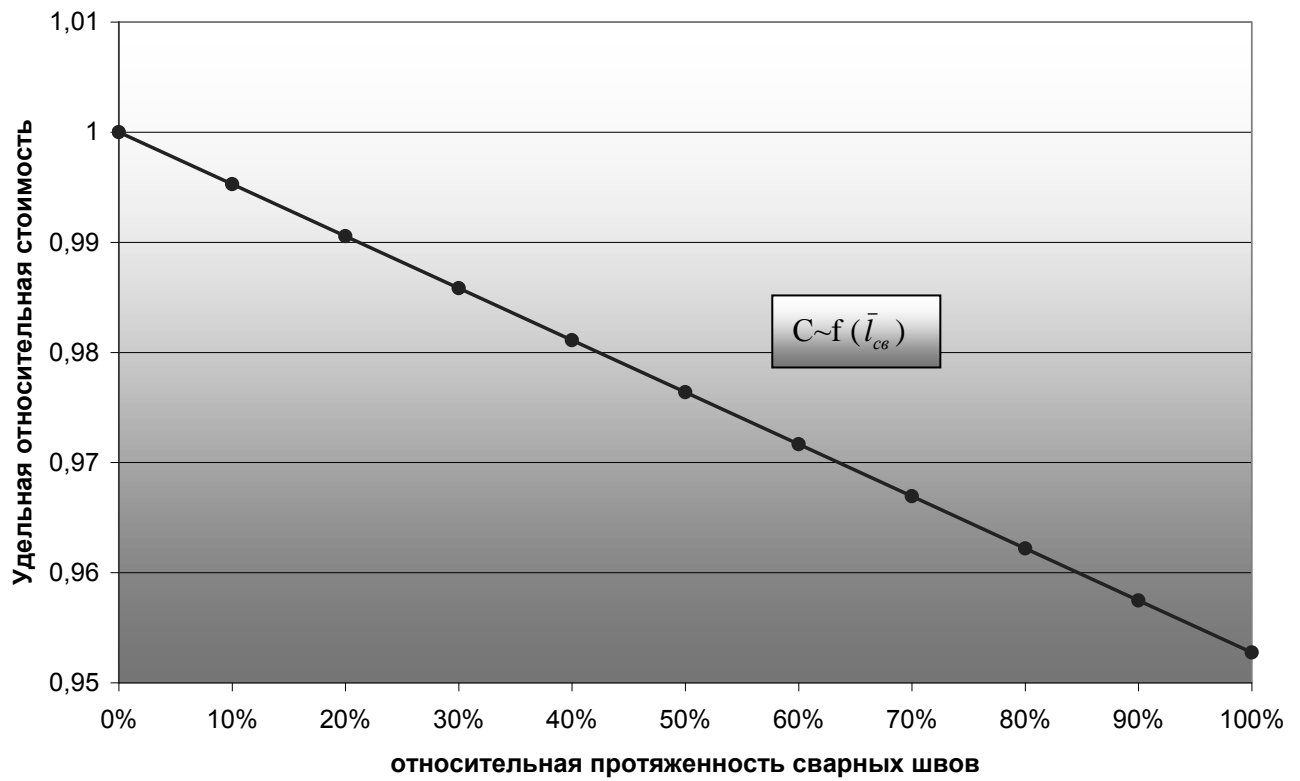


Рис. 3 График изменения стоимости конструкции в зависимости от относительной протяженности сварных швов

На рис.4 представлено влияние герметизации соединений на стоимость изготовления планера самолета. Видно, что герметичные агрегаты имеют на 4% большую стоимость, чем агрегаты, соединения которых не герметизировались.

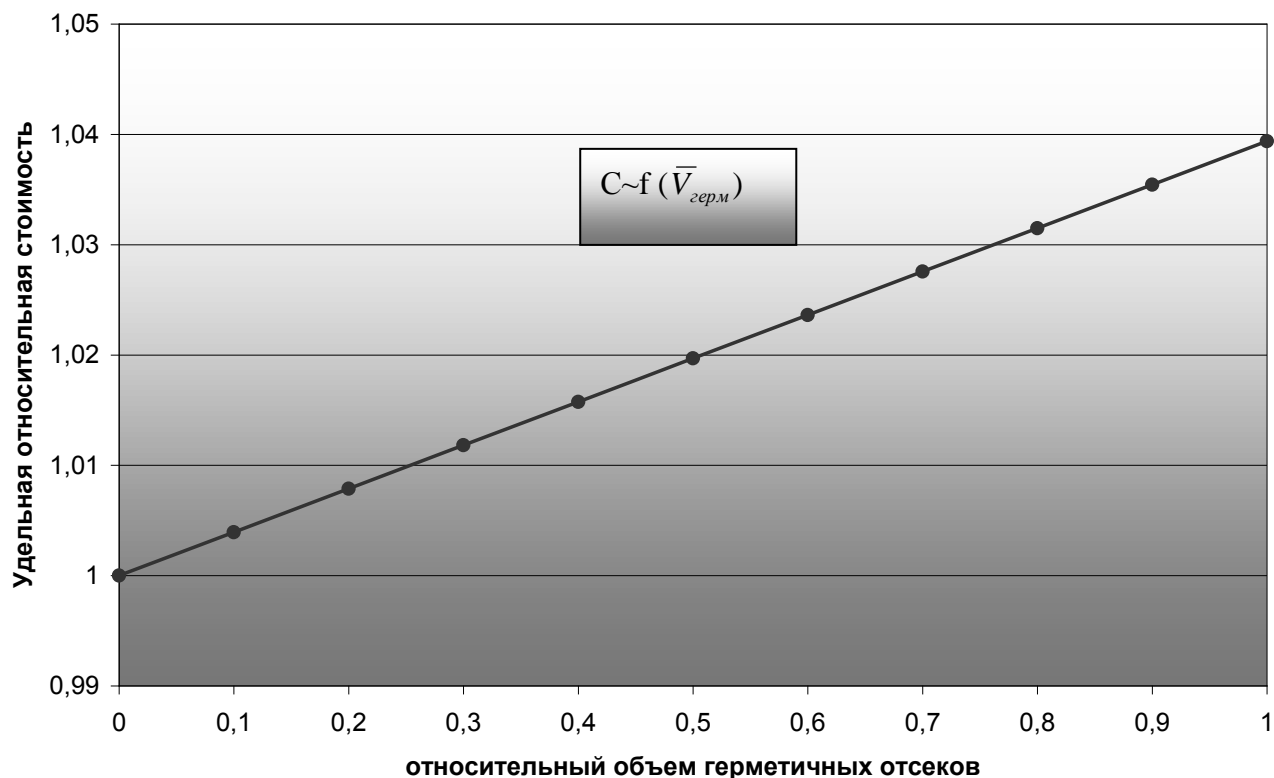


Рис. 4. График изменения стоимости конструкции в зависимости от относительного объема герметичных отсеков

В результате исследования полученной функциональной зависимости можно сделать следующие основные выводы:

1. Стоимость изготовления одного и того же планера самолета в зависимости от его конструкции и его конструктивно-технологического исполнения может отличаться в 5 раз.
2. Наибольшую стоимость имеют агрегаты, собранные из титановых деталей механообрабатывающего производства.
3. Наиболее эффективными мероприятиями по снижению стоимости конструкции являются:
 - a. Уменьшение доли титановых сплавов в конструкции планера самолета.
 - b. Увеличение доли деталей штампо-заготовительного производства, выполненных из стандартных полуфабрикатов – профилей и листов.

Библиографический список

1. Нормативы времени и режимы резания на механическую обработку деталей на станках типа "обрабатывающий центр", - Москва, 1986г.
2. Нормативы времени на вспомогательные работы, обслуживание рабочего меча и подготовительно-заключительные работы, - Москва, 1984г.
3. Нормативы времени на раскройные, штамповочные и доводочные работы при изготовлении деталей из листовых материалов для серийного производства.
4. Общемашиностроительные нормативы времени на гальванические покрытия и механическую подготовку поверхностей до и после покрытия, - Москва, 1968г.
5. Общемашиностроительные нормативы времени на холодную штамповку, резку, высадку и обрезку, - Москва, 1987г.
6. Руководство по нормированию труда в авиационной промышленности. Методика нормирования термических работ, - Министерство авиационной промышленности. 1980г.
7. Руководство по нормированию труда в авиационной промышленности. Методика нормирования кузнечно-штамповочных работ, - Министерство авиационной промышленности, 1981г.
8. Руководство по нормированию труда в авиационной промышленности. Методика нормирования заготовительно-штамповочных работ, - Министерство авиационной промышленности, 1976г.
9. Нормативы времени на механическую обработку крупногабаритных деталей (панели, шпангоуты, лонжероны), - НИАТ, 1963г.
10. Нормативы времени на слесарно-сборочные работы в слесарно-сборочных и слесарно-сварочных цехах при изготовлении летательных аппаратов, - НИАТ, 1970г.
11. Нормативы времени на слесарно-медницкие и сварочные работы при изготовлении деталей двигателей в условиях опытного производства, - НИАТ, 1983г.
12. Нормативы времени на узловую и агрегатную сборку, - НИАТ, 1983г.
13. Общемашиностроительные нормативы времени на электродуговую сварку сталей и цветных сплавов, - 1964г.
14. Нормативы времени на сборочно-сварочные работы, - НИАТ, 1973г.
15. Нормативы времени на верстачную сборку и подготовку к монтажу электрожгутов и приборных досок, - НИАТ, 1983г.
16. Нормативы времени на электромонтажные работы, - НИАТ, 1973г.
17. Нормативы времени на опытное производство ОКБ Сухого.
18. Нормативы времени на узловую агрегатную сборку ЛА и изделий, - НИАТ, 1973г.

19. Нормативы времени на монтаж систем управления и гидравлических систем ЛА, - НИАТ, 1983г.
20. Нормативы времени на АрДЭС, - НИАТ, 1979г.
21. Нормативы времени на слесарно-сборочные работы в слесарно-сборочных и слесарносварочных цехах при изготовлении ЛА, - НИАТ, 1970г.
22. Нормативы времени на гибку трубопровода на станках с ЧПУ и на гидравлическом трубогибе, - НИАТ, 1992г.
23. Нормативы времени на изготовление и гибку трубопроводов, - НИАТ, 1986г.
24. Общемашиностроительные нормативы времени на гальванические покрытия и механическую подготовку поверхностей до и после покрытия, - Центральное бюро нормативов по труду при всесоюзном научно-методическом центре по организации труда и управления производством, 1968г.
25. Руководство по нормированию труда в авиационной промышленности. Методика нормирования термических работ. Выпуск 6, - Министерство Авиационной Промышленности СССР 1980г.
26. Руководство по нормированию труда в авиационной промышленности. Методика нормирования кузнечно-штамповочных работ. Выпуск 7, - Министерство Авиационной Промышленности СССР, 1981г.
27. Руководство по нормированию труда в авиационной промышленности. Методика нормирования заготовительно-штамповочных работ. Выпуск 9, - Министерство Авиационной Промышленности СССР, 1976г.
28. Общемашиностроительные нормативы времени. На холодную штамповку, резку, высадку и обрезку, - Центральное бюро нормативов по труду при всесоюзном научно-методическом центре по организации труда и управления производством, 1987г.
29. ОСТ 1.42058-80. Механическая обработка нежестких деталей.
30. ОСТ 1.42096-81. Технологичность конструкций деталей, обрабатываемых на фрезерных станках с ЧПУ. Правила обработки на технологичность и оценки уровня технологичности.
31. ОСТ 1.41831-79. Механическая обработка вафельных панелей из сплава АК4-1ч на станках с ЧПУ. Типовой технологический процесс.
32. ОСТ 1 03841-76. Заделка механическая шариковых, роликовых и шарнирных подшипников. Типы, основные размеры и технические требования.
33. ПИ 1.4.2061-2000. Механическая обработка крупногабаритных деталей из титановых сплавов по критерию снижения коробления и повышения точности.
34. СТП 671-124-2007. Материалы и полуфабрикаты металлические. Конструктивные элементы. Сварка. Пайка. Поверхностное упрочнение. Перечень-ограничитель.

35. ПИ 1.4.890-2004. Подготовка поверхности металлов и сплавов под контактную и дуговую сварку.
36. ДТМ №1.4.3340.Т-50.002.001. Сварка и термообработка круговых шпангоутов в отсеке двигателя ХЧФ из титанового сплава BT23 изделия Т-50.
37. Комплект документов на директивный технологический процесс электронно-лучевой сварки лонжерона 50.2021.0.220.901/902.
38. Комплект документов типового специального технологического процесса поверхностной герметизации герметиками У30МЭС-5М и УТ-32НТ.
39. Проектный технологический процесс. Сборка отсека топливного (шп.18-23).
40. СТП 07509416.05.109-2003. Сверление.
41. СТП 07509416.05.048-2003. Развертка отверстий.
42. СТП 07509416.05.068-2005. Клепка.
43. СТП 07509416.05.118-2006. Постановка болтов.
44. СТП 07509416.05.099-2005. Установка болт-заклепок.
45. СТП 07509416.05.075-2006. Установка замков.
46. СТП 07509416.05.122-2003. Зенковка отверстий.
47. СТП 07509416.05.124-2003. Снятие заусенцев зенкером.
48. СТП 07509416.05.123-2003. Снятие фаски зенкером.
49. СТП 07509416.05.030-2004. Стопорение.
50. СТП 07509416.05.076-2005. Установка гаек самоконтрящихся.
51. СТП 07509416.05.117-2004. Герметизация внутришовная.
52. СТП 07509416.05.074-2006. Установка крышки люка на монолитную панель.
53. 07509416.25288.00793. Технологическая инструкция. Выполнение болтовых соединений с натягом.
54. 07509416.25088.00727. Технологическая инструкция. Выполнение и контроль болтовых соединений.
55. Директивные технологические материалы по металлургическому производству для изготовления изд. "10В". - НИАТ, 1989г.
56. Директивные технологические материалы по сварочному производству для изготовления изд. "Т10В". Книга 3. - НИАТ, 1989г.
57. Директивные технологические материалы по заготовительно-штамповочному производству и производству деталей из неметаллических материалов изд. "10В". Книга 4. - НИАТ, 1989г.
58. Директивные технологические материалы по механообрабатывающему производству изд. "10В". Книга 5. Часть 1, 2. - НИАТ, 1989г.

Сведения об авторах

Стрелец Михаил Юрьевич, Главный конструктор проектно-исследовательского научного центра ОАО «ОКБ Сухого», 8 (495) 791-45-83, e-mail: ОКВ@Sukhoi.org

Попик Виктор Николаевич, начальник бригады ОАО «ОКБ Сухого», тел: 8 (495) 711-96-29, e-mail: viktorpopik@yandex.ru

Прусаков Алексей Игоревич, ведущий конструктор ОАО «ОКБ Сухого», e-mail: Prusakov_a@mail.ru

Басманова Анна Олеговна, инженер-конструктор , ОАО «ОКБ Сухого», тел.: 8 (49640) 4-15-24, e-mail: anna-basmanova@mail.ru.

Комиссаров Артем Александрович, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета), тел.: 8-916-055-62-04; e-mail: artkomissarov@pochta.ru.