

На правах рукописи

Сыщиков Дмитрий Николаевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ГТД ПО КОЛИЧЕСТВУ  
ДЕТАЛЕЙ В ПАРТИИ, ЗАПУСКАЕМОЙ В ПРОИЗВОДСТВО  
И ЗАДАННОЙ ТРУДОЁМКОСТИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Рыбинск – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва».

Научный руководитель: заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук Безъязычный Вячеслав Феокистович, профессор, заведующий кафедрой «Технологии авиационных двигателей и общего машиностроения» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва».

Официальные оппоненты: Бочкарёв Пётр Юрьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Техническая механика и детали машин» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Чигиринский Юлий Львович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология машиностроения» Волгоградского государственного технического университета.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

Защита диссертации состоится 22 ноября 2017 года в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.210.01 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва» по адресу: 152934, г. Рыбинск, Ярославская область, ул. Пушкина, д. 53, ауд. Г-237.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва», [www.rsatu.ru](http://www.rsatu.ru).

Автореферат разослан « 21 » сентября 2017 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, доцент

И. В. Надеждин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Одним из основных показателей при планировании производства является программа выпуска изделий, то есть, количество изделий, которое необходимо изготовить к установленному сроку. Очень важным является также соответствие установленному сроку изготовления изделий и программа их выпуска. В настоящее время на предприятиях, в основном, используются мощности уже имеющиеся, а новые приобретаются с допустимыми интервалами. Это означает, что оборудование и технологии изготовления изделий определяют размеры партий выпускаемых изделий. Размер партии изготовления изделий оказывает влияние на уровень незавершенного производства, на пропускную способность производственных участков, а в итоге – на уровень производственных затрат.

Ошибки при определении партии запуска деталей в производство приводят к нежелательным последствиям: при размере партии меньше необходимой величины на операциях обработки возникает дефицит, и некоторые виды оборудования не загружены; при размере партии деталей больше необходимого недостаточно материальных ресурсов для другой номенклатуры деталей из того же материала. Оптимальную партию следует определять такой чтобы при производстве сумма издержек минимальной.

В данной работе предлагается метод выбора оптимального технологического процесса изготовления лопаток турбины газотурбинных двигателей (ГТД) по количеству деталей в партии, запускаемой в производство, при минимуме себестоимости их изготовления и стоимости хранения до сборки. На основе вышеизложенного правомерно заключить, что решаемая в работе задача является актуальной и практически востребованной.

**Цель работы** – разработать систему выбора оптимальных технологических процессов изготовления лопаток турбины ГТД на основе учёта размера партии деталей, запускаемых в производство при которой, обеспечивается минимум себестоимости их изготовления и стоимости хранения на складе и определения количества деталей, при котором достигается заданная трудоёмкость изготовления.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать классификацию лопаток турбин ГТД и существующих технологических процессов их изготовления.

2. Провести анализ действующих технологических процессов изготовления лопаток в каждой классификационной группе.

3. На основе анализа действующих и предложенных автором диссертации перспективных технологических процессов разработать обоснования для определения размера партии деталей, запускаемых в производство, при которых будет учитываться минимум себестоимости их изготовления и затрат на их хранение.

4. Определить зависимость степени освоения технологического процесса изготовления лопаток от количества изготовленных деталей и заданной трудоёмкости изготовления.

5. Разработать предложения по совершенствованию технологических процессов изготовления лопаток турбины ГТД.

6. Разработать теоретические положения по определению минимума затрат на приобретение и хранение обработанных деталей на складе.

7. Разработать алгоритм выбора технологического процесса обработки лопаток с учётом минимума затрат при требуемом размере партии запуска в производство и минимума затрат на хранение запасов заготовок и деталей.

8. Разработать методику выбора технологического процесса при оптимизации по минимуму себестоимости изготовления детали и расходов, связанных с их хранением до сборки.

Результаты исследования соответствуют паспорту специальности 05.02.08 – технология машиностроения (п. 5 – методы проектирования и оптимизации технологических процессов).

#### **Научная новизна заключается в том, что:**

1. Установлена математическая зависимость между основными параметрами производственного процесса, временем обработки и временем наладки оборудования, что позволило выбрать в качестве критерия оптимальности технологического процесса минимум себестоимости изготовления деталей и стоимости их хранения до сборки на складе.

2. Разработан метод определения оптимального размера партии, запускаемых с учётом минимума себестоимости изготовления и хранения деталей до сборки.

3. Предложен метод определения количества деталей в производстве, при котором достигается требуемый уровень освоения выпуска деталей с достижением заданной трудоёмкости изготовления.

#### **Практическая ценность работы**

1. Предлагаемая методика выбора оптимальной партии деталей запускаемой в производство, обеспечивает гарантированную минимальную себестоимость изготовления детали на любом этапе освоения при рациональном использовании материальных ресурсов.

2. Классификация лопаток турбины газотурбинных двигателей по принципу подобия технологических процессов позволяет значительно ускорить проектирование оснастки вследствие её унификации. Использование классификатора позволяет выбрать наиболее эффективный технологический процесс обеспечивающий снижение себестоимости изготовления деталей сборочных единиц, повышение качества, и высвобождение производственных мощностей.

3. Предложенная методика определения времени освоения технологического процесса, в настоящее время обязательная к применению при работе с европейскими заказчиками авиадвигателестроительной отрасли, позволяет получить заказы на производство лопаток турбины авиационного двигателя от зарубежных фирм.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Классификация лопаток турбины ГТД, позволяющая выполнить типизацию технологических процессов их изготовления.

2. Расчётное определение параметра  $N_{\text{осв}}$ , характеризующего степень освоения технологического процесса при достижении заданной трудоёмкости и себестоимости изготовления деталей.

3. Теоретическая зависимость для расчётного определения размера оптимальной партии деталей сборочных единиц, запускаемой в производство исходя из критерия минимальной себестоимости лопаток, включающей стоимость изготовления деталей и их хранения до сборки.

4. Критерий оптимальности выбора технологического процесса изготовления лопаток определённый как сумма затрат на производство и хранения до сборки.

**Методы исследований.** Разработка теоретических положений и создание на их основе инструментария структурной оптимизации технологических процессов базируется на комплексном использовании известных теоретических и экспериментальных методов исследования в технологии машиностроения, теории управления техническими и организационными системами.

**Объектом исследования** являются технологические процессы изготовления лопаток турбины газотурбинных двигателей.

**Предметом исследований** настоящей работы являются методы определения оптимальной партии деталей сборочных единиц (ДСЕ), запускаемой в производство, и параметра, характеризующего степень освоения технологического процесса при достижении заданной трудоёмкости.

**Реализация работы.** Результаты работы внедрены в ПАО «Научно-производственное объединение «Сатурн» при освоении новых газотурбинных установок, в том числе морского применения отечественных двигателей и запасных частей авиационных двигателей для иностранного заказчика.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы освещены на конференциях и форумах : Международная научно-техническая конференция «Технология – оборудование – инструмент – качество», г. Минск, 2014 г.; Международная молодёжная научно-практическая конференция «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование», г. Курск, 2015 г.; 15-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2016», г. Москва, 2016 г.; 17-я Всероссийская научно-техническая конференция «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2016», г. Пермь,

2016 г.; Международная научно-техническая конференция «Лучшие технологические школы России», г. Рыбинск, 2017 г.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы изложены в 10 статьях, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК – 5.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения и пяти глав, заключения, списка использованных источников из наименований, включает 145 страниц машинописного текста, 20 таблиц, 22 ил.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность диссертационной работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы. Поставлены цель и задачи исследования технологических процессов изготовления лопаток турбины газотурбинных двигателей.

**В первой главе** выполнен анализ существующего положения по рассматриваемой проблеме в производственных условиях, а также известные научные методики оптимизации технологических процессов изготовления деталей, научных методик определения количества деталей в партии в серийном производстве, определения оптимального количества наладок и деталей операций, закрепленных за станком, экономические показатели оценки технологических процессов, определения экономически оправданного коэффициента загрузки оборудования. Это выполнено на основе анализа научных работ, посвящённых оптимизации технологических процессов изготовления деталей. основополагающими из них являются труды М. Г. Штанко, А. В. Шашка, И. Л. Волчкевича, Г. А. Егиазаряна, А. Д. Шеремета., С. А. Саркисяна, Э. С. Минаева, Л. М. Кожуро, Ж. А. Мрочек, В. П. Похабова, А. А. Кутина и др.

Анализ научных работ названных авторов, приведённых в главе 1 диссертации показал что в них практически не изучается оптимизация технологических процессов по минимуму себестоимости изготовления деталей с учётом партии запуска заготовок в производство и расходов, связанных с затратами на приобретение материала и его хранением, а также хранением до сборки готовых деталей.

При поставке на завод изготовители материала исходят из транзитной нормы поставки, обусловленной видом транспорта, потребностью на горизонт планирования. При этом не учитываются затраты, связанные с замораживанием денежных средств на плановый период. В результате анализа состояния вопроса были сформулированы цель и задачи диссертации.

**Во второй главе** рассмотрены разновидности лопаток турбины и разработана их классификация на основе анализа особенностей технологических процессов их изготовления. Наиболее массовыми деталями турбины являются лопатки, которые разделяются на рабочие (лопатки ротора, рис. 1) и сопловые (лопатки соплового аппарата, рис. 2).

Исходя из анализа номенклатуры лопаточного производства для изготовления газотурбинных двигателей авиационной и наземной тематики, выделено 12 типов рабочих и сопловых лопаток турбины высокого давления (ТВД) и турбины низкого давления (ТНД). Фрагменты их классификации приведены в таблицах 1 и 2.

С учётом имеющихся конструктивных элементов для каждого типа лопаток вырабатывается комплексный технологический процесс.

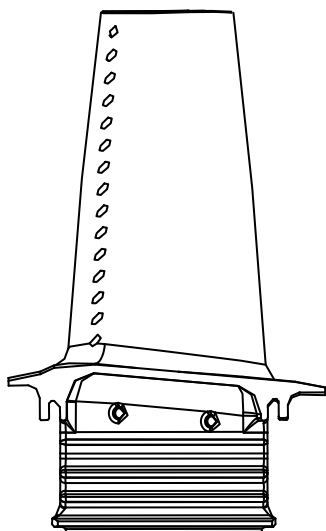


Рисунок 1 – Рабочая лопатка ротора турбины ГТД

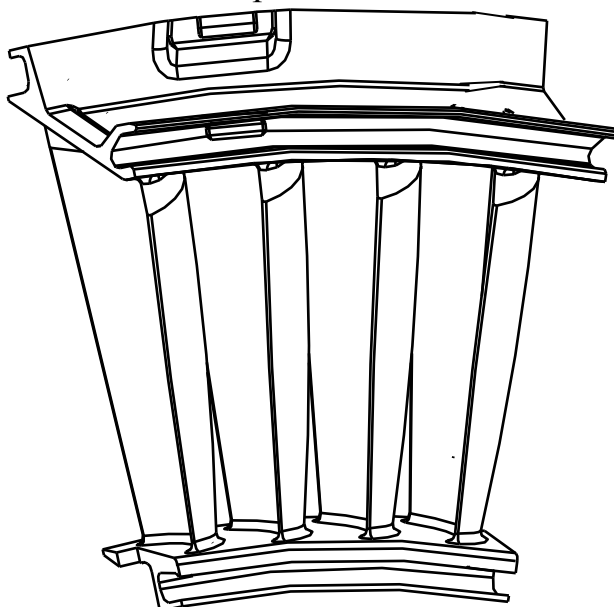
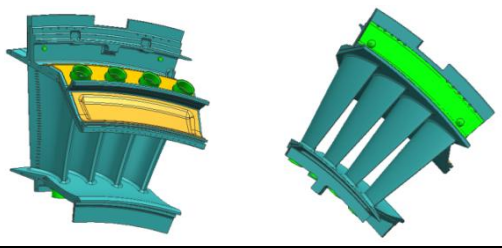
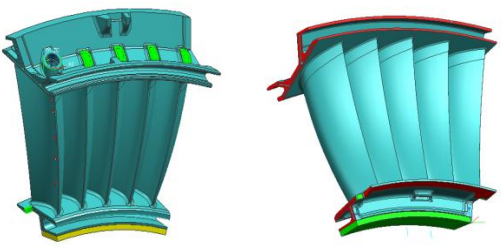


Рисунок 2 – Сопловая лопатка ротора турбины ГТД

Таблица 1 – Рабочие лопатки турбины ГТД

Класс 1. Рабочие лопатки с бандажной полкой		
Способ получения отливки	Наличие тепло-защитного покрытия	Наличие упрочнённых поверхностей
Особенности конструкции: 1.1 Охлаждаемые с пайкой контактных пластин на зиговых поверхностях		
1.1.1 Литые из жаропрочных сплавов, равноосное с заданной структурой: высотой до 250 мм; до 400 мм	1.1.1.1 с покрытием	1.1.1.1.1 с упрочнением замка
		1.1.1.1.2 без упрочнения замка
	1.1.1.2 без покрытия	1.1.1.2.1 с упрочнением замка
		1.1.1.2.2 без упрочнения замка

Таблица 2 – Лопатки соплового аппарата

№ п/п	Особенности конструкции	Способ получения отливки	Наличие теплозащитного покрытия
3.1	Охлаждаемый без сотовых уплотнений (с пайкой и сваркой отдельных элементов конструкции) 	3.1.1 Литье из жаропрочных сплавов равно-осное высотой до 250 мм	3.1.1.1 С покрытием
			3.1.1.2 Без покрытия
3.2	Охлаждаемый с паяными сотовыми уплотнениями (и с пайкой отдельных элементов конструкции) 	3.2.1 Литье из жаропрочных сплавов равно-осное высотой до 250 мм	3.2.1.1 С покрытием
			3.2.1.2 Без покрытия

Из характеристики технологического процесса изготовления лопаток следует сделать вывод, что в процессе механической обработки (после получения отливок) рабочих лопаток наиболее трудоемкие операции следующие: шлифование основных типовых поверхностей (25 %); полирование элементов пера (10 %); контроль геометрии и качества поверхностного слоя (15...20 %); специальные процессы: заливка в брикет, нанесение покрытий и термическая обработка (35 %).

Наиболее трудоемкие операции при обработке сопловых лопаток и секторов: шлифование типовых поверхностей (25 %); полирование элементов пера (10 %); электроэрозионная обработка пазов и отверстий (15 % для одиночных лопаток.; до 35 % для секторов); контроль геометрии и качества (15...20 %); специальные процессы: заливка в брикет, нанесение покрытий и термическая обработка (35 %).

Анализ особенностей выполнения технологий обработки лопаток, использованный автором при совершенствовании существующих и разработке новых технологических процессов, использован для классификации технологических процессов оптимизации выбора требуемого из них.

**В третьей главе** разработаны рекомендации по совершенствованию технологических процессов изготовления лопаток турбины газотурбинного двигателя, а также приведены характеристики основных методов их обработки (табл. 3). Предложенные и внедрённые при участии автора диссертации реко-



мендации по совершенствованию технологических процессов изготовления лопаток ГТД позволили повысить производительность при многономенклатурном производстве на 30 % и снизить себестоимость на 10 %, в том числе за счёт более эффективного использования производственных площадей (высвобождение более 1000 кв. м).

Таблица 3 – Базовые мероприятия по совершенствованию технологических процессов

Мероприятие	Эффект	Снижение трудоёмкости операции
Концентрация операций, применение 5-ти осевого оборудования со сменщиком инструмента	Уменьшение вспомогательного времени	22 %
Применение гидравлического зажима детали (или другого устройства с аналогичной функцией) с автоматическим контролем прилегания базовых поверхностей	Уменьшение времени снятия установки детали	7 %
Применение в 5-и осевом оборудовании скоростного сменщика инструмента	Уменьшение времени замены инструмента	20 %
Применение в оборудовании моментных двигателей для перемещения узлов станка	Уменьшение времени вспомогательных перемещений оборудования	10 %
Применение высокостойких эльборовых шлифовальных кругов на керамической связке	Исключение необходимости смены шлифовальных кругов по причине износа (не чаще 10000 дет./кр.)	6 %
Применение высокотвердых эльборовых шлифовальных кругов на керамической связке в комплексе с высоким давлением и большим расходом СОТС (допустимо) при повышении скорости резания до 100...150 м/сек	Интенсификация процесса шлифования	12 %

**В четвёртой главе** разработан алгоритм определения количества лопаток в партии, запускаемой в производство, для чего выполнен теоретический анализ взаимосвязи количества деталей в партии, запускаемой в производство, с себестоимостью их изготовления и хранения до сборки.

Время, затраченное работниками на изготовление одного изделия, сокращается с увеличением количества изготовленных изделий. Многократное повторение и накопленный опыт способствуют постепенному снижению затрат. Этот эффект был исследован и назван кривой обучения, которая определяется как функция, показывающая, как с увеличением выпуска изделия, уменьшается количество времени, требующегося для производства единицы продукции.

Для определения параметров кривой обучения необходимо определить время производства первой детали, значения коэффициента обучения  $K$  и номер детали, начиная с которой достигается заданное время. Позиция  $N$ , начиная

с которой достигается заданное время выполнения техпроцесса, называется основной позицией. Достижение этой позиции относится, главным образом, к объёмам производства и виду продукции. Коэффициент  $K$  и время производства первой детали должны быть приняты исходя из опыта каждого предприятия.

Количество изготовленных деталей, при котором достигается требуемый уровень освоения выпуска деталей  $N_{осв}$ , определяется функцией для определения трудоёмкости типа:

$$T_{изг} = T_1 \cdot N^\lambda, \quad (1)$$

где  $T_{изг}$  – время изготовления очередной детали;  $N$  – номер детали по изготовлению;  $\lambda$  – коэффициент эластичности, характеризующий темп снижения себестоимости от изготовления;  $T_1$  – трудоёмкость изготовления первой детали.

В данной работе рассмотрен метод определения размера партии деталей, основанный на учёте минимума себестоимости изготавливаемой детали с учётом

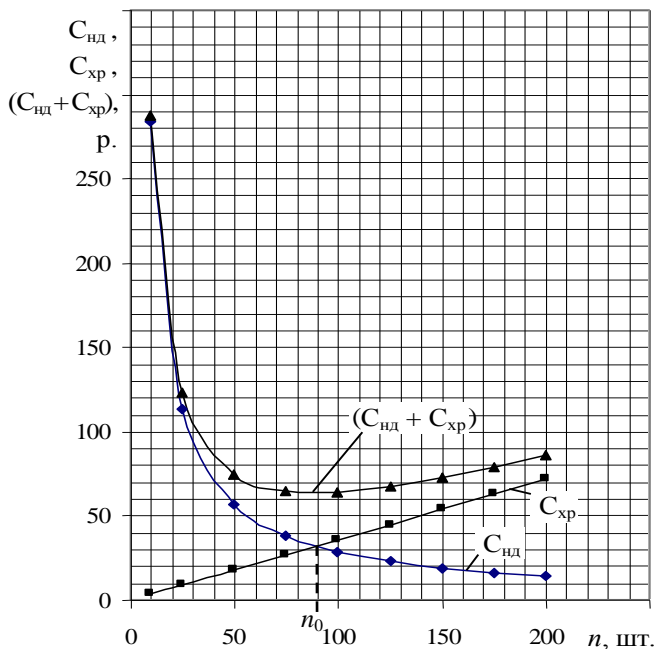


Рисунок 3 – Зависимость стоимости детали от стоимости наладки  $C_n$  с учётом стоимости их хранения  $C_{хр}$

времени на наладку оборудования и хранения изготовленных деталей. Как при хранении, так и в период наладки денежные средства исключаются из оборота, т. е. получают убытки (упущенная выгода), но с увеличением количества деталей в партии упущенная выгода от наладки уменьшается, т. к. стоимость наладки распределяется на партию деталей, а стоимость хранения увеличивается. Необходимо определить минимум упущенной выгоды. Это можно сделать, построив график зависимости упущенной выгоды от количества деталей в партии (рис. 3).

Минимум упущенной выгоды будет в точке пересечения линий, т. е. в точке  $n_0$ . Стоимость наладки, приходящаяся на одну деталь, определяется по формуле:

$$C_{нд} = \frac{1,3197 \cdot T \cdot \sum_{i=1}^N t_{hi} + C_d \frac{t_n}{t_d}}{n}. \quad (2)$$

где  $T$  – тариф оплаты труда наладчика,  $p$ ;  $\sum_{i=1}^N t_{hi}$  – суммарное время наладки для всех операций;  $C_d$  – себестоимость изготовления одной детали без учёта мате-

риальных затрат (заработная плата основных рабочих с премией)  $p$ ;  $t_d$  - время обработки одной детали, ч;  $t_n$  - время наладки одной детали, ч;

Стоимость хранения изготовленных деталей определяется по формуле

$$C_{xp} = \frac{t_d \cdot C_d + C_{м.з} \cdot 0,12n}{24 \cdot \Phi} \quad (3)$$

где  $C_{м.з}$  – материальные затраты на одну деталь, р.;  $\Phi$  – число дней в году.

Стоимость хранения ранее деталей определяется без учёта стоимости складских помещений, так как габариты детали малые этой составляющей стоимости можно пренебречь. Ставка рефинансирования определялась исходя из 12 % годовых, а период хранения определяется периодом изготовления всех деталей. Было установлено, что размер партии деталей зависит от себестоимости изготовления деталей. В связи с этим была установлена зависимость  $n_o$  от себестоимости изготовления детали (рис. 4) и формула (5).

$$n_o = 4 \cdot 10^4 C_{дет}^{-0,738} \quad (4)$$

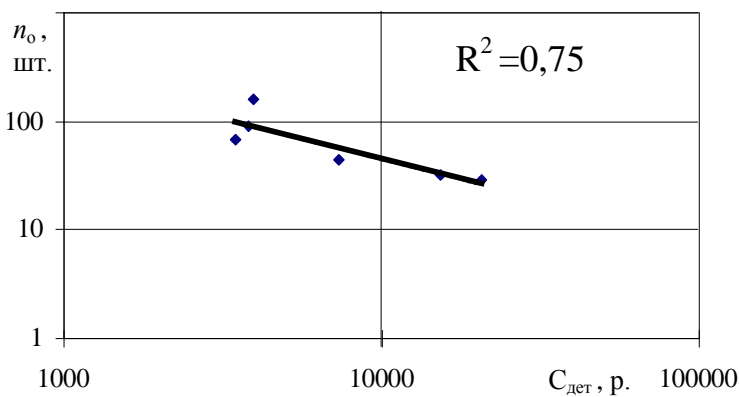


Рисунок 4 – Зависимость  $n_o$  от себестоимости деталей  $C_{дет}$

На основе предложенных методик расчётного определения периода освоения технологии в производстве с целью определения трудоёмкости при освоении выпуска деталей и количества деталей в партии одновременно запускаемой в производство предложен алгоритм определения количества деталей в партии (рис. 5).

При поступлении заявки на изготовление лопаток турбины в соответствии с классификатором выбираем тип детали, к которому относится осваиваемая лопатка, исходя из конструктивных особенностей (альбом типовых чертежей лопаток + классификатор лопаток турбины), выбираем типовой маршрут обработки лопаток из типовых маршрутов (может быть несколько вариантов), выбираем деталь аналог из перечня ДСЕ выбранного типового маршрута, определяем экспертно коэффициенты сложности для трудоёмкости, определяем: количество и стоимость необходимой оснастки и инструмента, количество вспомогательных материалов, прочие статьи затрат, получаем затраты на ДСЕ, просчитываем планируемую загрузку основного оборудования задействованного в изготовлении, с учётом имеющейся загрузки.

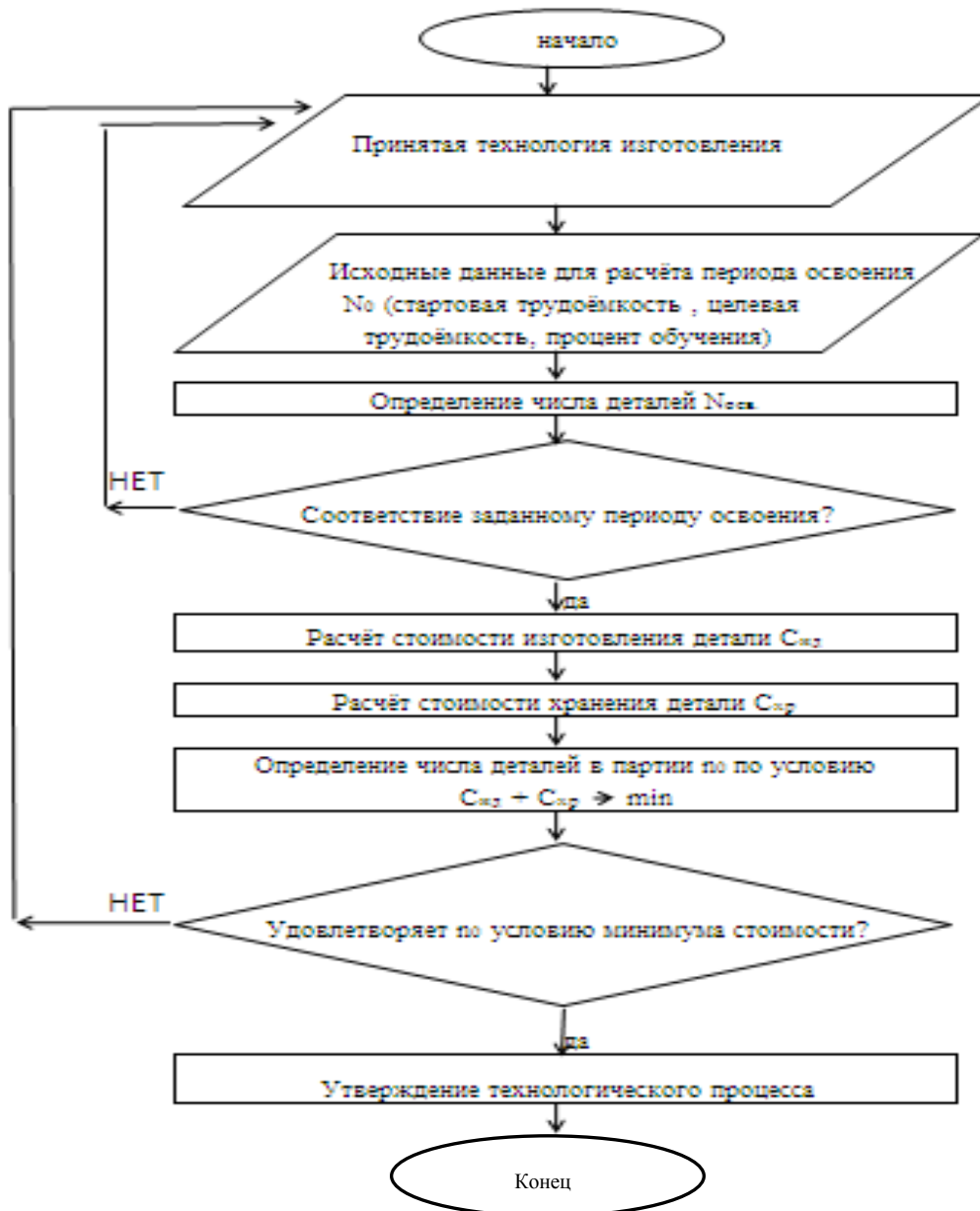


Рисунок 5 – Алгоритм определения количества деталей в партии, запускаемой в производство

Определяем период освоения данного вида лопаток, если данный заказ не будет экономически выгодным с учётом расчётного времени освоения, то предлагается другой вид технологии и повторяется расчёт, если затраты на освоение соответствуют целевым, то определяется стоимость изготовления деталей по выбранному технологическому процессу, затем определяется стоимость хранения деталей, после чего определяется оптимальная партия запуска для достижения минимальной себестоимости. В случае если все решения соответствуют целевым, то утверждаем технологический процесс.

Выполнен пример расчёта размера партии при запуске в производство и время освоения технологического процесса изготовления лопатки. При исходных данных:  $T_{изг} = 51,96$  н/ч и процентное освоение 92 % (0,92) по формуле (1) получены данные о времени изготовления. На основании результатов расчёта

построим кривую обучения (рис. 6). Кривая обучения имеет следующее математическое описание:

$$T_{\text{изг}} = 97,8N^{-0,1014}, \text{ н/ч.} \quad (5)$$

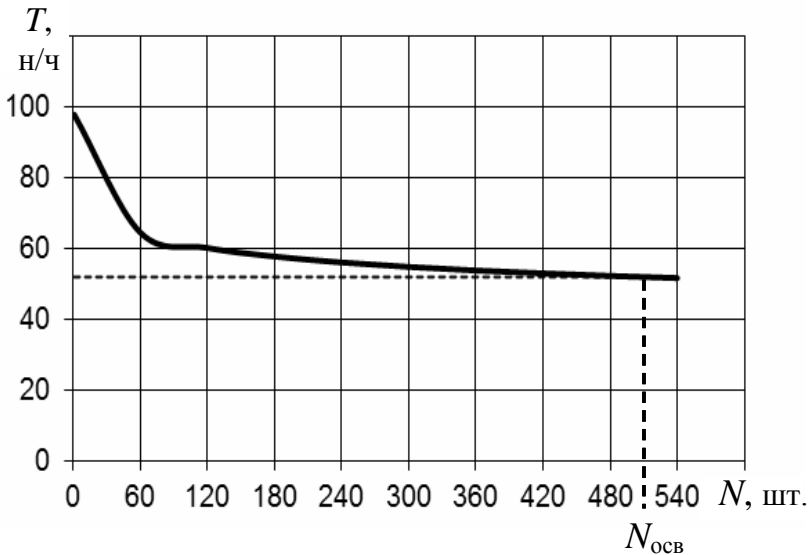


Рисунок 6 – Кривая обучения

Подставив в уравнение (5) вместо  $T_{\text{изг}}$  значение целевой трудоёмкости, равное 51,96 н/ч, получим  $N_{\text{осв}} = 511,42$  детали.

Важность приведённой выше последовательности определения процесса обучения заключается в том, что в настоящее время аналогичные методики обязательны к применению при работе с европейскими заказчиками. Исходные данные для расчёта оптималь-

ной партии деталей для лопаток с начальной трудоёмкостью отражены в табл. 4, а графики по определению  $n_0$  на рисунках 7 и 8.

Таблица 4 – Исходные данные для расчёта

Количество деталей	Стоимость наладки $C_n$ , руб.	Стоимость хранения $C_{\text{хр}}$ , руб.	Суммарная стоимость $C_n + C_{\text{хр}}$ , руб.
10	715,04	0,74	715,7795
100	71,50	7,41	78,9106
150	47,67	11,11	58,77934
175	40,86	12,96	53,82112
200	35,75	14,81	50,56538
500	14,30	37,03	51,33439
700	10,21484	51,84706	62,0619
1000	7,150388	74,06722	81,21761

Исходные данные для расчёта оптимальной партии деталей для лопаток с целевой трудоёмкостью отражены в табл. 5.

Таким образом для лопаток с начальной трудоёмкостью оптимальной партией по себестоимости будет количество 330 штук, для лопаток с целевой трудоёмкостью оптимальной партией по себестоимости будет количество 450 штук.

Таблица 5 – Исходные данные для расчёта

Количество деталей	Стоимость наладки $C_n$ , руб.	Стоимость хранения $C_{xp}$ , руб.	Суммарная стоимость $C_n + C_{xp}$ , руб.
10	929,73	0,50	930,23
50	185,95	2,50	188,44
75	123,96	3,74	127,71
100	92,97	4,99	97,96
150	61,98	7,49	69,47
200	46,49	9,98	56,47
500	18,59	24,95	43,55
700	13,28191	34,93241	48,21
1000	9,297339	49,90	59,20

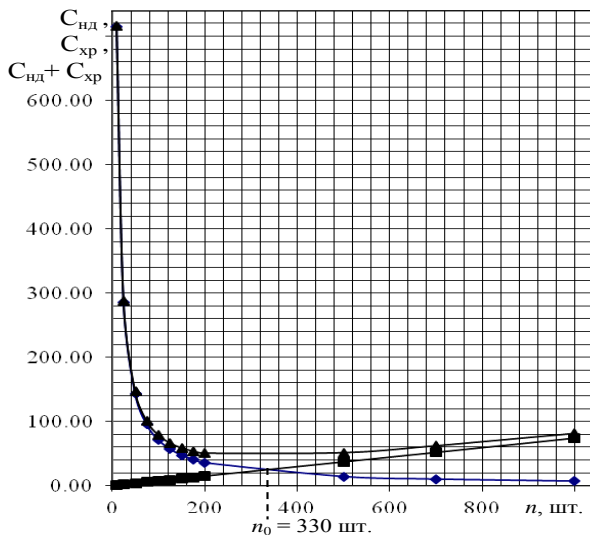


Рисунок 7 – Результаты расчёта количества лопаток в оптимальной партии с начальной трудоёмкостью

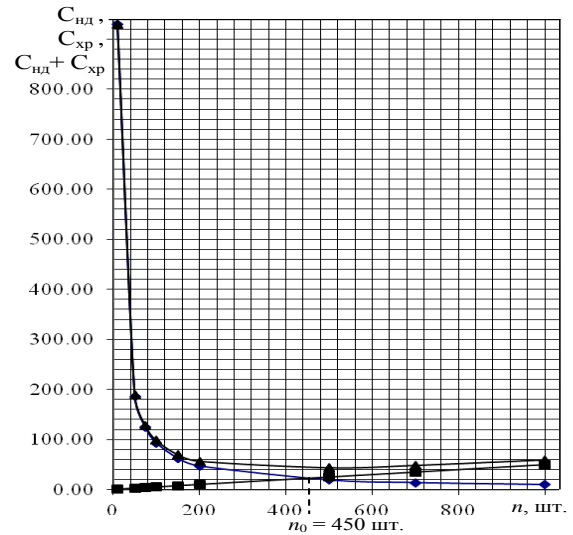


Рисунок 8 – Результаты расчёта количества лопаток в оптимальной партии с целевой трудоёмкостью

### Общие выводы по работе

1. Решена актуальная научная задача определения оптимальной партии деталей сборочных единиц, запускаемых в производство исходя из критерия минимальной себестоимости лопаток, включающей стоимость изготовления деталей и их хранения до сборки.

2. Минимальная суммарная стоимость лопаток на разных этапах освоения зависит от трудоёмкости выполнения операций и количества запускаемых заготовок в производство.

3. Классификация лопаток турбины газотурбинных двигателей по принципу подобия технологических процессов позволяет получить более технологичную конструкцию, и таким образом при согласовании изменений в конструкции не возникает спорных ситуаций. При освоении новых изделий класси-

фикатор значительно ускоряет проектирование оснастки вследствие её унификации.

4. Доказано наличие функциональной связи между временем наладки, временем обработки и количеством деталей запускаемых в производство, а также влияние их на себестоимость окончательно готовых деталей. Полученные значения размеров деталей в партии применимы для всей номенклатуры лопаток турбины газотурбинных двигателей, с учётом принадлежности их к определённому классу классификатора с учётом поправки цены на материал из которого изготавливается заготовка лопатки. Также данная зависимость применима для других механически обрабатываемых деталей.

5. Предлагаемая методика выбора оптимальной партии деталей обеспечивает гарантированную минимальную себестоимость изготовления детали на любом этапе освоения при рациональном использовании материальных ресурсов.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1) **Сыщиков, Д. Н.** Определение оптимальных размеров партий при изготовлении лопаток турбины газотурбинных двигателей / Безъязычный В. Ф. // Вестник РГАТУ имени П.А.Соловьёва. – Рыбинск, 2015. № 3 (34). С. 30 – 35.

2) **Сыщиков, Д. Н.** Расчётное определение оптимальных размеров партий при изготовлении деталей / Безъязычный В. Ф. // Научно технический и производственный журнал «Справочник. Инженерный журнал». – Москва, 2016 № 7 (232). С. 42 – 47.

3) **Сыщиков, Д. Н.** Теоретический анализ взаимосвязи трудоёмкости изготовления деталей ГТД и программы их выпуска / Безъязычный В. Ф. // Вестник РГАТУ имени П. А. Соловьёва. – Рыбинск, 2016. № 4 (39). С. 33 – 36.

4) **Сыщиков, Д. Н.** Анализ номенклатуры деталей типа «лопатка турбины» газотурбинного двигателя и технологических процессов их изготовления// Вестник РГАТУ имени П. А. Соловьёва. – Рыбинск, 2017. № 2(41). С. 320 – 324.

5) **Сыщиков Д.Н.** Комплексный подход к выбору оптимальной технологии на базе существующего парка оборудования / Слободяник А.С. // Научно технический и производственный журнал «Справочник. Инженерный журнал». – Москва, 2017 № 8 (245). С. 33 – 37.

### В других изданиях:

6) **Сыщиков, Д. Н.,** Классификация сквозных технологических процессов производства лопаток турбины газотурбинных двигателей /Безъязычный В. Ф.// (Машиностроение – 2014): Материалы международной научно-технической конференции «Технология-оборудование-инструмент-качество». – Минск, 2014. С. 108 – 109.

7) **Сыщиков, Д. Н.**, Оптимизация размеров партии деталей , одновременно запускаемых в производство /Безъязычный В. Ф.// Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. Сборник научных трудов 2-й международной молодёжной научно-практической конференции – Курск, 2015. С. 85 – 89.

8) **Сыщиков, Д. Н.** Оптимизация технологических процессов изготовления лопаток турбины ГТД по количеству деталей в партии запускаемой в производство [Текст] // Авиация и космонавтика – 2016, 15-я Международная конференция 14-18 ноября года. – Москва, 2016. С. 701 – 703.

9) **Сыщиков, Д. Н.** «Анализ взаимосвязи трудоёмкости изготовления деталей ГТД и программы их выпуска» / Безъязычный В. Ф.// Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2016. Материалы 17-й Всероссийской научно-технической конференции. Пермь, 2016, С. 250 – 253.

#### **10)Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:**

Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620790. Электронная база данных ОАО «НПО «Сатурн» в области проектирования и производства лопаток ГТД / Сыщиков Д. Н., Соколова А. А., Барвинок Д. В., Береснев И. И.; Публикация произведена в официальном бюллетене Федеральной службы по интеллектуальной собственности «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем» № 3, 2013, С. 1; правообладатель ПАО «ОДК-Сатурн».

Зав РИО А.Салкова

Подписано в печать

Формат 60×84 1 /16 Уч-изд.л. 1 Тираж 100. Заказ

Рыбинский государственный авиационный технологический университет имени П. А. Соловьёва (РГАТУ имени П.А. Соловьёва)

Адрес редакции: 152934. г. Рыбинск. Ул. Пушкина. 53

Отпечатано в множительной лаборатории РГАТУ имени П.А. Соловьёва  
152934. г. Рыбинск. Ул. Пушкина. 53