

Рапачкий, Юрій  
Леонідович,  
Повышение производительности швейных автоматизированных линий с помощью базы системного моделирования.

Рапачкий Ю. Я.

Повышение производительности швейной автоматизированной линии складками на базе системного моделирования.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 „Автоматизація технологічних процесів і виробництв“ Севастопольського державного технічного університету. Севастополь. 1996 рік.

Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / Севастопольський ун-т. Севастополь, 1996.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00751982 (W)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Создание высокоэффективных гибких производственных систем (ГПС) является важной задачей развития машиностроения и требует комплексного подхода к автоматизации всех технологических процессов. Необходимость проведения автоматизации остро ощущается в сборочных работах, трудоемкость которых в среднем по отраслям промышленности составляет 35...40%, а в машиностроении - до 70 % от общей трудоемкости изготовления изделий и имеет тенденцию к росту. Поэтому автоматизация сборочных работ является одним из ключевых направлений развития машино-приборостроения.

Особенностью сборочных процессов является значительная неопределенность функционирования системы в целом, вызываемая, в частности, отказами. Поэтому повышение надежности сборочных систем является исключительно актуальной задачей.

Проблемы теории автоматизированных линий, их эффективной эксплуатации рассмотрены в работах Владзиевского А.П., Волчкевича Л.И., Дашенко А.И., Клусова И.А., Коппа В.Я., Обжерина Ю.Е., Султан-ваде Н.М., Федотова А.И., Шаумяна Г.А., Ямпольского Л.С, Хартли Дж., Хегинботама У.В. и др.

Одним из способов повышения надежности АСС является временное резервирование - создание резерва времени, в течение которого отказы отдельных компонентов АСС не приводят к остановке системы в целом. В гибких автоматизированных линиях сборки (ГАЛС) для создания резерва времени между отдельными ячейками сборки (ЯС) размещают накопители промежуточной продукции. Кроме межоперационных накопителей, размещаемых между соседними ЯС, в ГАЛС могут быть предусмотрены внутриоперационные устройства на-

ЛНБ им. Г.С. Седук  
АВ 37-877

копления, например, подающие лотки, осуществляющие временное резервирование по отношению к бункерно-загрузочным устройствам. Конструктивно накопители могут быть реализованы как отдельные устройства, их функции могут выполнять также участки конвейеров транспортной системы и автоматизированные склады.

При увеличении емкостей накопителей наряду с повышением надежности сборочной линии растет объем незавершенного производства, а также растут затраты на установку и эксплуатацию накопительных устройств. Таким образом, при проектировании ГАЛС необходимо решить задачу оптимального временного резервирования, которая заключается в определении требуемых объемов межоперационных накопителей. Решение задачи параметрической оптимизации ГАЛС возможно только на основе математических моделей требуемой степени адекватности, позволяющих с необходимой точностью определить надежность и производительность линии, а также средние значения запасов промежуточной продукции в накопителях по известным значениям исходных параметров элементов сборочной системы.

Одной из особенностей АСС как объекта моделирования является неэкспоненциальное распределение параметров надежности элементов системы, имеющее место в большинстве известных примеров реальных линий. Отсутствие математических моделей АСС, учитывающих это обстоятельство, приводит к значительным ошибкам при моделировании.

Таким образом, системное моделирование ГАЛС является актуальной задачей, решение которой позволяет повысить эффективность эксплуатации линий.

ОБЪЕКТОМ ИССЛЕДОВАНИЯ в диссертации являются гибкие автоматизированные линии сборки.

ЦЕЛЮ РАБОТЫ является повышение надежности и производительности автоматизированных сборочных систем на базе построения системно организованных математических моделей, описывающих различные уровни иерархии указанных объектов с использованием обобщенных законов Эрланга для аппроксимации реальных распределений характеристик надёжности.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие взаимосвязанные задачи.

1. Формализация постановки задачи математического описания функционирования однопоточных ГАЛС и их основных элементов - ЯС и накопителей.

2. Разработка принципов построения информационно согласованных моделей однопоточных сборочных систем.

3. Построение полумарковской модели ГАЛС, позволяющей определять не только её параметры надежности и производительности, но и среднестатистические заделы продукции в накопителях, являющейся открытой, т.е. обеспечивающей возможность информационного согласования с моделями объектов верхних и нижних уровней иерархии.

4. Построение полумарковских моделей основных элементов ГАЛС (ЯС и накопителей), выходные параметры моделирования которых являются исходными для расчета ГАЛС, что обеспечивает информационную согласованность математического описания элементов различных уровней иерархии.

5. Разработка обобщенного критерия оптимизации параметров ГАЛС с учетом её надежности и расчетного изменения производительности труда.

6. Постановка и решение задачи параметрической оптимизации ГАЛС на базе моделей функционирования сборочных линий.

7. Проведение экспериментальных исследований и имитационного моделирования ГАЛС для проверки адекватности полученных математических моделей.

8. Разработка структуры и принципов реализации диалогового программного комплекса (ДПК) для анализа ГАЛС и выбора их основных параметров.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Для решения поставленных задач использован аппарат теории полумарковских процессов с общим фазовым пространством, методы теории массового обслуживания, марковских процессов, математического анализа, математической теории надежности, математической статистики, имитационного моделирования.

Экспериментальные исследования осуществлялись в производственных условиях, а имитационное моделирование и обработка экспериментальных данных - на ПЭВМ.

#### НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Предложен подход к построению комплекса системно организованных иерархических моделей сборочных систем.

2. Определены параметры информационного и структурного согласования моделей элементов различных уровней иерархии, необходимые для системного моделирования автоматизированных сборочных линий.

3. Применительно к сборочным системам для аппроксимации реальных законов распределения параметров надежности использованы обобщенные законы Эрланга второго порядка со смещением и на базе аппарата полумарковских процессов с общим фазовым пространством осуществлено построение комплекса информационно согласованных моделей исследуемых объектов и их элементов.

4. Построена полумарковская модель ОГАЛС, учитывающая не-

экспоненциальный характер распределения надежностных параметров её элементов и позволяющая определять надежность и производительность линии, а также средние длины очередей в накопителях.

5. Построены обобщенные полумарковские модели сборочной ячейки типовой структуры и накопителя, информационно согласованные с математическим описанием ОГАЛС. Выходные параметры моделей являются исходными данными для моделирования ОГАЛС, а сами модели могут использоваться самостоятельно.

6. Предложен вариант обобщенного экономического критерия оптимизации параметров ГАЛС с учетом надежности её элементов и расчетного изменения производительности труда.

7. На основе предложенного экономического критерия поставлена и решена задача параметрического синтеза, состоящая в выборе оптимальных объемов межоперационных накопителей, обеспечивающих максимальный коэффициент готовности при ограничении затрат на образование заделов промежуточной продукции в них, а также на их максимальные объемы.

#### ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ

1. Разработан комплекс системно организованных математических моделей сборочных систем, реализованный в виде пакета прикладных программ, которые могут эффективно применяться для анализа и расчета параметров различных реальных производственных систем.

2. Предложена методика параметрического синтеза ГАЛС, состоящая в определении оптимальных объемов межоперационных накопителей. Методика применима как при проектировании, так и при модернизации функционирующих сборочных систем. Использование указанной методики предполагает минимальные аппаратные затраты, а в ряде случаев позволяет обойтись без них при модернизации

эксплуатирующихся автоматизированных линий. Применение методики позволяет повысить эффективность ГАЛС за счет увеличения ее надежности и производительности.

3. Разработаны рекомендации по использованию предлагаемых и существующих моделей с учетом пределов их применимости.

4. Разработаны принципы организации, структура и состав диалогового программного комплекса (ДПК) для анализа и выбора основных параметров ГАЛС. ДПК в целом и его отдельные программные модули построены с учетом возможности сбора исходных данных в производственных условиях. Структура ДПК является открытой для включения в него новых моделей ГАЛС.

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Работа выполнена в составе хоздоговорных НИР департамента Автоматизации технологических процессов и производств Севастопольского государственного технического университета: х/д NN 1234, 1302, 1321, 1322, а также в составе госбюджетной НИР 1991-1993 г.г. указанного департамента, включенной в планы Минвуза Украины (приказ N 299 от 29.12.1986 г.) Научные выводы, рекомендации, методики внедрены и использованы при исследовании и проектировании автоматизированных сборочных систем в НПО "Оргтехавтоматизация" (г. Симферополь) и на Мелитопольском моторном заводе (г. Мелитополь). Ряд теоретических положений и практических разработок внедрены в учебный процесс в СевГТУ и Тернопольском приборостроительном институте. Годовой экономический эффект от внедрения результатов диссертации составляет 59,5 тыс. руб. в ценах до 1991г.

**АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5-м Всесоюзном совещании по робототехническим системам (Геленджик, 1990 г.); Международной конференции "Системная автоматизация, роботика и

фабрики будущего-93" (Санкт-Петербург, 1993 г.); научно-технической конференции "Высокопрочная керамика - производство и рынок" (Севастополь, 1993 г.); ежегодных научно-технических конференциях СевГТУ (Севастополь, 1989-1995 г.); Международном семинаре "Автоматизация: Проблемы, идеи, решения." (Тула, 1996 г.); Международных конференциях и школах-семинарах "Проблемные вопросы автоматизации" (Севастополь, 1994-1996 г.); 3-й Украинської конференції з автоматичного керування "Автоматика-96" (Севастополь, 1996 г.); научных семинарах департамента автоматизации технологических процессов и производств СевГТУ.

**ПУБЛИКАЦИИ.** По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы из 124 наименований. Основная часть работы изложена на 175 страницах машинописного текста и содержит 21 рисунков и 8 таблиц.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Подход к построению комплекса системно организованных иерархических моделей сборочных систем.
2. Методика применения обобщенных законов Эрланга со смещением для аппроксимации реальных законов распределения параметров надежности элементов сборочных систем и построения комплекса моделей указанных систем на базе аппарата полумарковских процессов с общим фазовым пространством.
3. Полумарковская модель ОГАЛС, построенная с учетом неэкспоненциального распределения параметров надежности элементов сборочной системы.
4. Обобщенные полумарковские модели типовой сборочной ячейки и накопителя, структурно и информационно согласованные с

математическим описанием ОГАЛС.

5. Методика выбора оптимальных объемов межоперационных накопителей.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, изложена ее структура.

В первой главе рассматривается структура сборочного производства как объекта автоматизации, проведен анализ современных методов и средств повышения надежности АСС.

Сборочный комплекс предприятия представлен рядом иерархических уровней: цеха, участка, линии, ячейки сборки, которая, в свою очередь, включает гибкие технологические устройства, состоящие из элементарных модулей. Взаимосвязанное функционирование всех элементов обеспечивается транспортно-накопительной и загрузочной системой, имеющей свою иерархическую структуру.

Из анализа средств и методов повышения надежности АСС следует, что применение накопителей требует сравнительно небольших затрат и позволяет существенно повысить надежность и гибкость сборочных систем.

Из обзора теоретических исследований в рассматриваемой области сделаны следующие выводы:

1. Подавляющее большинство известных моделей не дает ответа на вопрос о запасах продукции в накопителях.

2. В работах по моделированию многофазных технических систем с временным резервированием, недостаточно учтен тот факт, что параметры надежности элементов указанных систем могут быть распределены неэкспоненциально.

На основе проведенного анализа структуры АСП и проблемы

повышения надежности его функционирования, а также выполненного обзора теоретических исследований, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, указанные выше.

Во второй главе рассмотрены вопросы, связанные с математическим описанием функционирования однопоточных ГАЛС.

В п. 2.1.1 изложены принципы системного моделирования ГАЛС. Показано наличие структурной и информационной взаимосвязи и взаимовлияния между различными иерархическими уровнями сборочных систем. Предложен подход к моделированию многопоточных гибких автоматизированных линий сборки (МГАЛС) как композиций из нескольких ОГАЛС, состоящих, в свою очередь, из накопителей и сборочных ячеек, содержащих отдельные технологические устройства. Модели элементов нижних уровней иерархии строятся аналогично математическим описаниям объектов более высоких уровней. Рассмотрена также методика эквивалентного преобразования различных реальных структур сборочных линий, отличающихся от нормального вида, предполагающего наличие накопителя  $N_k$  между любыми двумя ячейками сборки  $Я_{C_{k-1}}$  и  $Я_{C_k}$ . Предварительное преобразование исходных структур к нормальному виду является одним из условий применимости предлагаемых моделей. В п. 2.1.2 приведен подробный структурный анализ исследуемого объекта, необходимый для формализации его математического описания. Предложено, как и в [1], осуществить декомпозицию структуры ГАЛС на основные и сопряженные участки, структуры которых показаны на рис. 1, а, б. В отличие от известных моделей, предлагается для построения полумарковской модели ОГАЛС преобразовать структуры основного и сопряженного участков. В каждый из этих участков вводятся дополнительные элементы  $\Phi_{N_k}$ , имеющие надежностные параметры, т.е. функции распределения времени наработки на отказ

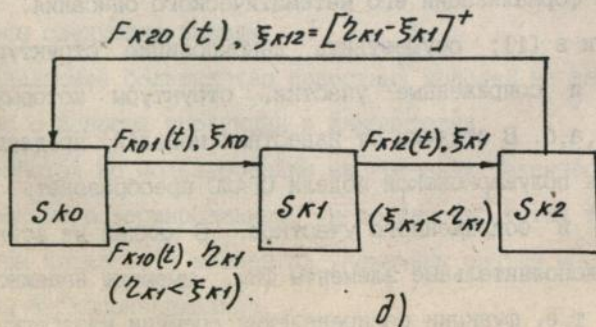
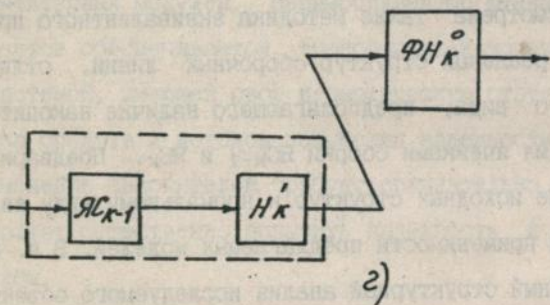
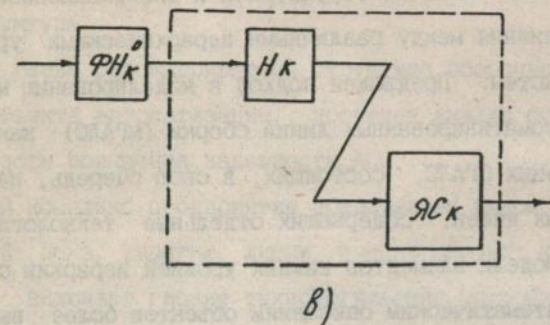
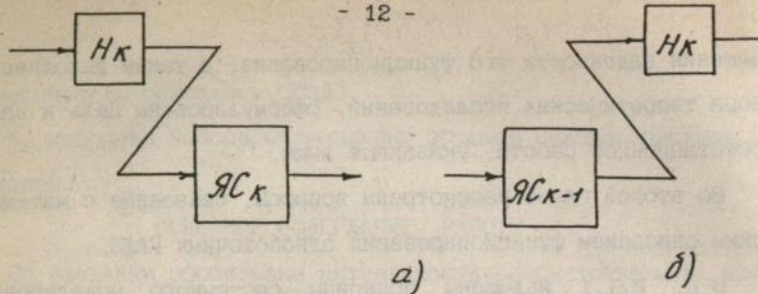


Рис. 1. Структуры и граф состояний участков ГАЛС

и восстановления такие же, как у накопителя  $H_k$  на рис. 1, а, б. Предположим также, что накопитель  $H_k'$  (рис. 1, в, г) имеет абсолютную надежность и характеризуется только емкостью  $m_k$ . Такое предположение допустимо благодаря наличию элемента  $\Phi H_k$ . Граф состояний основного участка, содержащего абсолютно надежный накопитель, приведен на рис. 1, д.

В п. 2.2.1 рассмотрена применимость предлагаемых и существующих моделей.

В математических моделях ГАЛС, предлагаемых в данной работе, для расчета параметров линий используется метод вложенных итераций, описанный в п. 2.2.1. Метод позволяет разрешить противоречие между модульным описанием составляющих элементов системы и необходимостью учета их взаимовлияния.

В п. 2.2.2 построена полумарковская модель ГАЛС, использующая результаты выполненного в п. 2.1.2 структурного анализа объекта исследования.

Состояния на графе на рис. 1, д:  $S_{k0}$  - ЯС<sub>к</sub> исправна;  $S_{k1}$  - ЯС<sub>к</sub> неисправна, но в  $H_k'$  есть свободные места и он принимает продукцию;  $S_{k2}$  - ЯС<sub>к</sub> неисправна,  $H_k'$  заполнен до отказа и продукцию не принимает. Время безотказной работы ЯС<sub>к</sub> является случайной величиной  $\xi_{k0}$ , время его восстановления из состояния  $S_{k1}$  случайной величиной  $\eta_{k1}$ , время прекращения работы накопителя из состояния  $S_{k1}$  при его заполнении - случайной величиной  $\xi_{k12}$ , а время восстановления ЯС<sub>к</sub> из состояния  $S_{k2}$  - случайной величиной  $\xi_{k2}$  (рис. 1, д).

На основании описанного графа определено стационарное распределение полумарковского процесса (ПМП) для участка и его коэффициент готовности. Для совместно функционирующих участка и элемента  $\Phi H$  коэффициент готовности определяется как для восстанавливаемой системы, описываемой ПМП, отвечающим супер-

позиции двух независимых альтернирующих процессов восстановления (АПВ). Далее определены  $K_T$  для сопряженных участков и ГАЛС в целом. Затем найдена производительность ГАЛС и предложена методика определения параметров закона Эрланга  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  и  $\tau$  по математическим ожиданиям и дисперсиям параметров надежности линии. Средние длины очередей в накопителях ГАЛС вычисляются с помощью итерационной процедуры.

В третьей главе построены полумарковские модели основных элементов ГАЛС - ЯС обобщенной структуры и накопителя, основанные на таких же предположениях, как и рассмотренная модель линии. Для устройства выдачи деталей (бункер с лотком) с абсолютно надежным накопителем определяется стационарное распределение ПМП и  $K_T$ . Определены также  $K_T$  остальных элементов ЯС.

Функция распределения  $K_1(t)$  времени  $\Omega$  пребывания полумарковского процесса во множестве работоспособных состояний  $E_1$  с началом в состоянии  $S_1$ ,  $S_1 \in E_1$  удовлетворяет системе интегро-дифференциальных уравнений, которая с учетом того, что  $S_0 \in E_1$ ,  $S_1 \in E_1$ ,  $S_2 \in E_2$  примет вид:

$$\begin{cases} K_1(t) - \int_0^t K_0(t-u) dP_{10}(u) + P_{12}(t) \\ K_0(t) - \int_0^t K_1(t-u) dP_{01}(u) \end{cases} \quad (1)$$

Решение системы (4) в операторной форме, удобной для обратного преобразования, имеет вид:

$$K_0(S) = \left( \frac{A'}{S} + \frac{B'S + C'}{S^2 + b_1S + b_2} + \frac{F'S + E'}{S^2 + b_3S + b_4} \right) e^{-S(\tau_A + \tau')} \quad (2)$$

где  $b_1 \dots b_4$  и  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $F'$ ,  $E'$  - константы. Вид оригинала и формулы для констант ввиду громоздкости здесь не приводятся. Опреде-

лены функции распределения времени наработки на отказ  $P_{\text{раб}}(t)$  и восстановления  $P_{\text{отк}}(t)$  для эквивалентного элемента, заменяющего два последовательно соединенных простейших:

$$P_{\text{раб}}(t) = Q_{\text{Сотк}}^{\text{Сраб}}(t) = \frac{1}{M\alpha_1 + M\beta_1} \left( \int_0^t G_1(x) dx + F_1(t) \int_0^{\infty} G_1(x) dx + \int_0^t F_1(x) dx + G_1(t) \int_0^{\infty} F_1(x) dx \right) \quad (3)$$

$$P_{\text{отк}}(t) = Q_{\text{Сраб}}^{\text{Сотк}}(t) = \frac{1}{M\beta_1 + 2M\alpha_0 + 2M\beta_0 + M\alpha_1} \left[ \int_0^t G_1(x) F_0(x) dx + F(t) \int_0^{\infty} G_1(x) dx + \int_0^t F_0(x) G_0(x) dx + G_0(t) \int_0^{\infty} F_0(x) dx + \int_0^t G_0(x) F_1(x) dx + F_1(t) \int_0^{\infty} G_0(x) dx + \int_0^t F_1(x) G_1(x) dx + G_1(t) \int_0^{\infty} F_1(x) dx \right] \quad (4)$$

где  $F_1(t)$ ,  $G_1(t)$ ,  $F_0(t)$ ,  $G_0(t)$  - функции распределения времен наработки на отказ и восстановления каждого из элементов соответственно;  $M\alpha_1$ ,  $M\beta_1$ ,  $M\alpha_0$ ,  $M\beta_0$  - математические ожидания соответствующих случайных величин. По полученным приближенным значениям для  $P_{\text{раб}}(t)$  и  $P_{\text{отк}}(t)$  определяются дисперсии соответствующих случайных величин. Математические ожидания этих величин определяются точно по формулам:

$$T_1 = \frac{M\alpha_1 \cdot M\beta_1}{M\alpha_1 + M\beta_2}; \quad T_2 = \frac{M\alpha_0 M\beta_0 + M\alpha_1 M\beta_0 + M\alpha_0 M\beta_1}{M\alpha_1 + M\beta_1} \quad (5)$$

В четвертой главе рассмотрены вопросы экспериментальных исследований, имитационного и аналитического моделирования, а также параметрической оптимизации ГАЛС и создания ДПК.

Разработан интегральный критерий, позволяющий представить

задачу оптимизации следующим образом: выбрать оптимальные объемы межоперационных накопителей, обеспечивающих максимальной коэффициент готовности  $Z$  ГАЛС при ограничении затрат  $L$  на создание и хранение продукции в накопителях и на максимальные объемы  $N_{i \max}$  последних:

$$Z = \max_{L_{k+1}} K_{\Gamma}^{(n)} * \prod_{k=1}^n K_{\Gamma} [L_i(N_i)] \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n C_i L_i = L; \quad N_i \leq N_{i \max}, \quad i = \overline{2, n}, \quad (7,8)$$

где  $K_{\Gamma}^k$  - коэффициенты готовности сопряженных участков,  $N_i$  - объемы накопителей,  $L_i$  - заделы продукции в  $N$ ,  $C_i$  - затраты на создание и хранение единицы продукции в  $i$ -м  $N$ ,  $K_{\Gamma}^{(n)}$  - коэффициент готовности последней,  $n$ -й ЯС.

Задача условной оптимизации сведена к безусловной путем выражения одной переменной через ограничение (7). Далее для определения экстремума использовался градиентный метод.

С целью проверки адекватности предлагаемых моделей был проведен пассивный производственный эксперимент на действующей гибкой автоматизированной линии. В диссертации подробно рассмотрена статистическая обработка результатов эксперимента, построены гистограммы, проверена адекватность аппроксимации реальных законов распределения обобщенными законами Эрланга второго порядка со смещением по критерию Пирсона, для которых значения  $p$  получены в пределах 0,5...0,85, а для экспоненциального закона 0,05...0,22.

Имитационное моделирование, выполненное на языке GPSS в среде MS-DOS V.6.22 на ПЭВМ IBM-PC/AT, также подтвердило адекватность разработанных моделей. Совпадение результатов по  $K_{\Gamma}$  до 2%, по величинам заделов в накопителях до 7%, по производитель-

ности до 1,5%.

ДПК, структура и принципы построения которого приведены в п. 4.4, позволяет решать задачи анализа и параметрической оптимизации ГАЛС. Особенностью ДПК является его открытая архитектура, позволяющая использовать как программные модули, предложенные в диссертации, так и новые по мере их разработки, а также известные модели в пределах их применимости. Структура ДПК предполагает наличие блоков аналитических и оптимизационных моделей на языках высокого уровня, блока имитационных моделей на GPSS, базы данных по характеристикам оборудования и вариантам компоновочных решений, использование диалогового режима и сохранение результатов в файлах для последующего использования.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты, полученные в работе.

В приложениях приведены: программы и результаты производственного эксперимента, имитационного и аналитического моделирования, а также другие вспомогательные материалы, дополняющие основное содержание диссертации.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Общим итогом работы является создание комплекса информационно и структурно взаимосвязанных моделей ГАЛС на основе предложенного подхода к системному моделированию исследуемых объектов. Конкретные результаты работы состоят в следующем.

1. По результатам аналитического обзора работ в области моделирования сборочных систем определены недостатки существующих моделей и сформулированы требования к математическому описанию указанных объектов с учетом неэкспоненциального распределения параметров надежности их элементов.

2. Предложен подход к системному моделированию АСС и опре-

делены параметры информационного и структурного согласования моделей ГАЛС с математическими описаниями элементов нижних уровней иерархии, образующих единый системно организованный комплекс.

3. На основании структурного анализа объекта исследования осуществлена формализация постановки задачи моделирования ОГАЛС без обратных связей и их основных структурных элементов. Предложено во всех разрабатываемых моделях аппроксимировать реальные распределения параметров надежности и производительности ГАЛС законами Эрланга второго порядка со смещением.

4. Построена полумарковская модель ГАЛС, позволяющая рассчитывать параметры надежности и производительности, а также среднестатистические заделы продукции в накопителях линии и обеспечивающая информационную согласованность математического описания элементов различных уровней иерархии.

5. Разработаны полумарковские модели основных элементов ГАЛС - ячеек сборки и накопителей, результаты моделирования которых являются исходными данными для расчета параметров сборочных линий, что позволяет практически реализовать предложенные принципы системного моделирования рассматриваемых объектов.

6. Разработан вариант обобщенного экономического критерия оптимизации параметров ГАЛС с учетом ее надежности и расчетного повышения производительности труда.

7. Поставлена и решена задача оптимизации параметров линии на базе предлагаемых моделей и экономического критерия, что позволяет осуществлять параметрический синтез ГАЛС в соответствии с разработанной методикой и повысить производительность линии на 3 - 5 %.

8. На основе результатов пассивного производственного экс-

перимента и аналитического моделирования произведена проверка адекватности разработанных моделей, выявившая достаточное совпадение теоретических и экспериментальных результатов.

9. Выполнено имитационное моделирование ГАЛС, подтвердившее достаточную адекватность разработанных моделей.

10. На базе комплекса разработанных аналитических и имитационных моделей разработана структура, принципы реализации и программные модули ДПК, предназначенного для решения пользователем задач анализа и параметрического синтеза ГАЛС на ПЭВМ.

Полученные в работе теоретические и практические результаты обладают достаточной общностью и могут применяться для решения задач анализа и параметрического синтеза значительно более широкого класса восстанавливаемых систем с отказами и временным резервированием, чем рассмотрены в диссертации.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В ПУБЛИКАЦИЯХ.

1. Копп В.Я., Поливцев В.П., Карпенко В.А., Рапацкий Ю.Л. Гибкая автоматизированная линия сборки // Механизация и автоматизация производства, 1988. - № 7. - с. 1-4.

2. Копп В.Я., Орел В.В., Рапацкий Ю.Л. Экономико-математическая модель гибкой автоматизированной линии сборки // Тез. докл. 5-го Всесоюзного совещания по робототехническим системам. - М., 1990. - с. 24 - 25.

3. Копп В.Я., Скотков А.В., Шипилов Н.Ю., Рапацкий Ю.Л., Карташов Л.Е. Оценка производительности гибкой автоматизированной линии сборки с учетом ее надежности / Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1993. - 16 с. - Деп. ГНТБ Украины № 758-Ук.93 от 31.03.93.

4. Копп В.Я., Рапацкий Ю.Л., Орел Е.В., Волков С.П. Полумарковская модель автоматизированного сборочного комплекса. - Деп. № 806-УК-92 от 03.06.92., УкрНИИТИ. - 27 с.

5. Копп В.Я., Скатков А.В., Рапацкий Ю.Л., Шипилов Н.Ю., Карташов Л.Е. Полумарковская модель гибкой автоматизированной сборочной системы / Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1993. - 37 с. - Деп. ГНТБ Украины N 393-Ук.93 от 09.03.93.

6. Копп В.Я., Рапацкий Ю.Л. Повышение производительности гибкой автоматизированной линии сборки на базе параметрической оптимизации / Оптимизация производственных процессов. - Севастополь: Alliance Francaise, 1994. - с. 101-104.

7. Копп В.Я., Рапацкий Ю.Л. и др. Особенности применения закона Эрланга для моделирования гибких производственных систем / Оптимизация производственных процессов. Вып.4. - Севастополь: Alliance Francaise, 1996. - с. 38-41

8. Копп В.Я., Рапацкий Ю.Л., Шипилов Н.Ю. Математическая модель функционирования однопоточной гибкой автоматизированной линии сборки с учетом режимов работы ее элементов //Разработка методов автоматической сборки изделий, содержащих нежесткие легко деформируемые элементы с применением эффекта левитации на этапах загрузки, транспортирования и сопряжения: Отчет о г/б НИР (оконч.). /Севастоп. приборостроит. ин-т.; Рег. N 0193007233. - Севастополь, 1989. - с.95-139.

9. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Передерий А.Я., Рапацкий Ю.Л. Расчет параметров однопоточной гибкой автоматизированной линии сборки / Оптимизация производственных процессов. Вып.4. - Севастополь: Alliance Francaise, 1996. - с. 26-38.

10. Обжерин Ю.Е., Копп В.Я., Доронина Ю.В., Рапацкий Ю.Л. Расчет параметров двухфазной производственной системы с ненадежным накопителем / Оптимизация производственных процессов. Вып.4. - Севастополь: Alliance Francaise, 1996. - с. 16-23.

11. Рапацкий Ю.Л. Полумарковские модели систем сборки из-

делий, содержащих узлы и детали из керамических материалов / Тез. докл. конференции "Высокопрочная керамика - производство и рынок". - Севастополь, 1993. - с. 19.

12. Рапацкий Ю.Л. Полумарковские модели гибких сборочных систем с использованием закона Эрланга второго порядка/ Автоматизация: Проблемы, идеи, решения. Сб. кратких содерж. докл., прочитанных на Международном семинаре 1-2 марта 1996 г.- Под науч. ред. акад. И.А. Клусова, д.т.н. Ю.Л. Маткина.- Тула, 1996. с. 58-59.

13. Передерий А.Я., Копп В.Я, Карлов А.Г., Рапацкий Ю.Л. Моделирование автоматизированных производственных систем с использованием аппроксимирующих зависимостей /тез. докл. 3-я Українська конференція з автоматичного керування "Автоматика - 96", т.3.- Севастополь, 1996. с.42-43.

14. V.Kopp., A.Skatkow, N.Shipilow, Yu.Rapatskiy, L. Kartashow. The Probability Model of Single-Thread Flexible Assembly Line. - Material of report on International Conference "CAD/CAM, Robotics and factories of the future", St.Petersburg, Russia, May 17,20, 1993.

#### АНОТАЦІЯ

Рапацький Ю.Л. Підвищення продуктивності гнучкої автоматизованої лінії складання на базі системного моделювання. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 "Автоматизація технологічних процесів і виробництв". Севастопольський державний технічний університет. Севастополь. 1996 рік.

Захищається рукопис на базі 14 робіт, що містять результати досліджень проблеми підвищення надійності та продуктивності гнучких автоматизованих ліній складання (ГАЛС).

За основу математичного моделювання взято апарат напівмарковських процесів в загальним фазовим простором. Побудовано системно організовані моделі ГАЛС та їх елементів різних рівнів ієрархії. Знайдено параметри надійності, продуктивності для ГАЛС та середні кількості продукції в нагромаджувачах лінії. Вирішена задача оптимізації параметрів ГАЛС.

Дисертація є рукопис.

Ключеві слова: гнучка автоматизована лінія складання, надійність, продуктивність, напівмарковська модель, нагромаджувач, закон Ерланга, ієрархічний рівень, системне моделювання.

#### ANNOTATION

Rapatskiy Ju.L. The increase of productivity of flexible automatized assembly lines on the base of systematic modelling.

The thesis being submitted for scientist degree of candidate of technical sciences on speciality 05.13.07. - the automation of technological processes and productions. Sevastopol State Technical University, Sevastopol, 1996.

The manuscript is defenced on the base of 14 works that contain the results of researches on the problem of the increase of reliability and productivity of flexible automatized assembly lines (FAAL).

Theory chain of semi-markovian processes with general phase space is used as the basic of mathematical modelling of this class. The were built systematic organized modelles of FAAL and their elements of different levels of hierarchy. There were founded the parameters of reliability and productivity for FAAL and the mean values of quantity of production in magazines of line.

The thesis is a manuscript.

The key words: flexible automatized assembly lines; relia-

bility; productivity; semi-marcovian model; magazine; the Erlang law; the level of hierarchy; systematic modelling.



438061

AB 37.977