

А. В. Кукса^{1✉}, Е. А. Усанькова¹

Конструкторско-технологическая оптимизация как инновационный подход к процессу производства

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: anyuta.kuksa2003@mail.ru

Аннотация. Объектом исследования является процесс изготовления авиационной детали. Предмет исследования – методы и результаты оптимизации конструкции и технологии изготовления авиационной детали. Цель работы – определить основные подходы и методы усовершенствования выпускаемой авиационной продукции, провести анализ традиционных подходов к проектированию и изготовлению авиационных узлов, выявить их преимущества и недостатки. Обосновано, что в условиях высокой наукоемкости отрасли и ужесточения требований к качеству, наиболее эффективным методом повышения производственной эффективности является сокращение количества входящих элементов конструкции за счет перехода к интегральным (монокристаллическим) решениям. Показано, что данный подход обеспечивает снижение трудоемкости, повышение качества продукции, сокращение производственного цикла и улучшение экономических показателей производства.

Ключевые слова: конструкторско-технологическая оптимизация, авиационная промышленность, оптимизация производства, интегральные конструкции

A. V. Kuksa^{1✉}, E. A. Usankova¹

Design and technological optimization as an innovative approach to the production process

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: anyuta.kuksa2003@mail.ru

Abstract. The object of the study is the manufacturing process of an aircraft component. The subject of the study is the methods and results of optimizing the design and manufacturing technology of an aircraft component. The goal of the work is to identify the main approaches and methods for improving manufactured aircraft products, analyze traditional approaches to the design and manufacture of aircraft components, and identify their advantages and disadvantages. It has been substantiated that, given the industry's high research intensity and increasingly stringent quality requirements, the most effective method for improving production efficiency is reducing the number of input design elements by transitioning to integrated (monolithic) solutions. This approach has been shown to reduce labor intensity, improve product quality, shorten the production cycle, and improve economic performance.

Keywords: design and technological optimization, aviation industry, production optimization, integrated designs

Введение

Снижение себестоимости и сокращение сроков технологической подготовки производства (ТПП) изделий напрямую зависят от эффективности кон-

структурско-технологической оптимизации (КТО). Быстрая сменяемость модификаций и жесткие требования к эксплуатационным характеристикам деталей делают традиционное проектирование менее эффективным. Это предопределяет необходимость внедрения интегрированного подхода, обеспечивающего совершенствование геометрических и прочностных параметров конструкций, и технологий их изготовления.

Практическая реализация КТО базируется на принципах системного анализа, взаимодействия и применения сквозных цифровых технологий, включая методы численного моделирования и алгоритмы многокритериального поиска. Такой подход обеспечивает повышение коэффициента использования материала (КИМ), снижение материалоемкости и трудоемкости производства и повышение технологичности конструкций без ухудшения их эксплуатационных характеристик.

Авиастроение является наукоемкой и высокотехнологичной отраслью, которая функционирует в условиях жестких стандартов безопасности и глобальной конкуренции. Современные вызовы авиационной индустрии требуют минимизации временных и материальных затрат при одновременном повышении надежности, долговечности и ресурса авиационной техники. В связи с этим оптимизация конструктивно-технологических решений становится доминирующим вектором обеспечения устойчивого развития отрасли.

Целью исследования является научно-практическое обоснование метода оптимизации конструкции и технологических параметров изготовления детали авиационного назначения для повышения КИМ, сокращения цикла механической обработки и обеспечения нормативных эксплуатационных характеристик изделия.

Методы и материалы

Традиционная оптимизация в авиастроении направлена на совершенствование механической обработки: минимизацию припусков и подбор рациональных режимов резания. Это, безусловно, позволяет сократить машинное время и улучшить свойства поверхностного слоя детали. Однако классическое проектирование, основанное на испытаниях физических моделей, экономически неэффективно [1]. Это обуславливает необходимость активного внедрения методов, учитывающих современные производственные технологии, включая процессы сборки [2]. Актуальной задачей является разработка метода, позволяющего оптимизировать процесс проектирования изделий на ранних стадиях.

Локальная оптимизация режимов резания не решает системных проблем многокомпонентных конструкций. Сборные детали увеличивают производственный цикл, массу изделия и риск ошибок оператора. Решением этой проблемы является переход от сборных узлов к монолитным деталям и интегральным конструкциям, что исключает трудоемкие операции сборки [3].

Результаты

Сопряженное проектирование и КТО позволяют сократить сроки научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и снизить себестоимость изготавливаемой техники [4, 6].

В основе КТО лежит применение принципов DFM (проектирование для производства) и DFA (проектирование для сборки). Это предполагает переход от многокомпонентности к монолитности деталей, что позволяет снизить конструктивную сложность изделия и исключить сборочные операции из технологического маршрута. Эффективность монолитных конструкций подтверждается следующими факторами:

1. Снижение трудоемкости за счет исключения заготовительно-сборочных переходов.
2. Сокращение производственного цикла благодаря уменьшению количества технологических операций.
3. Повышение надежности из-за ликвидации зон стыка и нахлеста – потенциальных источников трещин, коррозии и дефектов швов.

В отличие от локальной оптимизации режимов обработки или внедрения контроля качества, КТО дает системный эффект на всех этапах ТПП, снижая затраты на исправление брака. Для авиастроения переход к интегральным конструкциям является одним из важных условий обеспечения конкурентоспособности производства [5].

Обсуждение

Эффективность производства авиационных деталей определяется оптимизацией архитектуры изделия. Классические методы оптимизации (например, концепции процессного управления К. Б. Герасимова) сфокусированы на локальных организационных задачах, не уточняя конструктивную сложность узлов. Внедрение цифрового моделирования и аддитивных технологий повышает точность формообразования (С. С. Клименков, В. В. Рубаник), но многокомпонентная структура изделия ограничивает их потенциал. Согласно мнению А. С. Шапикна, передовые методы проектирования ускоряют производственный цикл [7]. Однако стандартные CAD/CAM-системы, по оценке Е. И. Яблочникова, решают только задачи параметрической оптимизации, не меняя конструктивно-технологическую схему.

Решением проблемы является переход к интегральным конструкциям на принципах DFM/DFA. Сокращение номенклатуры деталей исключает сборочные операции, которые, по мнению В. И. Бехметьева, создают наибольшую трудоемкость и погрешности. Внедрение таких инноваций требует системного управления ТПП [8]. При этом методы обеспечения качества, такие как анализ видов и последствий отказов (FMEA) и статистическое управление процессами (SPC), лишь снижают брак при сборке, но не устраняют первопричину дефектов – избыточное количество соединений [9].

Заключение

Проведенный анализ показывает, что существующие методы оптимизации производства деталей самолетов не решают ключевых проблем, связанных со сложностью конструкции изделия. Конструкторско-технологическая оптимизация представляет собой инновационный подход, позволяющий внедрять и модер-

низировать процессы проектирования и производства. Наиболее эффективным способом такой оптимизации является сокращение числа входящих элементов конструкции. Переход к более упрощенным сборочным конструкциям снижает трудозатраты и издержки, повышает качество и надежность, сокращает жизненный цикл и увеличивает конкурентоспособность продукции.

Таким образом, минимизация числа входящих элементов и переход к монолитным конструкциям следует рассматривать как приоритетное направление в развитии современного авиастроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сарымсаков Х. Г., Султанов Н. З. Системы автоматизированного проектирования самолета. М., – 1985. – 50 с.
2. Мантусов М. Н., Ривин Г.Л. Оптимизация конструкторско-технологического проектирования авиационных конструкций с использованием информационных технологий : статья. – Самара. : Известия Самарского научного центра РАН, 2011. – 410 с.
3. Бойцов Б. В. Автоматизация технологических процессов в авиастроении / Б. В. Бойцов. – М. : Машиностроение, 2019. – 296 с.
4. Арепьев Ю. И. Организация и управление авиационным производством / Ю. И. Арепьев. – М. : Инфра-М, 2021. – 428 с.
5. Портер М. Конкурентное преимущество : Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость / М. Портер. – М. : Альпина Паблишер, 2021. – 715 с.
6. Баранчев В. П. Управление инновациями : учебник / В. П. Баранчев, Н. П. Масленникова, В. М. Мишин. – М. : Юрайт, 2022. – 747 с.
7. Шапкин А. С. Проектирование технологических процессов в авиастроении / А. С. Шапкин. – М. : Машиностроение, 2021. – 367 с.
8. Новиков Д. А. Механизмы управления инновационными проектами / Д. А. Новиков. – М. : Ленанд, 2019. – 336 с.
9. Голубков Е. П. Инновационный менеджмент : учебник / Е. П. Голубков. – М. : Юрайт, 2021. – 392 с.

© А. В. Кукса, Е. А. Усанькова, 2026