

Министерство образования Украины  
Севастопольский Государственный технический университет

На правах рукописи

МАЩЕНКО Елена Николаевна

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БЛОКИРОВОК НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ  
СИНХРОННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Специальность: 05.13.07 - Автоматизация технологических  
процессов и производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

*Мащенко*

Севастополь - 1996



00739792 (.)

м Государственном

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор Обжерин Юрий Евгеньевич

доктор технических наук, профессор Копп Вадим Яковлевич

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук,

профессор

Пряшников Федор Дмитриевич

2. Кандидат технических наук,

доцент

Мозолевская Татьяна Викторовна

Ведущая организация - Научно - производственное предприятие  
"Оргтехавтоматизация" (г.Симферополь)

Защита состоится 21 сентября 1996 г. в 14 часов на  
заседании специализированного совета Д 11.03.01 в Севасто-  
польском Государственном техническом университете по адресу:  
335053, г.Севастополь, Стрелецкая бухта, студгородок.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 18 сентября 1996 г.

Ученый секретарь специализированного

Совета, кандидат технических наук,

доцент

А.Н. Шерешевский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема повышения производительности производственных комплексов является одной из важнейших в теории автоматизированных производственных систем. При проектировании и эксплуатации автоматизированных линий (АЛ) необходимо решать задачу обеспечения оптимальной либо заданной производительности линии. Решение задач оптимизации АЛ возможно только на основе математических моделей их функционирования. Математическое моделирование автоматизированных производственных систем позволяет исследовать процесс их функционирования на стадиях проектирования и эксплуатации, анализировать различные режимы работы, учитывать влияние возмущений на стабильность работы и др.

Вопросы создания автоматизированных производственных систем базируются на теории автоматических линий, большой вклад в развитие которой внесли работы Владиаиевского А.П., Волчкевича Л.И., Дашенко А.И., Катковника В.Я., Клусова И.А., Лебедовского М.В., Рабиновича А.Н., Султан-Заде Н.М., Черпакова Б.И., Федотова А.И., Шаумяна Г.А., Ямпольского Л.С., Коппа В.Я., Обжерина Ю.Е., Джао Д.Д., Хегинботаме У.В., Хартли Дж. и др. Дальнейшее развитие теории автоматизированных производственных систем базируется на теории надежности, марковских и полумарковских процессов, сетей массового обслуживания и других областей науки, касающихся различных аспектов анализа и синтеза сложных систем. Указанные вопросы нашли отражение в работах Гнеденко А.С., Королюка В.С., Северцева Н.А., Пронникова А.С., Ушакова И.А., Гордона В.Дж., Джао Д.Д., Джексона Дж. Р., Клейрона Д., Мура Ф.Р., Ньюла Г.Ф. и др. Следует отметить, что ввиду сложности и специ-

фичности производственных систем, применение к ним указанных аппаратов исследований вызывает значительные затруднения, а отказ от учета особенностей функционирования производственных систем приводит к значительным ошибкам в моделировании. Ввиду высокой производительности АЛ даже незначительные погрешности в ее прогнозе могут привести к крупным ошибкам при определении объема выпуска продукции, а также затраченных для этого средств. Следовательно, на первый план выходит проблема повышения точности расчетов АЛ, в частности, синхронного типа, на основе совершенствования методов математического анализа указанных объектов. Таким образом, проблема анализа производительности синхронных автоматизированных производственных систем является актуальной в теоретическом и практическом плане, ее решение позволит повысить эффективность современных автоматизированных производственных систем синхронного типа. Поэтому необходимы исследования, направленные на разработку моделей автоматизированных производственных синхронных систем с учетом взаимовлияния элементов, составляющих систему (блокировок). Это и составляет содержание настоящей диссертации.

В ней в качестве основы моделирования автоматизированных производственных синхронных систем используется аппарат теории полумарковских процессов (ПМП) с общим фазовым пространством, значительный вклад в развитие которой внесли работы Анисимова В.В., Коваленко И.Н., Королюка В.С., Кузнецова В.Н., Сильвестрова Д.С., Турбина А.Ф., Цинлара Е. и др. Этот математический аппарат позволяет отказаться от ряда допущений, присущих существующим моделям автоматизированных линий, в частности, от предположений об экспоненциальном распре-

лении времен обслуживания продукции на элементах линии и зависимости их функционирования.

Объектом исследования в диссертации являются синхронные автоматизированные производственные системы.

Целью диссертации является повышение производительности автоматизированных производственных синхронных систем на базе построения математических моделей, позволяющих осуществлять параметрическую и структурную оптимизацию указанных систем.

Для достижения поставленной цели в диссертации сформулированы и решены следующие взаимосвязанные задачи:

1. Формализация постановки задачи математического описания функционирования синхронной автоматизированной линии.
2. Разработка математической модели функционирования технологической ячейки (ТЯ) с учетом ее надежности.
3. Разработка математических моделей функционирования синхронной автоматизированной линии.
4. Определение минимального прироста производительности технологических ячеек для обеспечения заданной производительности линии.
5. Определение оптимального числа ТЯ для обеспечения максимальной производительности линии.
6. Проверка адекватности полученных математических моделей на основе результатов экспериментальных исследований и имитационного моделирования синхронной АЛ.
7. На базе построенных в диссертации математических моделей разработана структура и принципы реализации диалоговой программной системы (ДПС) анализа и оптимизации синхронных АЛ.

**Методы исследования.** В работе в качестве основы исследования автоматизированных синхронных систем применяется аппарат теории ПМП с общим фазовым пространством. Кроме того, в работе используются методы теории интегральных уравнений, теории восстановления, математической теории надежности, математической статистики, математического анализа, интегральных преобразований, нелинейного программирования, имитационного моделирования.

**Научная новизна.** Все основные теоретические результаты диссертационной работы являются новыми научными фактами. Их новизна состоит в следующем:

1. Предложен метод математического моделирования синхронных автоматизированных производственных систем, учитывающий случайный характер параметров функционирования подобных систем и взаимовлияние составляющих их элементов (блокировки) и позволяющий определять функции распределения искомых характеристик функционирования.

2. Построена математическая модель функционирования технологической ячейки с учетом ее надежности, которая позволяет определить производительность ячейки с учетом ее отказов и восстановлений.

3. Созданы математические модели функционирования синхронных автоматизированных производственных систем.

4. Получены характеристики производительности синхронных автоматизированных производственных систем.

5. Решены оптимизационные задачи, связанные с обеспечением максимальной и заданной производительности синхронных автоматизированных производственных систем.

Практическая ценность и реализация работы состоит в следующем.

1. На основе построенной математической модели функционирования технологической ячейки с учетом ее надежности получены замкнутые аналитические выражения для функции распределения, математического ожидания и дисперсии производительности ячейки с учетом ее отказов и восстановления.

2. На основе разработанных математических моделей получены замкнутые аналитические выражения для функций распределения, математических ожиданий и дисперсий характеристик производительности синхронных автоматизированных производственных систем, что позволяет использовать полученные теоретические результаты не только при проектировании и эксплуатации синхронных АЛ, но и при создании моделей автоматизированного производства в целом. Кроме того, выражения обладают достаточной общностью и могут быть использованы при проектировании широкого класса синхронных систем (систем обработки информации, средств связи и пр).

3. Предложены методики решения следующих оптимизационных задач: 1) определение минимально необходимого прироста производительности элементов для обеспечения заданной производительности линии; 2) определение оптимального числа элементов для обеспечения максимальной производительности линии.

4. Разработаны структура, принципы реализации и программные модули диалоговой программной системы, предназначенной для проектирования синхронных автоматизированных производственных систем. ДПС построена с учетом возможности сбора данных в условиях производства, необходимых для выпол-

нения расчетов, и является открытой для включения в неё новых моделей.

Результаты работы внедрены на: научно - производственном предприятии "Оргтехавтоматизация" (г.Симферополь), Мелитопольском моторном заводе (г. Мелитополь). Ряд теоретических положений использован в учебном процессе. Годовой экономический эффект, полученный при внедрении результатов диссертации, составил 46.3 тыс. руб. в ценах до 1991 года.

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Метод математического моделирования автоматизированных производственных синхронных систем.
2. Математическая модель функционирования технологической ячейки с учетом ее надежности.
3. Математические модели функционирования автоматизированных производственных синхронных систем.
4. Методики решения задач оптимизации автоматизированных производственных синхронных систем.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: научной конференции "Бизнес, туризм, наука", Севастополь, 1994; международной школе - семинаре "Проблемные вопросы автоматизации", Севастополь, 1995; международной конференции "Проблемные вопросы автоматизации", Севастополь, 1996, научной конференции "Автоматика-96", СевГУ; семинарах департамента высшей математики и департамента автоматизации технологических процессов и производств.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, тезисы докладов на международных и республиканских конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 95 наименований, и приложений. Основной текст диссертации занимает 110 стр. Работа содержит 30 рис. и 4 табл.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы и излагается перечень вопросов, исследованию которых посвящена диссертационная работа. Формулируется цель исследования.

Первая глава, являющаяся вводной, посвящена анализу структуры автоматизированного производства и методов его моделирования. Рассматриваются структура и элементы автоматизированного производства на примере сборочного производства. Производится анализ производительности автоматизированных систем и средств ее повышения. Приведен аналитический обзор исследований, посвященных расчету производительности автоматизированных производственных систем. Производится выбор и обоснование класса моделей для расчета производительности автоматизированных производственных систем. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе рассматриваются математические модели автоматизированных синхронных производственных систем.

В разделе 2.1 осуществлена формализация постановки задачи математического описания функционирования синхронной автоматизированной линии.

В данной работе рассматриваются синхронные АЛ с жесткой межагрегатной связью (межоперационные накопители отсутствуют), в которых продукция со всех элементов передается на последующие одновременно. Отметим, что модели, приводимые ниже, пригодны для синхронных участков линий с комбинирован-

ной межагрегатной связью. В качестве стратегии управления линией используется стратегия рефлекторного управления. Предполагается, что все элементы линии содержат датчики, формирующие систему управления об окончании обслуживания продукции на элементе (в технологической ячейке). В момент времени, когда обслуживание закончено на всех элементах, осуществляется передача продукции с предыдущих элементов на последующие. В этом случае время цикла работы линии является случайной величиной, что затрудняет прогнозирование производительности, однако делает его более точным.

Рассмотрим  $n$ -компонентную синхронную линию. Времена обработки изделия в технологических ячейках  $ТЯ_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  - случайные величины (СВ)  $\alpha_i$  с произвольными законами распределения  $F_i(t) = P\{\alpha_i \leq t\}$ . СВ  $\alpha_i$  предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР  $F_i(t)$  существуют плотности  $f_i(t)$ .

Линия функционирует следующим образом: происходит последовательная обработка изделия сначала  $ТЯ_1$ , затем  $ТЯ_2$ , ...,  $ТЯ_n$ . Каждая ячейка может находиться в двух состояниях: рабочем (происходит обработка изделия) и нерабочем (отключение из-за блокировки). На вход линии изделия постоянно поступают, с выхода постоянно удаляются.

Для анализа функционирования линии строится математическая модель на основе теории полумарковских процессов (ПМП) с общим фазовым пространством. По известным функциям распределения времен обслуживания изделия в каждой из  $ТЯ$  необходимо определить функцию распределения (ФР) и математическое ожидание времени цикла работы линии, что позволяет легко определить ее производительность.

Для решения этой задачи предварительно необходимо решить несколько взаимосвязанных подзадач.

1. Разработка математической модели функционирования технологической ячейки (ТЯ) с учетом ее надежности.

2. Определение времени прохождения изделия (времени обработки одного изделия) синхронной АЛ, его математического ожидания и дисперсии.

3. Определение функции распределения и математического ожидания времени цикла работы линии, а также ее производительности.

При анализе этих задач был выработан общий подход к их решению на основе теории теории полумарковских процессов (ПМП) с общим фазовым пространством. Этот подход изложен в разделе 2.1.

В разделе 2.2 построена математическая модель функционирования технологической ячейки с учетом ее надежности.

Опишем функционирование рассматриваемой технологической ячейки. Время обслуживания единицы продукции ТЯ - случайная величина  $\alpha_1$  с функцией распределения  $F_1(t) = P\{\alpha_1 < t\}$ . Время безотказной работы ТЯ - СВ  $\alpha_2$  с ФР  $F_2(t) = P\{\alpha_2 < t\}$ , время восстановления ТЯ - СВ  $\beta_2$  с ФР  $G_2(t) = P\{\beta_2 < t\}$ . СВ  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2$  предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР  $F_1(t), F_2(t), G_2(t)$  существуют плотности  $f_1(t), f_2(t), g_2(t)$ . При отказе ТЯ обслуживание единицы продукции прерывается, после восстановления его работоспособности обслуживание продукции продолжается с учетом прерванного обслуживания.

Необходимо определить ФР  $F_0(t)$  СВ  $\theta$  - времени цикла обслуживания единицы продукции ТЯ с учетом его отказов, а

также математическое ожидание и дисперсию указанной СВ.

Указанные величины определяются следующими выражениями:

Функция распределения  $F_{\theta}(t)$  равна:

$$F_{\theta}(t) = \frac{1}{M\alpha_2} \left[ M\alpha_2 F_1(t) + \int_0^t F_2(x) dx \int_x^t G_2(t-y) f_1(y) dy + \right. \\ \left. + \int_0^t F_2(x) dx \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^t F_2^{*(n)}(y-x) f_1(y) dy \int_y^t G_2(s-y) g_2^{*(n)}(t-s) ds \right]. \quad (1)$$

Математическое ожидание (среднее время цикла ТЯ) определяется выражением:

$$M\theta = \frac{M\alpha_1 \cdot (M\alpha_2 + M\beta_2)}{M\alpha_2}. \quad (2)$$

Следовательно, производительность ПТЯ технологической ячейки с учетом надежности определяется равенством:

$$ПТЯ = \frac{M\alpha_2}{M\alpha_1 \cdot (M\alpha_2 + M\beta_2)}. \quad (3)$$

Дисперсия времени цикла ТЯ равна

$$D\theta = \left[ 1 + 2 \frac{M\beta_2}{M\alpha_2} \right] \cdot D\alpha_1 + \frac{M\alpha_1}{M\alpha_2} (D\beta_2 - M\beta_2^2) - \frac{M\alpha_1 \cdot M\beta_2}{M\alpha_2^2} + \\ + \frac{2 \cdot M\beta_2^2}{M\alpha_2} \int_0^{\infty} F_2(x) dx \int_0^{\infty} f_1(y+x) (H_2 * H_2)(y) dy, \quad (4)$$

где  $H_2(x) = \sum_{n=1}^{\infty} F_2^{*(n)}(x)$  - функция восстановления.

Использование формулы (4) упрощается вследствие того, что функции восстановления  $H_2(x)$  для ряда ФР известны.

В разделе 2.3.1. строится математическая модель для определения времени прохождения изделия (времени обработки од-

ного изделия) двухкомпонентной синхронной автоматизированной линии, его математического ожидания и дисперсии. Показано, что математическое ожидание времени прохождения определяется равенством:

$$M\theta = M\alpha_1 + M\alpha_2 - 2 \cdot M(\alpha_1 \sim \alpha_2), \quad (5)$$

где  $\sim$  - знак минимума двух случайных величин.

Дисперсия времени прохождения двухкомпонентной линии равна:

$$D\theta = D\alpha_1 + 2 \cdot D\alpha_2 - D(\alpha_1 \sim \alpha_2) - 2 \cdot [M^2(\alpha_1 \sim \alpha_2)] + M\alpha_1 \cdot M\alpha_2 - M(\alpha_1 \sim \alpha_2)(M\alpha_1 + 2 \cdot M\alpha_2). \quad (6)$$

В разделе 2.3.2. строится математическая модель функционирования двухкомпонентной синхронной автоматизированной линии. По известным функциям распределения времен обслуживания в каждой из ТЯ определяются функция распределения, математическое ожидание и дисперсия времени цикла работы линии, а также ее производительность.

Функция распределения времени цикла  $\xi$  работы двухкомпонентной синхронной линии равна:

$$F_{\xi}(t) = F_1(t) + F_2(t) - F_1(t) \cdot F_2(t). \quad (7)$$

Среднее время цикла определяется равенством:

$$M\xi = M\alpha_1 + M\alpha_2 - M(\alpha_1 \sim \alpha_2). \quad (8)$$

Следовательно, производительность линии  $\Pi_{л}$  равна:

$$\Pi_{л} = [M\alpha_1 + M\alpha_2 - M(\alpha_1 \sim \alpha_2)]^{-1} \quad (9)$$

Дисперсия времени цикла работы линии определяется выражением:

$$D\xi = D\alpha_1 + D\alpha_2 - D(\alpha_1 \sim \alpha_2) - 2 \cdot M^2(\alpha_1 \sim \alpha_2) - 2 \cdot M\alpha_1 \cdot M\alpha_2 + M(\alpha_1 \sim \alpha_2)[M\alpha_1 + M\alpha_2]. \quad (10)$$

В разделе 2.3.3. рассматривается многокомпонентная синхронная автоматизированная линия. По известным функциям распределения времен обслуживания в каждой из ТЯ определяются функция распределения, математическое ожидание времени цикла работы линии, а также ее производительность.

Функция распределения времени цикла  $\epsilon$  работы  $n$ -компонентной синхронной линии равна:

$$F_{\epsilon}(t) = \sum_{l=1}^n F_l(t) - \sum_{1 < l_1 < l_2 < n} F_{l_1}(t) \cdot F_{l_2}(t) + \sum_{1 < l_1 < l_2 < l_3 < n} F_{l_1}(t) \cdot F_{l_2}(t) \cdot F_{l_3}(t) - \dots + (-1)^n \cdot F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t). \quad (11)$$

Среднее время цикла определяется равенством:

$$T_{\text{ц}} = \sum_{l=1}^n M\alpha_l - \sum_{1 < l_1 < l_2 < n} M(\alpha_{l_1} \sim \alpha_{l_2}) + \sum_{1 < l_1 < l_2 < l_3 < n} M(\alpha_{l_1} \sim \alpha_{l_2} \sim \alpha_{l_3}) - \dots + (-1)^n M(\alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \dots \sim \alpha_n). \quad (12)$$

Следовательно, производительность линии  $\Pi_{\text{л}}$  равна:

$$\Pi_{\text{л}} = \left[ \sum_{l=1}^n M\alpha_l - \sum_{1 < l_1 < l_2 < n} M(\alpha_{l_1} \sim \alpha_{l_2}) + \sum_{1 < l_1 < l_2 < l_3 < n} M(\alpha_{l_1} \sim \alpha_{l_2} \sim \alpha_{l_3}) - \dots + (-1)^n M(\alpha_1 \sim \alpha_2 \sim \dots \sim \alpha_n) \right]^{-1}. \quad (13)$$

Пример расчета производительности для систем с числом элементов  $n = 2 \dots 5$  при равномерном распределении времен обслуживания продукции на элементах и равных производительностях элементов приведен на рис. 1. В табл. 1. приведена относительная погрешность расчета производительности без учета блокировок и случайного характера времени обслуживания (когда производительность системы принимается равной производительности элемента), как видно, она возрастает с увеличением числа элементов системы и уменьшается с ростом произ-

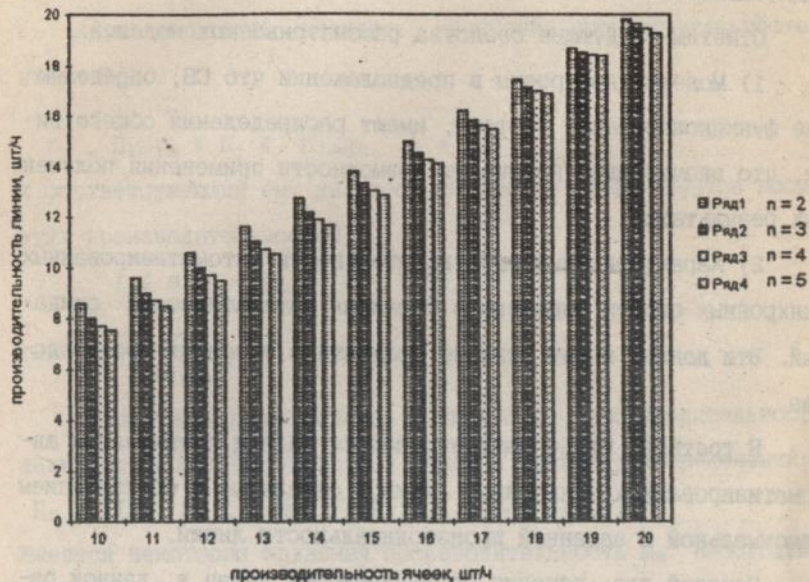


Рис. 1.

Таблица 1.

n	Пэ, шт/ч	Пс, шт/ч	б, %
2	10	8.57	16.7
	14	12.73	10
	20	19.81	1
3	10	8	25
	14	12.8	14.9
	20	19.63	1.8
4	10	7.69	30
	14	11.87	17.9
	20	19.45	2.8
5	10	7.5	33.3
	14	11.67	20
	20	19.27	3.8

водительности элементов.

Отметим следующие свойства рассматриваемых моделей:

1) Модели построены в предположении что СВ, определяющие функционирование системы, имеют распределения общего вида, что значительно расширяет возможности применения полученных результатов.

2) Характеристики производительности автоматизированных синхронных систем выражены в терминах математических ожиданий. Эти данные можно реально получить в условиях производства.

В третьей главе рассматриваются задачи оптимизации автоматизированных синхронных линий, связанные с обеспечением максимальной и заданной производительности линии.

Основой для решения оптимизационных задач в данной работе являются аналитические выражения для характеристик производительности автоматизированных синхронных систем, полученные в главе 2. Для нахождения экстремальных значений функций используются аналитические методы и нелинейное программирование.

Рассмотрена задача определения минимального прироста производительности ячеек для обеспечения заданной производительности линии.

Задача формулируется следующим образом: Имеется  $n$ -компонентная синхронная линия с известными производительностями ячеек

$$P_i = 1/M\alpha_i, \quad i = \overline{1, n},$$

где  $M\alpha_i$  - среднее время обработки продукции в  $i$ -й ячейке, математическое ожидание СВ  $\alpha_i$  с произвольным законом распре-

деления  $F_i(t) = P\{\alpha_i < t\}$ .

Задан некоторый диапазон изменения производительностей ячеек  $\Pi_i$ :

$$\Pi_{i\min} < \Pi_i < \Pi_{i\max}, \quad i = \overline{1, n}$$

и соответствующий ему диапазон изменения коэффициентов роста этих производительностей

$$1 < \varphi_i < \varphi_{i\max}, \quad i = \overline{1, n},$$

где  $\varphi_i = \frac{\Pi_i}{\Pi_{i\min}}$ .

Известна функциональная зависимость производительности линии от производительностей ячеек и вида их распределений:

$$\Pi_L = F(\Pi_1, F_1(t); \Pi_2, F_2(t); \dots; \Pi_n, F_n(t)).$$

Имеется некоторая заданная производительность  $\Pi_3$ . Необходимо определить минимальный прирост производительности ячеек для достижения заданной производительности линии:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i = \min, \quad \Pi_C = \Pi_3.$$

Для решения задачи использовались методы прямого поиска и нелинейного программирования, реализованные в пакетах Mathcad, EUREKA. В диссертации приведены решения данной задачи при различных значениях параметров и различных законах их распределений.

Рассмотрена задача определения оптимального числа ТЯ для обеспечения максимальной производительности линии.

Задача формулируется следующим образом: задано общее время обработки изделия, определяющееся суммой времен обработки в ТЯ и вспомогательных операций:

$$T_{\text{Об}} = T_{\text{ТЯ}} + T_{\text{Всп}}.$$

Суммарное время обработки в ячейках постоянно и пропорционально числу ячеек  $k$ :

$$T_{\text{тя}} = k \cdot t_{\text{тя}},$$

где  $t_{\text{тя}}$  - среднее время обработки продукции в ячейке, математическое ожидание СВ  $\alpha$  с произвольным законом распределения  $F(t) = P\{\alpha < t\}$ . Предполагается, что времена обработки продукции во всех ячейках одинаково распределены и имеют равные средние.

Время вспомогательных операций также пропорционально числу ячеек:

$$T_{\text{всп}} = k \cdot t_{\text{всп}},$$

где  $t_{\text{всп}}$  - время вспомогательных операций каждой ячейки.

Задан некоторый диапазон изменения числа ячеек (степени дифференциации операций):

$$k_{\text{min}} < k < k_{\text{max}}.$$

Известна функциональная зависимость производительности линии от числа ячеек, производительностей ячеек, вида их распределений и времени вспомогательных операций:

$$P_{\text{л}} = F(k; P_{\text{тя}}, F_{\text{тя}}(t); T_{\text{всп}}).$$

Необходимо определить оптимальное число ячеек  $k_{\text{opt}}$  для достижения максимальной производительности линии:

$$k_{\text{opt}}: P_{\text{л}} = \max.$$

Задача решалась с использованием пакетов Eureka и Mathcad методом прямого поиска. В диссертации приведены решения данной задачи при различных значениях параметров и различных законах их распределений.

В четвертой главе рассматриваются вопросы экспериментальных исследований и имитационного моделирования автоматизированных производственных синхронных систем.

На основе экспериментальных данных, собранных в производственных условиях на комплексной автоматизированной линии сборки двигателей МемЗ-45 и агрегатирования с коробкой передач на Мелитопольском моторном заводе, проведено сравнение теоретических и экспериментальных результатов, подтвердившее адекватность математической модели синхронной линии - погрешность расчетов составила не более 5%.

Рассматриваются вопросы имитационного моделирования синхронных АЛ. Описываются имитационные модели ТЯ и синхронной линии на языке GPSS, анализируются результаты моделирования. Результаты сравнения аналитического и имитационного моделирования для технологической ячейки и синхронных линий с различным числом ячеек подтверждают адекватность построенных математических моделей - погрешность расчетов составила не более 3%.

Представлена структура ДПС, обеспечивающей автоматизацию проектирования синхронных автоматизированных систем.

Приведены примеры использования полученных аналитических результатов для анализа конкретных синхронных АЛ.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в работе.

В приложениях представлены программы и результаты имитационного моделирования ТЯ и синхронных АЛ, акты внедрения результатов работы.

#### **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

Общим итогом работы является создание метода математического моделирования автоматизированных синхронных систем. Разработаны модели и получены аналитические выражения для расчета характеристик производительности указанных систем.

Результаты работы состоят в следующем:

1. Осуществлена формализация постановки задачи математического описания функционирования синхронной автоматизированной линии.

2. Построена математическая модель функционирования технологической ячейки с учетом её надежности.

3. Разработаны математические модели функционирования многокомпонентной синхронной автоматизированной линии.

4. На базе разработанных моделей с учетом выбранных критериев решен ряд задач параметрической и структурной оптимизации автоматизированных синхронных систем.

5. Для проверки теоретических положений работы, используя данные пассивного эксперимента в производственных условиях, проведено сравнение теоретических и экспериментальных результатов - погрешность расчетов не более 5%. Приведены примеры использования полученных результатов для анализа конкретных синхронных АЛ.

6. Проведено имитационное моделирование ТЯ и синхронных АЛ, подтвердившее адекватность теоретических результатов и позволившее оценить влияние на производительность АЛ характеристик отдельных ТЯ линии.

7. На базе построенных моделей разработана структура ДПС, обеспечивающей автоматизацию проектирования автоматизированных синхронных систем.

Разработанная методика анализа производительности синхронных линий позволяет исследовать значительно более широкий класс синхронных систем, чем рассмотрен в данной работе.

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В ПУБЛИКАЦИЯХ:**

1. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Машенко Е.Н., Карташов Л.Е.

Анализ процесса функционирования автоматизированных производственных систем. В кн. Оптимизация производственных процессов.- Севастополь, Alliance Francaise, 1994. - Вып. 2. - С. 6-14.

2. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Карташов Л.Е., Машенко Е.Н. Надежностные параметры функционирования синхронных однопоточных автоматизированных линий. В кн. Оптимизация производственных процессов.- Севастополь: Alliance Francaise, 1994. - Вып. 2. - С.56-67.

3. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Машенко Е.Н., Карташов Л.Е. Модель производственной ячейки с технологическим накопителем В кн. Оптимизация производственных процессов.- Севастополь, Alliance Francaise, - 1995.- Вып. 3. - С. 18-32.

4. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Машенко Е.Н., Гапоненко Ю.В. Влияние блокировок на производительность автоматизированных производственных синхронных систем. В кн. Вестник СевГТУ, Севастополь: Издательство СевГТУ, 1995.- N 1. Сер. Моделирование и эксперимент в инженерных задачах.- С. 54-58.

5. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Машенко Е.Н., Карташов Л.Е. Полумарковская модель производственной ячейки, снабженной временным резервом. В кн. Вестник СевГТУ, Севастополь: Издательство СевГТУ, 1995.- N 2. Сер. Автоматизация процессов и управления.- С. 41-53.

6. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Машенко Е.Н. Производительность технического устройства с учетом надежности. В кн. Оптимизация производственных процессов.- Севастополь, Alliance Francaise, - 1996.- Вып. 4. - С. 3-8.

7. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Машенко Е.Н., Доронина Ю.В. Расчет параметров автоматизированных производственных синх-

ронных систем. В кн. Оптимизация производственных процессов.- Севастополь, Alliance Francaise, - 1996.- Вып. 4. - С. 9-15.

8. W. Kopp, A. Kolbasnikow, A. Karlow, E. Maszczenko. Wydajnosć modulu systemu montazowego z uwzględnieniem jego niezawodnosci // Technologia i automatyzacja montazy: Kwartalnic naukowo-techniczny.- Nr 2 (12).- Kwiecien czerwiek 96, Tekoma, Warszawa.

9. В. Копп, Ю. Обжерин, Е. Машенко, Ю. Доронина. Метод расчета производительности синхронных автоматизированных линий // Информатизация и новые технологии.- N 1.- 1996.- С.19-21.

10. Машенко Е.Н., Копп В.Я., Обжерин Ю.Е. Анализ функционирования синхронных систем с блокировками. В кн. Вестник СевГТУ.- Севастополь: Издательство СевГТУ, 1996.- N 3. Сер. Механика, энергетика, экология,- С. 129 - 134.

11. Скатков А.В., Машенко Е.Н. Принципы построения интерактивной модели для решения задач надежностного проектирования микропроцессорных систем// Сб. Научные труды факультета естеств. наук.- Вып. 1.- Севастополь, 1993.- С. 99-102.

12. Машенко Е.Н. Оценка влияния блокировок при моделировании автоматизированных сборочных синхронных линий // Автоматизация: проблемы, идеи, решения. Международный семинар. Сборник кратких содержания докладов.- Тула, 1996.- С. 55-56.

13. Машенко Е.Н. Расчет производительности автоматизированных синхронных линий с учетом блокировок // 3-я українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-96".- Праці.- Том 1.- СевГТУ, 1996.- С. 164 - 165.

Мащенко О.М. Оцінка впливу блокіровок на продуктивність синхронних автоматизованих виробничих систем.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.13.07 - автоматизація технологічних процесів та виробництв. Севастопольський Державний технічний університет. Севастополь, 1996.

Захищається рукопис на базі 13 робіт, що містять результати досліджень проблеми продуктивності синхронних автоматизованих виробничих систем. За основу математичного моделювання взято апарат теорії напівмарковських процесів з загальним фазовим простіром. Побудовано моделі та знайдено характеристики продуктивності багатокomпонентної синхронної системи.

Machenko E.N. Estimation of blockading influence to synchronic automatic industrial systems productivity.

Candidat of technical science thesis, speciality 05.13.07- the automation of techological processes and productions. Sevastopol State Technical University, Sevastopol, 1996.

The manuscript based on the 13 articles is defended. It contains the results of the investigations of the problem of synchronic automatic industrial systems productivity. Theory chain of semi-markovian prosesesses with general phase spase is used as the basis of mathematical modeling of this class. Models are built and characteristics of productivity of manycomponent synchronic system are found.

Ключеві слова: автоматизована синхронна система, реф-  
лкторне керування, напівмарковський процес.

441412

AB 35.902