

## **Модель оценки производительности цеха окончательной сборки летательных аппаратов**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Предложена модель управления потоками комплектующих, деталей и заготовок на авиационном предприятии в цехе окончательной сборки самолетов. Данная модель основана на анализе технологических операций сборочных рабочих мест; исследовании маршрутизации внутри цеха и способов доставки комплектующих из других цехов и предприятий; моделировании неблагоприятных состояний процесса сборки (отказ, разрушение, дефект). Процесс сборки на каждом рабочем месте представлен в виде класса активного объекта имитационной модели с возможностью варьирования параметров времени обработки и времени доставки комплектующих. Для исследования текущего и перспективного состояния использованы методы и инструментальные средства имитационного моделирования. Планируемая модель работы цеха после эксперимента содержит статистические данные о занятости обеспечивающих ресурсов и производительности. В результате проведения серии экспериментов в производство внедрен вариант организации сборочного процесса с максимальным коэффициентом производительности цеха.

**Ключевые слова:** авиационная техника (АТ), летательный аппарат (ЛА), система массового обслуживания (СМО), технологическая операция (ТО), жизненный цикл (ЖЦ), сборочный процесс (СП), рабочее место (РМ).

### **Введение**

Жизненный цикл сложной техники имеет несколько стадий, каждая из которых может быть рассмотрена в виде отдельного проекта. В стандарте определены основные стадии: исследование, аванпроект; опытно-конструкторские работы, опытно-технологические работы; производство; снабжение заказчика; эксплуатация; ремонт; обеспечение эксплуатации и ремонта предприятиями промышленности; снятие с производства [1]. Этап производства ЛА является наиболее трудоемким и сопровождается большим количеством контрольных операций. Процессы сборки этапа производства ЛА сопровождаются многими факторами, которые влияют на время выполнения технологических процессов. Среди этих факторов следует выделить: разную интенсивность входных материальных потоков, нечеткость в задании времени выполнения отдельных ТО и др. Следовательно, необходимо уделить должное внимание процессу сборки, а именно управлению процессами, автоматизации процесса оценки производительности отделов при составлении технологического маршрута на авиационном заводе в цехах сборки АТ.

В имитационном моделировании существуют модели производства и сборки [2]: Equipment downtime, Beverage Production и др. Однако они ориентированы на другие отрасли производства и не могут использоваться для создания АТ.

### **1. Постановка задачи**

Первоочередной задачей согласования процесса сборки на рабочих местах цеха является разработка теоретико-множественной модели маршрутов технологических процессов.

Для автоматизации расчета производительности цеха окончательной сборки необходимо создать имитационную модель с заданием интенсивности поступления комплектующих и выбора способа его доставки в цех. Необходимо учиты-

вать, что каждое РМ предназначено для определенных работ, например, для стыковки функциональных частей ЛА, прокладывания коммуникаций внутри салона и т. д. Кроме того, необходимо иметь в виду, что существует технология каждой выполняемой работы. Поэтому в модели должен быть разработан план перемещения комплектующих по цеху с учетом последовательности проведения работ по сборке и наличия свободных РМ в цехе. Целью построения модели является повышение производительности работы цеха с учетом организационных мер по функционированию отдельных его элементов

На производительность цеха окончательной сборки будет влиять своевременность поставки комплектующих, согласование времени выполнения отдельных технологических операций между собой, включая время на транспортировку. В результате построения модели формируются диаграммы занятости обеспечивающих ресурсов каждого рабочего места и коэффициент производительности всего цеха. Данный коэффициент рассчитывают путем деления количества готовых изделий, поступивших к выходу из цеха, на время работы цеха (с учетом коэффициента масштабирования виртуального времени модели).

## 2. Теоретико-множественная модель маршрутных процессов сборки ЛА

Рассматриваемое авиационное производство организовано по конвейерному принципу, и цех окончательной сборки ЛА может рассматриваться как СМО. СМО называется любая система, предназначенная для обслуживания какого-либо потока заявок, основной задачей которой является изучение режима функционирования обслуживающей системы и исследование явлений, возникающих в процессе обслуживания.

Предложенная модель определяется следующими основными составляющими:

1) фиксированным набором РМ в цехе:

$$R = \{R_i\}, i = 1, 7, \quad (1)$$

где  $R_i$  – система РМ, количество и структура которого определяются технологией сборки и нормативами предприятия;

2) фиксированным набором ТО сборочного цеха:

$$W = \{W_j\}, j = 1, N, \quad (2)$$

где  $W_j$  – ТО;

$N$  – количество ТО сборочного цеха.

Структура ЛА имеет сложный иерархический вид. При этом деталесборочную единицу (ДСЕ) любого уровня с позиций теоретико-множественной модели можно формализованно представить как результат объединения: ДСЕ нижних уровней; деталей, составляющих ДСЕ (произведенных технологическими цехами непосредственно на данном предприятии); покупных изделий и крепежа:

$$D^i = \{D_t^{i+1}\} \cup \{DS_s\} \cup \{P_v\} \cup \{K_q\}, \quad (3)$$

где  $D^i$  – сборка  $i$ -го уровня;

$D_t^{i+1}$  –  $t$ -я сборка  $(i+1)$ -го уровня;

$DS_s$  –  $s$ -я деталь, изготовленная на предприятии;

$P_v$  – v-е изделие;

$K_q$  – q-й элемент крепежа;

3) конкретной специализацией каждого РМ:

$$S_{R_i, W_j} = \begin{bmatrix} R_1 & W_1 \\ \vdots & \vdots \\ R_i & W_j \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $S_{R_i, W_j}$  – бинарное отношение между элементами производственной структуры и подмножеством технологий  $W_j$ , которые используют на этом участке;

4) возможными техническими состояниями, которые могут быть приписаны заготовке в случае какого-либо несоответствия нормативной базе. Так, при работе с объектом могут возникнуть определенные неисправности, которые классифицируют на три группы – дефект, разрушение, отказ [3]:

$$\alpha = \langle \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \rangle. \quad (5)$$

Условием перехода детали из исходного в состояние дефектности  $\alpha_1$  является переход процесса деградации с субмикроуровня на микроуровень. На стадии применения это означает, что состояние дефекта материала детали можно определить с использованием стандартных диагностических методов и средств. Переход детали из состояния дефекта в состояние разрушения  $\alpha_2$  происходит в тот момент, когда параметры повреждения материала детали вплотную приближаются к пределу допустимых значений согласно техническим требованиям. Переход детали из состояния разрушения в состояние отказа  $\alpha_3$  фиксируется в момент, когда параметры повреждения материала детали выходят за пределы допустимых эксплуатационных значений;

5) множеством комплектующих, которые доставляются с других предприятий, цехов и монтируются на фюзеляж. Время доставки определяется интенсивностью (интенсивность потока заявок  $\lambda$  – это среднее число заявок, поступающих и обслуживаемых в СМО в единицу времени на одном из каналов обслуживания [4]),

$$\lambda = \lambda_1, \dots, \lambda_n, \quad (6)$$

где  $n$  – количество комплектующих элементов, поставляемых в цех сборки.

Преимущества модели заключаются в том, что есть возможность проследить изменение величины производительности с учетом возможного обнаружения на производстве несоответствий  $\alpha_i$ , которые способствуют снижению этой производительности. После исследования полученной модели изменяют соответствующие характеристики предприятия и собирают статистические данные для дальнейшего повышения производительности.

Полученная теоретико-множественная модель является основой для построения логико-алгоритмической модели исследования производительности цеха сборки ЛА и дальнейшего проведения имитационных экспериментов.

### 3. Структура имитационной модели цеха окончательной сборки

Программной реализацией исследования построенной теоретико-множественной модели цеха окончательной сборки ЛА является имитационная

модель, построенная с использованием инструментальной среды имитационного моделирования Anylogic, ее библиотеки Enterprise Library. Используется дискретно-событийный метод имитационного моделирования.

Основными компонентами реализованной системы имитационного моделирования являются: генератор входящего потока заявок на обслуживание, конвейер для перемещения сборочной единицы, очередь на обработку сборочных единиц, компонент для совмещения заявок в одну, элемент для задержки заявок на время проведения работ по сборке деталей и комплектующих, проверяющий компонент на соответствие нормам, элемент для удаления заявок, компоненты для определения интенсивности поступления комплектующих на каждое рабочее место. Компонентный состав модели рассмотрен на рис. 1. Модель имеет два генератора для поступления основного агрегата (fuzel) и других комплектующих (kompl, source) и два узла, уничтожающие заявки, для имитации выхода готового изделия (sink) и списание бракованного (sink1). Каждое рабочее место включает в себя набор отдельных ТО (рис. 2). В цехе окончательной сборки ЛА выполняют шесть технологических процессов [5]. При этом оборудовано семь РМ, на каждом из которых может находиться по одному агрегату: на первом РМ устанавливают вертикальное и горизонтальное оперение, двери, багажные люки, киль и стабилизатор, монтируют электропровод и трубопровод; на втором – монтируют крылья, ВСУ и передний обтекатель; вешают шасси; на третьем – на крыло устанавливают пилоны крепления двигателей, предкрылки, закрылки, заделывают электросоединения; на четвертом – монтируют систему гидравлики и систему кондиционирования воздуха, обнаруживают всевозможные утечки, монтируют каркас обтекателя крыло-фюзеляж, опрессовывают фюзеляж, устанавливают радиоэлектронное оборудование; на пятом – самолет «ставят под ток»; на шестом – в самолет монтируют салон, двигатели, кабину экипажа, проводят общий техосмотр и передают его на летно-испытательную станцию; на седьмом – проводят демонтаж агрегата в случае обнаружения дефекта. Существует набор работ, которые могут проводиться параллельно, например, на четвертом РМ одновременно могут выполнять работы по монтажу системы кондиционирования и каркаса обтекателя, что существенно сокращает время задержки заготовки на этом РМ.

Пользователь задает начальные условия: время обработки заявок на каждом РМ и на каждом узле, интенсивность поступления заготовки и комплектующих на каждое РМ, вероятность выявления несоответствий нормам. В случае обнаружения несоответствий, регламентированных как отказ, на предприятии проводят ряд работ по их устранению. Но так как по сравнению со временем работы всего РМ это время мало, то в разработанной модели эти работы не учитывают. А вот в случае технического состояния разрушения, заготовку задерживают на РМ на время, за которое эти несоответствия устраняют. В разработанной модели это время имитируется путем задержки заготовки на время, за которое проводят заново ряд работ, присущих данному РМ. В случае технического состояния дефекта, заготовку перемещают на дополнительное РМ, где проводят демонтаж самолета. Результаты, полученные в ходе серии экспериментов, оценивают и делают выводы о соответствии полученных показателей производительности с необходимыми и ожидаемыми на производстве.

Если же результаты неудовлетворительные, то у пользователя есть возможность перезапустить модель с другими входными данными.

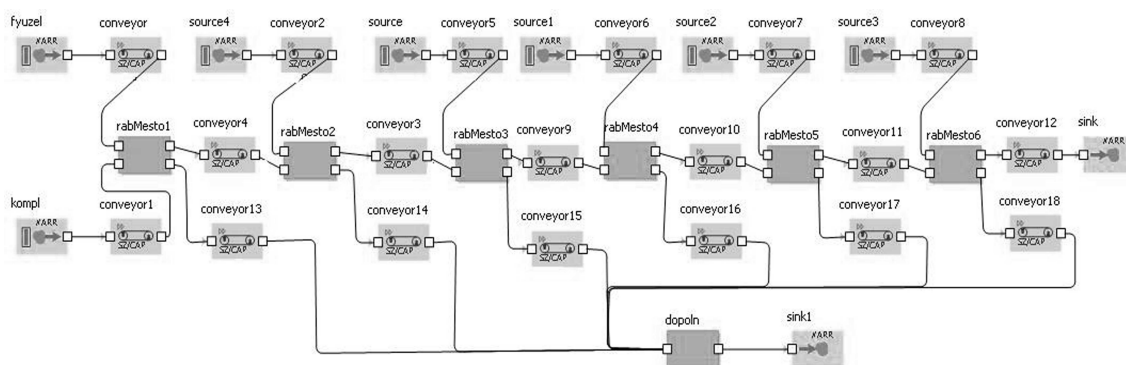


Рис. 1. Имитационная модель сборочного цеха

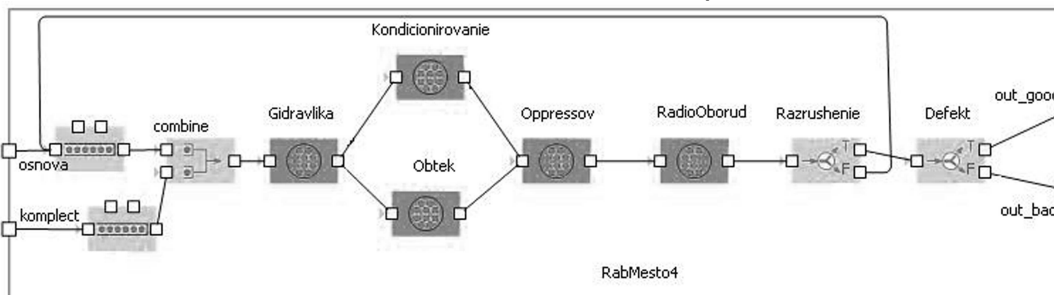


Рис. 2. Имитационная модель рабочего места по установке оборудования

### Заключение

В данной работе представлена схема компонентного состава инструментальной среды, разработанная для оценивания производительности работы цеха окончательной сборки ЛА на основе исследования существующих авиапредприятий с применением методов имитационного моделирования. Проанализированы этапы ЖЦ, выполняемые при создании ЛА, в результате чего был сделан вывод о формировании имитационной модели, которая отображает структуру работ цеха сборки ЛА. Рассмотрены ТО, проводимые на каждом этапе сборки ЛА. На основе структуры действующего цеха по сборке, предложенной в работе [5], разработаны теоретико-множественная и имитационная модели цеха сборки ЛА.

### Список литературы

1. ДСТУ 3278-95. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 2001. – 255 с.
2. Официальный сайт Экс Джей Технолджис: [www.xjtek.com](http://www.xjtek.com). – Режим доступа 08.04.2013
3. Николайчук, А. Прототип интеллектуальной системы для исследования технического состояния механических систем/ А. Николайчук, А. Юрин // Искусственный интеллект. – 2006. – Трав.–черв. – С. 459–468.
4. Казаков, О.Л. Экономико-математическое моделирование: Учебное пособие / О.Л.Казаков, С.Н. Миненко, Г.Б Смирнов: [www.sde.ru/files/t/Kazakov/Book/section4.pdf](http://www.sde.ru/files/t/Kazakov/Book/section4.pdf) – Режим доступа 08.04.2013
5. Официальный сайт ОАО «Компания «Сухой»»: [www.sukhoi.org](http://www.sukhoi.org) – Режим доступа 08.04.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. зав. каф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков  
Поступила в редакцию 19.04.2013

## **Модель оцінки продуктивності цеху остаточного складання літальних апаратів**

Запропоновано модель управління потоками комплектуючих, деталей та заготовок на авіаційному підприємстві в цеху остаточного складання літаків. Дана модель заснована на аналізі технологічних операцій складальних робочих місць; дослідженні маршрутизації всередині цеху та способів доставки комплектуючих з інших цехів і підприємств; моделюванні несприятливих станів процесу складання (відмова, руйнування, дефект). Процес складання на кожному робочому місці представлений у вигляді класу активного об'єкта імітаційної моделі з можливістю варіювання параметрів часу обробки і часу доставки комплектуючих. Для дослідження поточного та перспективного стану використані методи та інструментальні засоби імітаційного моделювання. Планована модель роботи цеху після експерименту містить статистичні дані про зайнятість забезпечуючих ресурсів та продуктивності. У результаті проведення серії експериментів у виробництво впроваджено варіант організації складального процесу з максимальним коефіцієнтом продуктивності цеху.

**Ключові слова:** авіаційна техніка (АТ), літальний апарат (ЛА), система масового обслуговування (СМО), технологічна операція (ТО), життєвий цикл (ЖЦ), складальний процес (СП), робоче місце (РМ).

## **The final assembly shop aircraft efficiency qualification model**

A model of flow control components, parts and pieces for the aviation industry in the final assembly shop aircraft is proposed. This model is based on an analysis of technological operations of assembly workplaces; study routing inside the shop and methods of delivery of components from other shop and industries, simulating unfavorable state of the assembly process (bug, destruction and defect). The assembly process at each workplace is presented in the form of class active object simulation model with the possibility of varying the parameters of the processing time and delivery time components. To study the current and future state of the methods and tools of simulation are used. The proposed model of the shop after the experiment contains statistical data on occupation provides resources and performance. A version of the organization assembly process with the maximum coefficient of the performance shop is implemented in the production as a result series of experiments.

**Keywords:** aviation mechanism (AM), aircraft (AC), the queuing system (QS), process operation (PO), life cycle (LC), assembly process (AP), workplace (WP).