

УДК 658.511.3

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ  
ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ УЗЛА**

© 2022 Н.А. Сазонникова, А.В. Сазонников

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 23.11.2022

Рассмотрена проблема совершенствования производственного цикла узла газотурбинного двигателя (ГТД). Проанализирован существующий производственный цикл узла ГТД и выявление его основные недостатки. Цель работы - разработка нового производственного цикла выпуска продукции с повышением качества сборки узла в меньшие сроки, использование селективной сборки при исключении повторных циклов и возможностью использования электронной базы данных, пополняемой фактическими размерами при помощи контрольно-измерительной машины, что ускорит процесс контроля деталей на соответствие требованиям сборки.

*Ключевые слова:* производственный цикл, селективная сборка, механосборочное производство, газотурбинный двигатель, электронная база данных.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-6-103-113

**ВВЕДЕНИЕ**

Развитие мировой авиационной промышленности за последние 10-15 лет вышло на новый уровень. Данному развитию способствовало изменение технологий обработки, появление программного обеспечения позволяет продумывать на несколько этапов перед сборку узлов, агрегатов и всего двигателя. На многих предприятиях России уже происходит внедрение подобных технологий.

В работе Бессуднова И.А. рассматривается повышение эффективности ремонта авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) [1]. Здесь изложены вопросы надежности и увеличения ресурса авиационных двигателей, описаны современные методы неразрушающего контроля и технической диагностики ГТД. Особое внимание уделяется ремонту и восстановлению работоспособности основных деталей и узлов двигателя. Также в работе рассматриваются вопросы применения разрушающего и неразрушающего контроля при испытаниях авиационных двигателей.

В данной работе отражены методики восстановления деталей при помощи технологий, которые позволяют наряду с экономией материальных ресурсов экономить на энергетических, трудовых, экономических и даже экологических ресурсах. К таким технологиям можно отнести плазменные технологии, которые сейчас полу-

чают распространение, как в ремонтном, так и производственном процессе. Также сейчас находит свое применение в ремонтном производстве метод низкотемпературного диффузионно-порошкового наплавления. Данные методы можно отнести к ресурсосберегающим. Производится рассмотрение технологий восстановления деталей при ремонте ГТД, некоторые из методов возможно применить при доработке новых деталей при снижении трудовых и энергетических затрат. Результаты исследований показывают, что плазменный источник поверхностного нагрева можно во многих случаях применять наряду с такими источниками, как лазерный и электронно-лучевой, обеспечивая высокие технико-экономические показатели процесса [2, 3].

В работе [4] рассматривалось повышение эффективности функционирования машиностроительных предприятий с мелкосерийным типом производства на основе развития теоретических основ разработки и внедрения методов и инструментальных средств совершенствования организации и управления производственными процессами. Была построена модель управления предприятием мелкосерийным типом производства, однако, здесь не учитывается возможность отклонения параметров деталей от заданных в конструкторской документации. Мониторинг состояния производства осуществляется лишь на основе сменно-суточных заданий, однако в данной работе не учитываются вопросы селективной сборки сложных изделий и доработки изделий для устранения брака.[2]

При рассмотрении процессов изготовления и ремонта ГТД кроме технологической составляющей стоит учитывать и организационную.

*Сазонникова Надежда Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность и управление качеством».*

*E-mail: nasazonnikova@yandex.ru*

*Сазонников Алексей Валерьевич, ведущий специалист ПАО «Кузнецов»*

Планомерная загрузка оборудования с рациональным использованием ресурсов, обеспечивающих производство, а именно: людские, материальные, денежные, фонд рабочего времени.

Грамотное управление данными ресурсами позволяет обеспечить рост качества продукции при снижении затрат на его производство. При неоправданно увеличенном цикле производства происходит перерасход ресурсов. На предприятии ПАО «Кузнецов» зачастую данный перерасход можно связать с большим количеством брака, связанного с отклонениями параметров продукции от заданных требований. Рассмотрение проблемы будет осуществляться на примере отдельного агрегата.

Объектом исследования рассматриваемого производства является статор компрессора ГТД.

Предметом исследования является совершенствование производственного цикла выпуска изделия.

Цель данной работы - совершенствование процесса изготовления деталей при использовании комплекса мер по повышению качества комплектующих при селективной сборке, сокращения производственного цикла и снижения затрат на производство

При выполнении исследования были решены следующие задачи:

1. Декомпозиция существующей модели производства и анализ составляющих производственного процесса.
2. Составление новой функциональной и сетевой модели с их сравнением, выявлением недостатков затрат ресурсов на всех ее этапах.
3. Поиск путей сокращения брака.
4. Расчет затрат существующей и прогрессивной технологии селективной сборки.
5. Создание концепции электронного паспорта детали.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### Анализ состояния механосборочного производства на примере изготовления узла ГТД

Переход экономики России в 90-х годах 20 века к рыночным отношениям обострил неготовность предприятий, в том числе наукоемких отраслей промышленности, к современным условиям и жесткой конкуренции со стороны развитых западных компаний [2, 3, 5, 6]. Условия, в которых современные предприятия осваивают новые виды продукции, коренным образом отличаются от существовавших ранее, когда в стране действовала единая отраслевая система управления производством. До 90-х годов 20 века предприятия авиационного профиля были востребованы, в первую очередь, военными ве-

домствами бывшего СССР и обеспечены постоянным госзаказом на выпускаемую продукцию. Внедрение и освоение новых видов авиационной продукции было обеспечено достаточным финансированием на всех этапах работ, необходимым сырьем и комплектующими изделиями, гарантирована реализация и безубыточность, что позволяло предприятию осваивать новую продукцию в стабильных условиях.

Текущее состояние отрасли производства ГТД для гражданской, военной авиации и наземных нужд переживает значительные изменения. Происходит уход старых традиционных методов управления производством и переход на новые стандарты управления, отслеживания производства с внедрением информационных технологий.

Основными проблемами современной отрасли являются обеспечение качества изделий и сроков поставки готовой продукции. Кроме того, предприятиям необходимо быстро осваивать новые детали, изготавливаемые по заказам предприятий-смежников.

Актуальность рассматриваемой проблемы подтверждается статистикой АО «Авиапром» [2, 3].

В данной работе рассматривается технологический процесс сборки статора компрессора ГТД.

Основными элементами конструкции компрессора являются: лопатки, рабочие кольца, кожухи, кольца внутренние, проставки, крепежные элементы, штуцеры, регуляторы, клапаны.

На рассматриваемом производстве часть деталей изделия являются покупными, а именно лопатки, а крепежные детали производятся другим цехом. Учитывая данный факт, анализ производственного процесса механообработки цеха будем осуществлять на примере деталей кольцевой группы деталей компрессора ГТД. На рисунке 1 представлен узел «компрессор ГТД».

Для рассматриваемого узла можно выявить несколько основных параметров, определяющих точность позиционирования узла в изделии относительно других агрегатов:

1. Обеспечение биений на специальном слое, обеспечивающем зазор между ротором и статором:

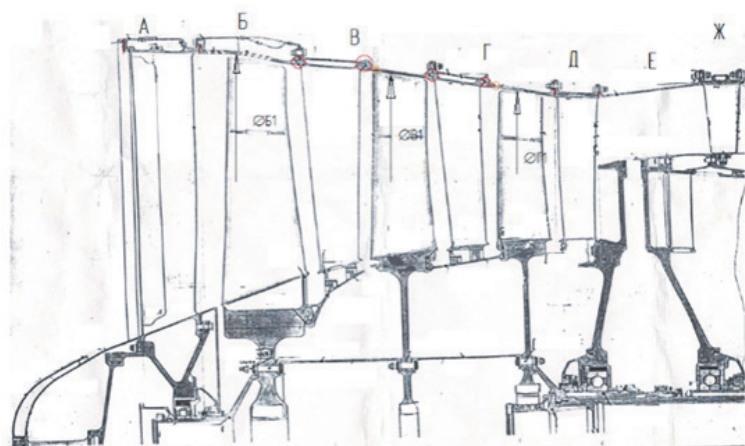
а)  $\varnothing A_1 1351^{+0,17}_{-0}$  мм – обеспечить биение не более 0,4 мм.

б)  $\varnothing B_1 1276^{+0,17}_{-0}$  мм – обеспечить биение не более 0,4 мм.

в)  $\varnothing B_1 1027^{+0,17}_{-0}$  мм – обеспечить биение не более 1,0 мм.

г) На внутреннем диаметре кольца «Б» необходимо обеспечить биение не более 0,4 мм.

д) Кроме обеспечения диаметральных, необходимо обеспечить торцевое биение кольца «А» не более 0,2 мм.



**Рис. 1** - Общий вид компоновки компрессора:  
А, Б, В, Г, Д, Е, Ж – сборочные единицы узла ГТД

Необходимо обеспечить точность посадочных поверхностей со смежными агрегатами и узлами [9, 10].

Типы дефектов для узла «Статор ГТД»:

1. Необеспечение биения по специальному слою на кольце «Б».

Данный тип дефекта устраним лишь при повторном напылении специального слоя.

2. Отклонение от заданного диаметра специального слоя, отклонение других диаметров ввиду отклонений от технологического процесса.

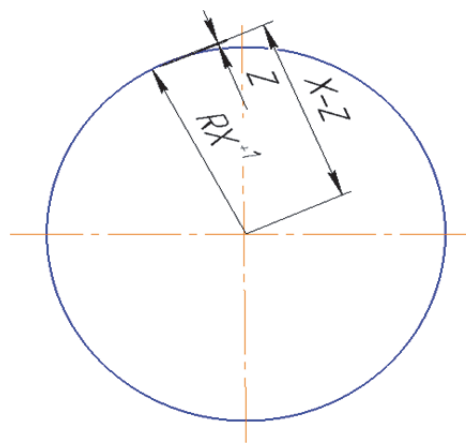
3. Несоответствия поля допуска посадки деталей, в большинстве случаев выражается зазором.

Данный зазор образуется при «попытках» доработать детали.

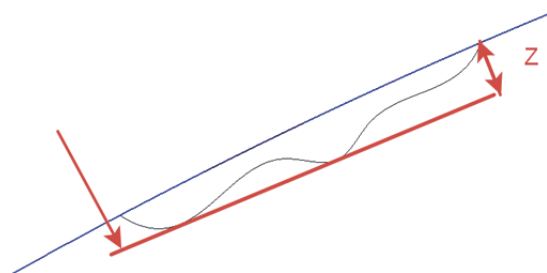
На рис. 2, 3 показаны характерные параметры дефекта «биение». На этапе черновой токарной обработки проводится устранение дефектов, возникших в процессе штамповки, выражающихся в недоборе материала до необходимого размера.

Рассматриваемый дефект имеет глубину  $Z$ , при доработке данной поверхности ее размер (удаленность) относительно центра координат уменьшится на глубину дефектной поверхности. При наличии данного дефекта возникает необходимость доработки ответной детали с целью обеспечения условий сборки. Подобным образом можно выразить зависимость для торцевых и диаметральных биений поверхностей деталей входящих в сборку узла. Ответная деталь должна иметь размер больший на величину  $Z$  для обеспечения сборки двух деталей и получения сборки, отвечающей заданным размерным и прочностным характеристикам, а также для обеспечения работы с другими узлами двигателя в целом на всех эксплуатационных режимах.

Несоблюдение режимов сварки при формировании деталей «Б», «В» ведет к отклонению от



**Рис. 2** – Общий вид дефекта «биение»



**Рис. 3** – Детальное рассмотрение дефекта «биение»

параметров формы деталей таких, как допуск на некруглость, неплоскостность, непараллельность. Устранение данных дефектов имеет большую трудоемкость, и в некоторых случаях включает в себя повторную термообработку детали в стапеле для закрепления положения координат поверхностей друг относительно друга.

Основные причины производственного брака на рассматриваемом производстве:

1. Неисправность станка

Износ подшипников, вследствие которого возможно возрастание диаметрального биения.

Сказывается на точности изготовления диаметральных поверхностей. Происходит повышенный износ инструмента.

2. Отклонение от технологического процесса, а именно:

- Неверно подобранный режущий инструмент.

Данный фактор является важным для станков с ЧПУ. Параметры инструмента в программе обработки играют важнейшую роль. Возможно отклонение от координат обрабатываемой программы, ведет к врезам на детали. Неверно подобранный инструмент несоответствующий режимам обработки имеет меньший ресурс машинного времени.

- Отсутствие или неисправность мерительного инструмента.

Данное отклонение от технологического процесса ведет к получению неверных данных геометрических данных детали, при окончательном и промежуточном контроле механической обработки детали.

3. Человеческий фактор:

- Неверно выполненная установка детали на станке.

Данное отклонение в большинстве случаев связано с низкой квалификацией рабочего, в некоторых случаях связано с отсутствием приспособлений или их неисправностью. Менее точные приспособления не позволяют достичь требуемой постановки детали в системе координат станка, не обеспечивают жесткого закрепления детали в станке.

- Неверно выбрана программа обработки (несоблюдение режимов).

Несоблюдение режимов для определенных

типов материалов ведет к их короблению, износ инструмента, отклонение размеров.

- Несвоевременное выявление дефектов на деталях.

При несвоевременном выявлении дефектов на окончательных операциях в большинстве случаев доработка невозможна. Первопричинами может стать неверная подача геометрических размеров при замерах, халатное отношение к работе производственных рабочих

4. Брак заготовки.

Не выявленные отклонения у заготовительного цеха (В виде раковин, пористостей и др.).

5. Расхождение допусков деталей при сборке узла.(допуск на позиционирование).

Детали с различающимся полем допусков зачастую при сборке имеют в совместной сборке следующие отклонения: несоответствия по посадке сопрягаемых поверхностей(излишний натяг, излишний зазор);отклонения по параметрам формы детали, вследствие чего так же образовывается дефект как неприлегание.

Оценка временных ресурсов производства будет производиться с использованием сетевой модели процесса существующего производства.

Рассматриваемый производственный процесс имеет входные и выходные данные [7]. Произведем декомпозицию данного процесса на составляющие элементы. Функциональная модель процесса представлена на рис. 4.

Кроме того, зная характерные дефекты детали на окончательном этапе сборки узла, рассчитаем среднее время доработки. На данном этапе рассматриваются дефекты, связанные с несоответствием чертежу пазов, выемок, отверстий и др.[11,12].

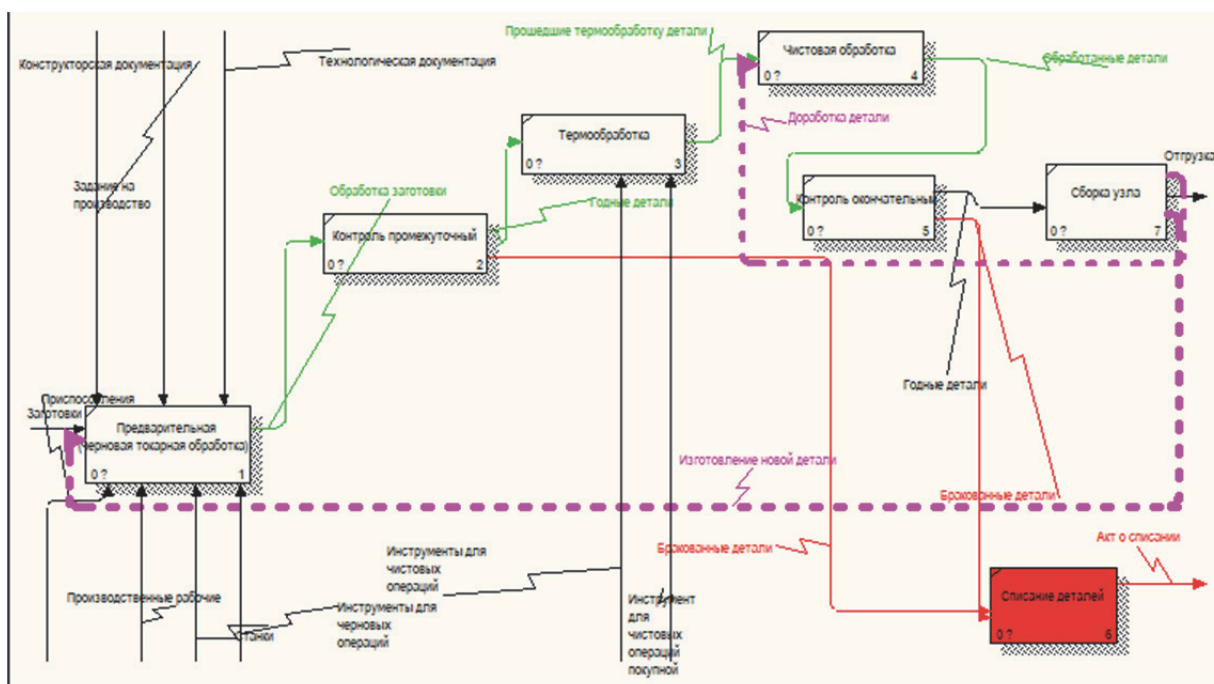


Рис. 4 – Функциональная модель существующего производственного цикла изготовления узла



Составим модель временных затрат на изготовление детали-представителя с характерными операциями], выраженную в затрачиваемых временных промежутках на обработку. расчет будет производиться как вычисление среднего арифметического по временам операций.

$$F_{\text{п}} = (N_{\text{iu}} + N_{\text{iu}} + \dots + N_{\text{iu}}) / H = \sum N_{\text{iu}} / 60, \quad (1)$$
 где  $N_{\text{iu}}$  – время затраченную на одну из черновых операций №  $i$  детали  $i$ ,  $H$  – среднее количество операций соответствующих перечню «черно-

вые» деталей А,Б,В,Г,Д,Е,Ж.  $F_{\text{п}}$  – время этапа для детали-представителя. Все нормы выражены в часах (час) (Таблица 1).

На рисунке 5 представлена сетевая модель существующего производственного процесса. Последовательность выполняемых работ к временному параметру сетевого графика при небольшом числе событий можно определять с помощью линейной диаграммы Ганта (рис. 6).

Таблица 1 – Нормы времени на этапах обработки

|     | Наименование                                             | Буквенный символ операции | Предшествующие операции | Время, ч (продолжительность) | Индекс  |
|-----|----------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|---------|
| 1   | Черновая обработка                                       | A                         | 0                       | 2                            | (0,1)   |
| 2   | Промежуточный контроль                                   | B                         | A                       | 0,75                         | (1,2)   |
| 3   | Сварка                                                   | C                         | B                       | 4,63                         | (2,3)   |
| 4   | Термообработка                                           | D                         | C                       | 0,7                          | (3,4)   |
| 5   | Чистовая токарная обработка                              | E                         | D                       | 8,46                         | (4,5)   |
| 5'  | Изготовление новой детали                                | T                         | 0                       | 23,44                        | (0,5)   |
| 6   | Слесарная операция                                       | F                         | E                       | 7,83                         | (5,6)   |
| 7   | Контроль окончательный                                   | G                         | F                       | 0,24                         | (6,7)   |
| 8   | Дополнительные операции доработки, детали (механические) | H                         | G                       | 5,23                         | (7,8)   |
| 9   | Слесарные доработки                                      | L                         | H                       | 5                            | (8,9)   |
| 10  | Дополнительный контроль                                  | K                         | L                       | 0,5                          | (9,10)  |
| 11  | Сборка                                                   | M                         | Y,G                     | 4                            | (7,11)  |
| 11' | Сборка с доработками                                     | M1                        | Y,G                     | 4,5                          | (10,11) |

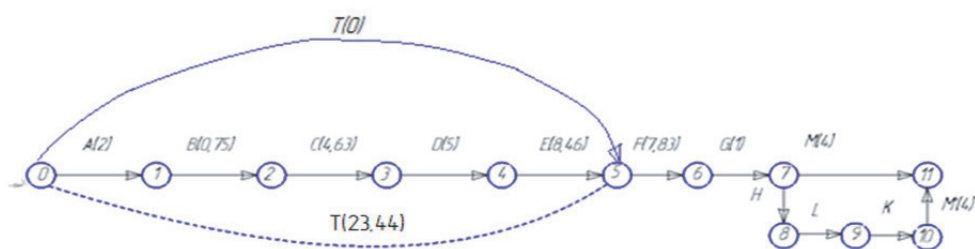


Рис. 5 – Сетевая модель существующего процесса

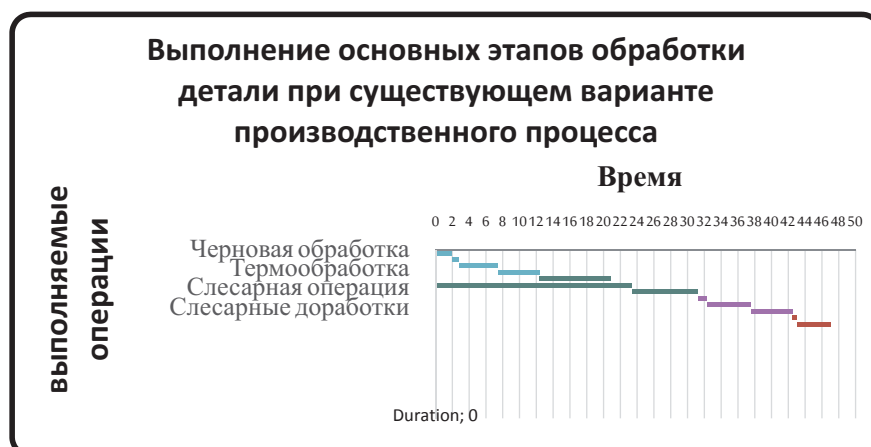


Рис. 6 – Диаграмма Ганта для существующего производственного процесса

При рассмотрении модели существующего производственного цикла можно сделать вывод о наличии большого цикла доработки, вызванного наличием дефектов, а также значительной вероятностью возникновения брака в процессе селективной сборки. Значительная вероятность брака приводит к удорожанию конечной стоимости изделия. С учетом мелкосерийного типа производства, отсутствует возможность производства запаса деталей для селективной сборки с подбором их на последующий комплект.

### **Разработка прогрессивного производственного процесса селективной сборки**

К условиям реализации прогрессивного производственного процесса можно отнести следующие:

Стоимость нового цикла должна быть меньше по сравнению с существующим циклом производства деталей.

Стоимость производственного цикла формируется из зарплат, выплачиваемых работникам производственных подразделений в соответствие с тарифом, установленным на предприятии. Кроме того в стоимость цикла входят расходы на обслуживание оборудования, закупки режущего инструмент (его ремонт).

2. Снижение времени выпуска продукции. В существующем производственном цикле [8] не имеется четкого отслеживания взаимосвязи размеров на смежных деталях, что зачастую приводит к увеличению конечных этапов производства продукции (сборки узла).

3. При ограниченных ресурсах предприятия невозможен выпуск крупных партий деталей, что устанавливает ограничения на возможности выполнения производственного плана. Имеются малые возможности для создания деталей с различными группами размеров и последующим их подбором при изготовлении деталей, имеющими отклонения с целью достижения заданных параметров точности и прочности на узле, выпускаемым цехом.[10, 13,15]

Разработка новой модели процесса обработки деталей будет производиться с учетом ранее проведенного анализа.

Основными требованиями, которые соблюдались при разработке новой схемы производственного процесса, являлись следующие:

1. Сокращение времени процесса;
2. Сокращение затрат ресурсов(заготовок);
3. Сокращение материальных затрат на устранение дефектов в смежных деталях.

Произведено разбиение большого процесса доработки деталей в существующем процессе на несколько циклов (рис.7), начинающегося с целью обеспечения параметров сборки на каждом этапе производства. Доработка в новом производственном процессе будет производиться на

каждом из этапов обработки деталей, включая контрольные точки для сверки размеров смежных деталей, а также при последовательном запуске их в производственный цикл. Новый процесс предусматривает минимизацию затрат на доработку при повышении качества. При существующем варианте производственного процесса основной точкой отслеживания годности деталей являлся контроль окончательный, взаимное отслеживание между собой деталей велось в меньшей степени, что в некоторых случаях приводило к необходимости изготовления новых деталей.

Новая функциональная модель состоит из следующих этапов:

1. Черновая обработка деталей.
2. Контроль черновых операций
3. Доработка после черновых операций (случайная)
4. Обработка деталей окончательная
5. Контроль окончательный
6. Доработка после чистовых операций (случайная)
7. Сборка
8. Списание деталей

Разработанная функциональная модель представлена на рисунке 7.

Указаны взаимосвязи между каждым этапом обработки. После каждого из этапов обработки детали предусмотрен возврат на доработку. Обработка деталей производится последовательно, что позволяет устанавливать взаимосвязь размеров и при отклонении первой из двух деталей доработать вторую смежную деталь в пределах обеспечения допуска на сборку изделия [11].

Основой сетевой модели прогрессивного процесса являются расчеты этапов обработки деталей в модели детали со средним временем обработки (рис.8). Для этапов доработки выделены основные операции, в ходе которых производится устранение дефектов. В зависимости от наиболее вероятных дефектов, был выделен перечень наиболее вероятных операций для включения в дополнительные.

Расчет с использованием модели показывает экономию времени на 9,7 часа, отсутствие длинных циклов доработки, уменьшение затрат на весь цикл изготовления в связи с меньшим числом несоответствий по условиям сборки между деталями, путем последовательного запуска деталей и учета на каждом этапе необходимости доработки. Для более точного сопровождения деталей входящих в узел предполагается электронное сопровождение деталей с алгоритмом сопровождения.

На рис 9 показана диаграмма Ганта для прогрессивного технологического процесса.

При сравнении двух функциональных моделей выявлены большие пути доработки дефек-

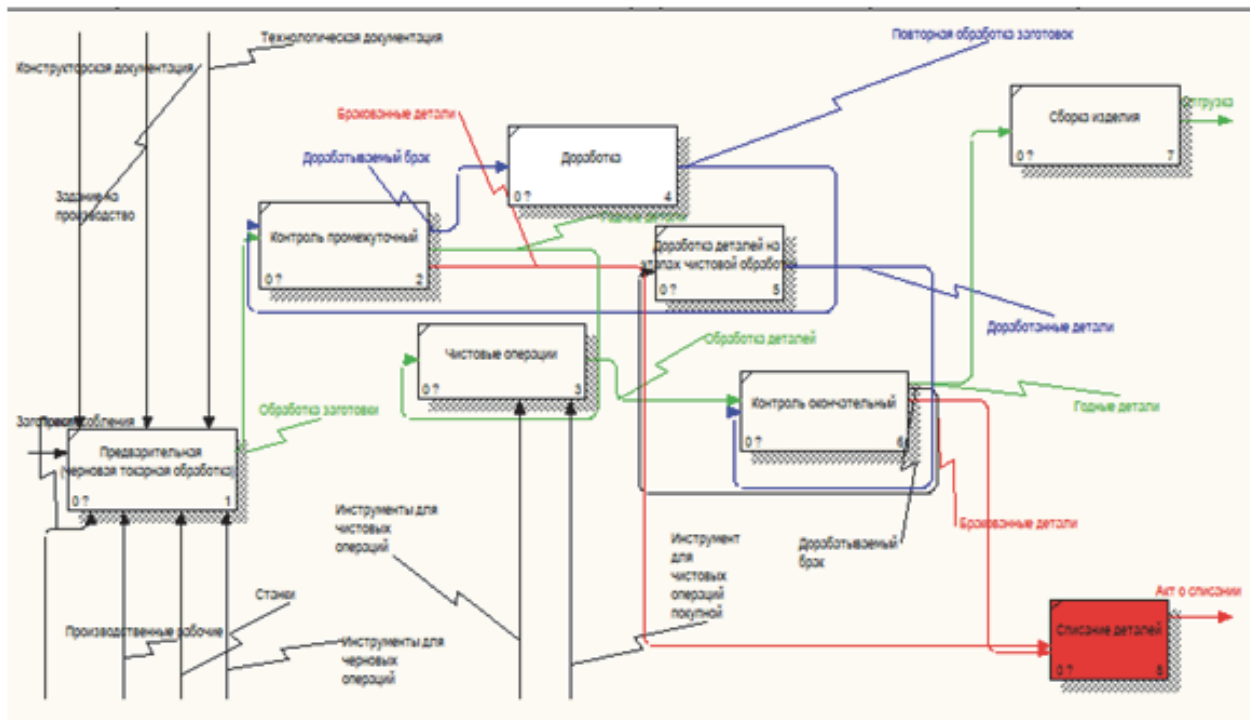


Рис. 7 – Функциональная модель нового процесса

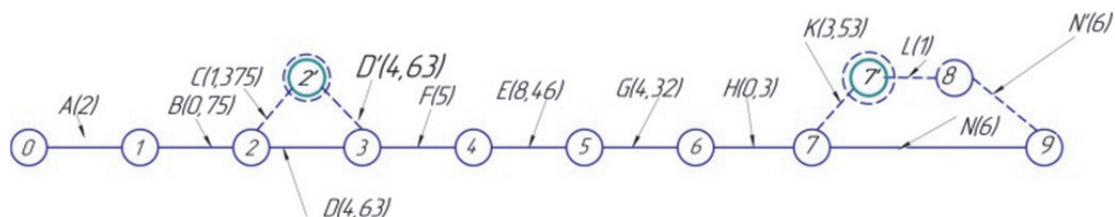


Рис. 8 – Сетевая модель прогрессивного процесса

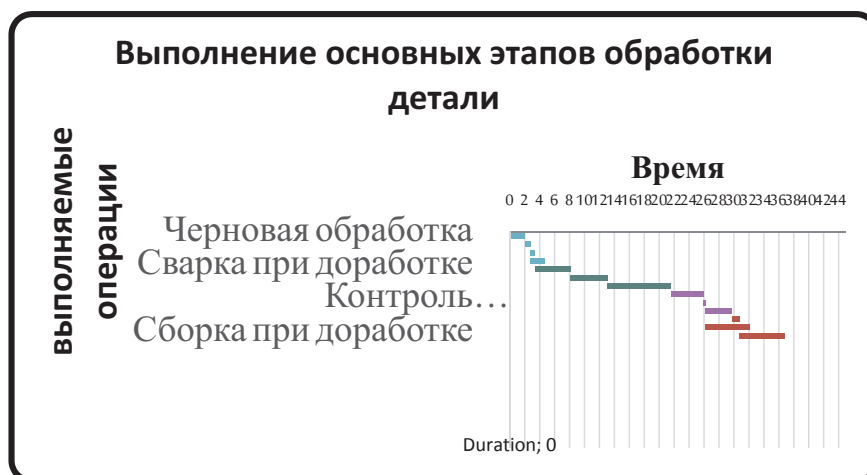


Рис. 9 – Диаграмма Ганта для прогрессивного производственного процесса

тов при существующем процессе. В одном из вариантов изготовление новой детали с полным повтором всего цикла обработки. Однако новая модель имеет уменьшенные циклы доработок на черновом и чистовом этапах обработки деталей до начала сборки узла.

При сравнении общего времени затрачиваемого на полный цикл обработки будем руководствоваться средним временем обработ-

ки детали представителем рассчитанным ранее. Время прохождения деталью представителем существующего производственного 46,4 часов. Время прохождения деталью представителем прогрессивного производственного процесса 36,72 часов. Прогрессивный цикл изготовления деталей и селективной сборки имеет меньшее время полного прохождения, в отличие от существующего на 9,7 часов.

## Информационное сопровождение детали в производственном цикле.

### Создание концепции электронного паспорта детали

На предприятиях авиационного профиля существуют проблемы с сопровождением деталей в производственном цикле [15].

Сопровождение производственного цикла – это комплекс мер, обеспечивающих бесперебойную работу и выпуск продукции в сроки, своевременную регулярное усовершенствование основных и вспомогательных систем.[9]

Сопровождение производственного цикла детали решает следующие задачи [12]:

1.Отслеживание нахождения детали на всех этапах изготовления от заготовки до установки на изделие.

2.Необходимость отслеживания изменений размеров, их соответствия конструкторской документации и технологическому процессу.

3.Дальнейшее отслеживание жизненного цикла детали в процессе эксплуатации изделия и при приходе его на ремонт.

В существующем производственном цикле отслеживание размеров детали производится на бумажных носителях. Паспорт детали формируется на основе предъявительских документов от производственной группы. В данный момент не существует специальной маркировки на детали, поэтому трудно отслеживать время, место изготовления детали и значения ее основных параметров качества. Это занимает достаточно много времени и не позволяет получить достоверную информацию.

Создание электронного паспорта позволит отслеживать пооперационные размеры детали в течение всего технологического процесса, соотносить размеры с другими смежными деталями перед началом их обработки и скорректировать

их дальнейшую обработку с целью сокращения времени на доработку по окончании всего цикла технологического процесса, снижения затрат на сборку изделия, исключения ситуаций, при которых не удавалось выдерживать необходимые условия сборки узла. Все детали узла необходимо привязать к комплекту изделия, чтобы при его поступлении на ремонт был доступен полный набор данных. Это исключает необходимость доработки деталей. Имеется возможность добиться повышения точности сборки при снижении затрат.

При этом бумажная документация будет дублировать информацию о комплекте деталей.

Рассмотрим алгоритм сравнения размеров детали «В» на операции «Контроль окончательный с использованием базы данных на основе электронных паспортов деталей [8]. Размер Ø1356,4-0,1 данной детали является смежным к размеру 1354,7-0,1 детали деталь Сб. ед. «Кольцо «В», «Кольцо «Г».

На рисунке 10 представлена модель процесса сравнения размеров деталей А и Б с использованием данных.

Фактические размеры детали непрерывно поступают в базу данных, где также хранятся эталонные размеры детали в соответствии с ее производственным кодом и номером в конструкторской документации. Фактические и эталонные значения в соответствии с разработанным алгоритмом, представленным на рисунке 11.

Далее идет сравнение смежных деталей, проверка условий сборки: натяга, биения, параллельности и др.

На каждом из этапов проверки детали на соответствие установленным требованиям в базе данных также указывается информация о необходимости отправки на операции доработки детали.

Если совместно обе смежные детали отвечают условиям сборки [8], то условие сборки вы-

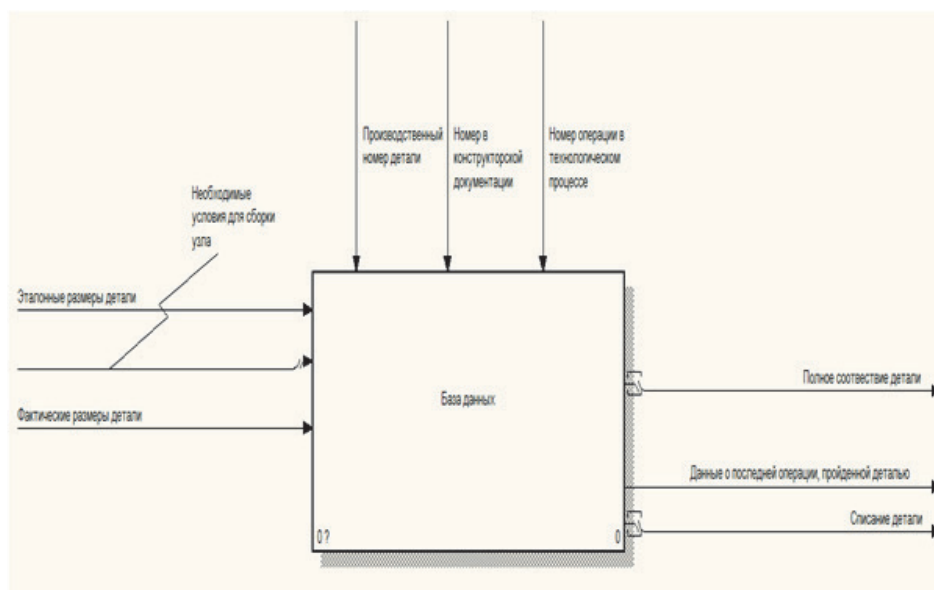


Рис. 10 – Схема обработки входящих и выходящих данных



полнено и детали идут в накопитель данных на изделие. На рисунке 11 представлен алгоритм сравнения параметров деталей с эталонными. На рисунке 12 представлена функциональная модель процесса сравнения параметров деталей.

Работа алгоритма на примере программы Excel предусматривает внесение фактических данных и сравнение с эталонными размерами детали. Для каждой поступающей детали по результатам сравнения с эталонным размером и посадочным размером ответной детали. По результатам сравнения в столбце «Сравнение со смежной деталью» будет делаться вывод о необходимости доработки в данном соединении деталей.

Пример одной из команд в алгоритме сравнения для размера фактического и эталонного выглядит следующим образом: «=ЕСЛИ(D2=E2;»доработка не нужна»;»необходима доработка»)»

По результатам сравнения принимается решение «истина» или «ложь» в зависимости от правильности выполнения операционного размера.

На рисунке 13 представлен пример базы данных, полученной при работе по алгоритму сравнения размеров.

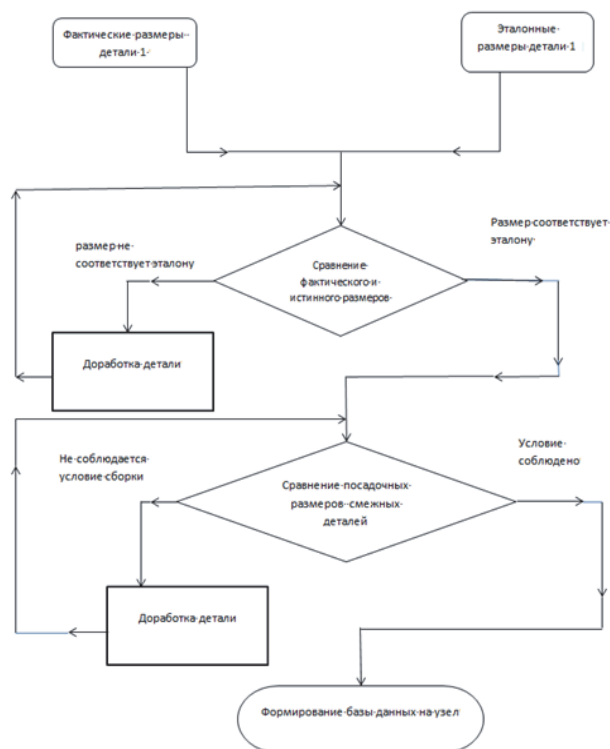


Рис. 11 – Алгоритм Обработки данных

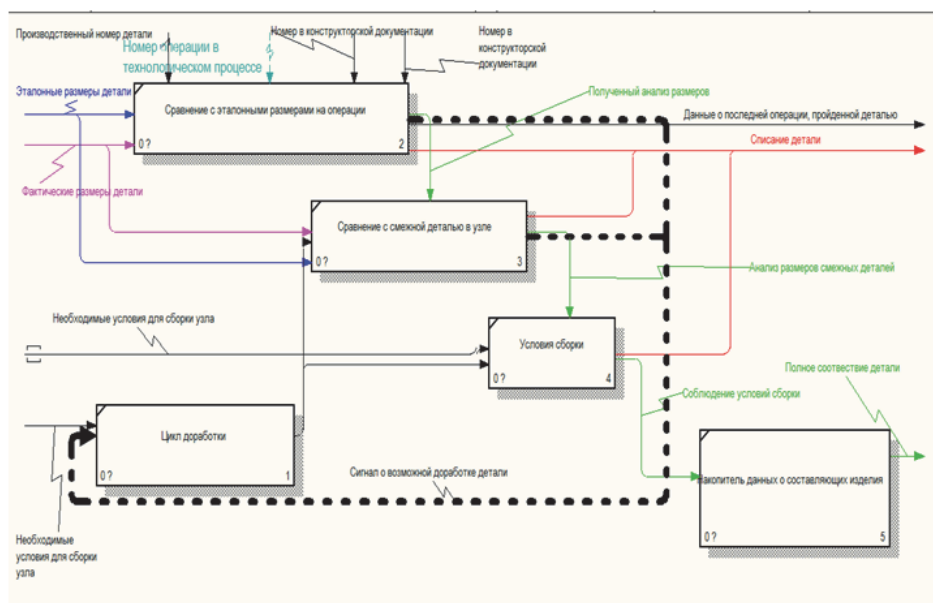


Рис. 12 – Функциональная диаграмма процесса сравнения параметров деталей

| Наименование детали | Производственный номер | Номер операции | номер размера | Фактическое значение размера | Эталонное значение размера нижний порог | Эталонное значение размера верхний порог | Вывод о соответствии | Соблюдение условий сборки                 |
|---------------------|------------------------|----------------|---------------|------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| А                   | 32                     | 100            | 1             | 1392,2                       | 1392,1                                  | 1392,3                                   | размер соответствует |                                           |
|                     |                        |                | 2             | 3,99                         | 4                                       | 5                                        | необходима доработка |                                           |
|                     |                        |                | 3             | 0,4                          | 0,1                                     | 0,3                                      | необходима доработка |                                           |
| Б                   | 34                     | 105            | 1             | 1392,5                       | 1392,2                                  | 1392,4                                   | необходима доработка | Необходима повторная проверка и доработка |
|                     |                        |                | 2             | 45                           | 44                                      | 45,3                                     | размер соответствует |                                           |

Рис. 13 – Пример базы данных в Excel при работе по алгоритму сравнения

При рассмотрении предложенного примера алгоритма сравнения в программе Excel выявлены также ограниченные возможности в виде неудобного интерфейса программы и влияние человеческого фактора при ручном внесении данных в базу.

Одним из возможных решений данной проблемы может стать внедрение в производственной группе (или в рамках цеха) контрольно-измерительной машины, которая позволяет автоматически вносить данные в базу при каждом из измерений.

Учитывая габариты деталей, производимых участком механической обработки, для автоматизации контроля следует выбрать установку, которая будет отвечать следующим требованиям:

1. Возможность измерения детали на станке;

С учетом конфигурации деталей контроль на большинстве операций механической обработки осуществляется непосредственно в зажатом положении на станке.

2. Измерение деталей с наибольшим габаритным размером от 700мм до 1500мм;

3. Транспортабельность и малые габариты применяемого измерительного оборудования.

Необходима транспортабельность измерительного оборудования внутри производственного подразделения для замеров деталей на различных станках.

Наиболее подходящим вариантом для измерения рассматриваемой группы деталей является Портативная координатно-измерительная рука. Данный тип измерительных машин отвечает необходимыми требованиями [14] для измерения выпускаемых деталей изделия.

## ВЫВОДЫ

В данной работе произведено рассмотрение существующего производственного процесса узла статор ГТД. Рассматривались кольцевые детали данного узла и обеспечение условий селективной сборки между кольцами. Выявлены основные недостатки осуществления технологического процесса установленные путем декомпозиции существующего процесса в IDEF0. Спроектирован прогрессивный производственный процесс с разнесением циклов доработки на два малых: после черновой и после чистовой обработки детали. Циклы доработки занимают меньше время, кроме того, последовательный запуск в производство деталей при таком цикле обработки позволит своевременно дорабатывать смежные детали для обеспечения условий сборки. Произведен расчет времени нового производственного цикла для детали представителя при сравнении с временем существующего. Было выявлено, что прогрессивный процесс выигрывает благодаря меньшим затратам и

меньшему времени прохождения от заготовки детали до сборки узла. Функциональная модель прогрессивного процесса имеет меньшие длины циклов доработки и максимально возможно исключает изготовление новой детали.

Для улучшения соблюдения условий сборки был концептуально разработан электронный паспорт детали. Представлен алгоритм работы программы и его функциональная модель. Разработан вариант работы данной программы в программе Microsoft Excel, как наиболее доступного и упрощенного варианта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессуднов, И.А. Совершенствование ремонта деталей газотурбинных двигателей с использованием ресурсосберегающих технологий. Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня / И. А. Бессуднов // В 2 ч. Ч. 1 : материалы 13-й Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 52-55.
2. Авиасоюз 2011. №2. – URL: <http://www.aviasouz.com> (дата обращения 2.04.2018).
3. Годовой отчет Общества (Акционерного общества «Авиационная промышленность» - АО «Авиапром») по итогам деятельности за 2019 год. М.: Авиапром, 2020. – 40 с.
4. Дилигенский, Н.В. Исследование системы управления предприятия на основе методов декомпозиции / Н.В.Дилигенский, Е.А. Матвеева // Информационные технологии. – 2011. – № 2 – С.68-71.
5. Сироткин, Н.Н. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей. Н. Н. Сиротин, Ю. М. Коровкин. – М.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
6. Смирнов, Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. – Изд 2-е, перераб. и дополн. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
7. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 512 с.
8. Непомилуев, В.В. Исследование возможности повышения качества изготовления высокоточных изделий машиностроения путем учета компенсирующей способности деталей при использовании метода индивидуального подбора / В.В. Непомилуев, Е.А. Майорова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – № 9. – С. 11-14.
9. Бычков, И.В. Состояние изделия в течение его жизненного цикла / И.В. Бычков, Ю.В. Вашук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – 2003. – № 18. – С. 111-122.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Касиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
11. Авиационные правила. Часть 21 «Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков

- и изготовителей»: ОАО «АВИАИЗДАТ», 2013. – 49 с.
12. Ефимов, В.В. Улучшение качества продукции, процессов и ресурсов / В.В. Ефимов. – КНОРУС 2007. – 233 с.
  13. Монахов, С.В. Методология анализа и проектирования сложных систем / С.В. Монахов, В.П. Савиных, В.Я. Цветков. – М.: Просвещение, 2005. – 264 с.
  14. Дальский, А.М. Справочник технолога-машиностроителя. – 5-е изд. перераб. и доп. / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т. 2 – 944 с.
  15. Захаров, В.А. Пути достижения заданного качества при сборке ГТД: Учеб. Пособ. – Куйбышев: КуАИ, 1988. – 67 с.

## IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION CYCLE FOR MANUFACTURING PARTS WHILE ENSURING THE PARAMETERS OF THE SELECTIVE ASSEMBLY OF THE UNIT

© 2022 N.A. Sazonnikova, A.V. Sazonnikov

Samara State Technical University, Samara, Russia

The problem of production cycle improving of the gas turbine engine unit is considered. The analysis of existing gas turbine engine unit production cycle was carried out and the identification of its main shortcomings are considered. The paper purpose is to develop a new production cycle for release the products with the assembly quality increase in a shorter production time, the use of selective assembly with the repeated cycles exclusion and with use of an electronic database replenished with actual dimensions using a control and measuring machine, which will speed up the process of controlling parts for compliance assembly requirements.

**Keywords:** production cycle, selective assembly, mechanical assembly production, gas turbine engine, electronic database

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-6-103-113

## REFERENCES

1. Bessudnov, I.A. Sovershenstvovanie remonta detalej gazoturbinnih dvigatelej s ispol'zovaniem resursov beregayushchih tekhnologij. Tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detalej mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoy osnastki ot nano- do makrourovnya / I. A. Bessudnov // V 2 ch. CH. 1 : materialy 13-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2011. – S. 52-55.
2. Aviasoyuz 2011. № 2. – URL: <http://www.aviasouz.com> (data obrashcheniya 2.04.2018).
3. Godovoj otchyot Obshchestva (Akcionernogo obshchestva «Aviacionnaya promyshlennost'» - AO «Aviaprom») po itogam deyatel'nosti za 2019 god. M.: Aviaprom, 2020. – 40 s.
4. Diligenskij, N.V. Issledovanie sistemy upravleniya predpriyatiya na osnove metodov dekompozicii / N.V. Diligenskij, E.A. Matveeva // Infokommunikacionnye tekhnologii. – 2011. – № 2 – S. 68-71.
5. Sirotkin, H.H. Tekhnicheskaya diagnostika aviacionnih gazoturbinnih dvigatelej. H.H. Sirotin, Yu. M. Korovkin. – M.: Mashinostroenie, 1979 – 272 s.
6. Smirnov, H.H. Obsluzhivanie i remont aviacionnoj tekhniki po sostoyaniyu / H. H. Smirnov, A. A. Ickovich. – Izd 2-e, pererab. i dopoln. – M.: Transport, 1987. – 272 s.
7. Volkova, V.N. Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza / V.N. Volkova, A.A. Denisov. – SPb.: Izd-vo SPbGTU, 2001. – 512s.
8. Nepomiluev, V.V. Issledovanie vozmozhnosti povysheniya
9. kachestva izgotovleniya vysokotochnyh izdelij mashinostroeniya putem ucheta kompensiruyushchej sposobnosti detalej pri ispol'zovanii metoda individual'nogo podbora / V.V. Nepomiluev, E.A. Majorova // Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. – 2009. – № 9. – С. 11-14.
10. Bychkov, I.V. Sostoyanie izdelya v techenie ego zhiznennogo cikla / Bychkov I. V., Vashchuk YU. V // Otkrytye informacionnye i komp'yuternye integrirovannye tekhnologii: sb. nauch. tr. Nac. aerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «HAI». – 2003. – № 18. – С. 111–122.
11. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. V 2-h t. T. 2 / Pod red. A. G. Kasilovoj i R. K. Meshcheryakova. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 496 s.
12. Aviacionnye pravila. CHast 21 «Sertifikaciya aviacionnoj tekhniki, organizacij razrabotchikov i izgotovitelej»: ОАО «АВИАИЗДАТ», 2013. – 49 с.
13. Efimov, V.V. Uluchshenie kachestva produkcii, processov i resursov / V.V. Efimov KNOURUS 2007. – 233 s.
14. Monahov, S.V. Metodologiya analiza i proektirovaniya slozhnyh sistem / S.V. Monahov, V.P. Savinyh, V.YA. Cvetkov. – M.: Prosveshchenie, 2005. – 264 s.
15. Dalskij, A.M. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. – 5-e izd. pererab. i dop. / A.M. Dal'skij, A.G. Suslov, A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov. – M.: Mashinostroenie-1, 2001. – Т. 2 – 944 s.
16. Zaharov, V.A. Puti dostizheniya zadannogo kachestva pri sborke GTD: Ucheb. Posob. – Kujbyshev: KuAI, 1988. – 67 s.

Nadezhda Sazonnikova, Doctor of Science (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Technosphere safety and quality management.

E-mail: [nasazonnikova@yandex.ru](mailto:nasazonnikova@yandex.ru)

Alexey Sazonnikov, Leading Specialist PAS "Kuznetsov".