

Министерство образования Украины
Севастопольский Государственный технический университет

На правах рукописи

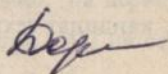
Доронина Юлия Валентиновна

**АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ АСИНХРОННЫХ СИСТЕМ
МЕТОДОМ ФАЗОВОГО УКРУПНЕНИЯ**

Специальность: 05.13.07 - Автоматизация технологических процессов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Севастополь - 1997



Диссертацией является рукопис

Работа выполнена в Севастопольском Государственном техническом университете

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Обжерин Юрий Евгеньевич

Официальные оппоненты:

1. Академик УкрАИИ,

доктор технических наук, профессор Тараненко Виктор Анатольевич

2. Кандидат технических наук

Плюснин Валерий Алексеевич

Ведущая организация - Научное предприятие "Юг" (г. Севастополь)

Защита состоится 23 сентября 1997 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д 11.03.01 в Севастопольском Государственном техническом университете по адресу: 335053, г. Севастополь, Стрелецкая бухта, студгородок.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 19 сентября 1997 г.

Ученый секретарь специализированного
Совета, кандидат технических наук,
доцент

А.Н. Шерешевский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие теории автоматизированных производственных систем (АПС), повышение их технического уровня и широкое применение в промышленности характеризуют в настоящее время машиностроение всех промышленно развитых стран.

К одному из важнейших подразделений АПС можно отнести гибкие автоматизированные линии (ГАЛ) асинхронного типа. Особенностью ГАЛ является многочисленность компонентов, входящих в состав производимой продукции, для доставки которых в технологическую зону требуется организовать большое число сходящихся материальных потоков, интенсивность каждого из которых зависит от интенсивностей остальных. В таких условиях существенно повышается неопределенность функционирования системы в целом. Задачи повышения производительности и надежности ГАЛ становятся в связи с этим чрезвычайно важными.

Большой вклад в развитие теории ГАЛ внесли работы Волчкевича Л.И., Дащенко А.И., Катковника В.Я., Клусова И.А., Черкесова Г.Н., Черпакова Б.И., Коппа В.Я., Федотова А.И., Ковалева М.П., Хегинботама У.В., Хартли Дж. и др. Различные аспекты анализа и синтеза сложных систем нашли отражение в работах Дружинина Г.В., Гнеденко Б.В., Королюка В.С., Северцева Н.А., Пронникова А.С., Ушакова И.А., Гордона В.Дж., Джао Д.Д., Джексона Дж.Р., Клейнрока Л., Мура Ф.Р., Ньюзла Г.Ф., Фромана Б., Лезажа Ж., Краузе Ф.-Л. и др. Ввиду высокой производительности ГАЛ асинхронного типа 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 ГАЛ на основе совершенствования методов математического анализа указанных объектов. Таким образом, проблема анализа показателей функционирования асин-

хронных АПС является актуальной в теоретическом и практическом плане, ее решение позволяет повысить эффективность современных АПС. Это и составляет содержание настоящей диссертации.

В ней в качестве основы моделирования асинхронных АПС используется аппарат теории полумарковских процессов (ПМП) с общим фазовым пространством, значительный вклад в развитие которой внесли работы Черенкова А.П., 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 распределении случайных величин - времен безотказной работы и восстановления устройств линии и независимости их функционирования.

Объектом исследования в диссертации являются асинхронные автоматизированные производственные системы.

Целью диссертации является повышение эффективности функционирования проектируемых или модифицируемых асинхронных АПС на базе построения математических моделей и последующей параметрической оптимизации указанных систем.

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

1. Формализация постановки задачи математического описания функционирования асинхронных АПС с различными стратегиями работы.

2. Разработка математических моделей функционирования одно- и многопоточных ГАЛ асинхронного типа со стратегиями работы "только через накопитель" и "прямая передача" с учетом надежности межоперационных накопителей (МН).

3. Постановка и решение ряда задач оптимизации асинхронных ГАЛ на базе разработанных моделей функционирования линий:

- обеспечение максимального коэффициента готовности при ограничениях на объемы МН;
- обеспечение оптимального среднего времени восстановления системы для минимизации выпуска одного изделия при ограничениях на объемы МН;
- определение оптимального времени выпуска одного изделия для нахождения размера серии изделий при ограничениях на объемы МН.

4. Определение интервала применимости МН для однопоточной асинхронной ГАЛ.

5. Проверка адекватности построенных математических моделей на основе использования результатов экспериментальных исследований и имитационного моделирования ГАЛ.

6. Разработка структуры и принципов реализации диалоговой программной системы (ДПС) анализа и оптимизации ГАЛ.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

Методы исследования. В работе в качестве основы исследования асинхронных АПС применяется аппарат теории ПМП с общим фазовым пространством. Кроме того, в работе используются методы теории восстановления, математической теории надежности, математической статистики, математического анализа, имитационного моделирования.

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

1. Построены математические модели функционирования однопоточных асинхронных ГАЛ с учетом надежности обрабатывающих и накопительных элементов с различными стратегиями работы (“только через накопитель” и “прямая передача”) и получены замкнутые аналитические выражения для характеристик функционирования ГАЛ.

2. Построена математическая модель функционирования многопоточной асинхронной ГАЛ параллельно-последовательной структуры с учетом надежности всех элементов и получены замкнутые аналитические выражения для характеристик функционирования указанной ГАЛ.

3. Поставлена и решена задача определения интервала применимости МН для однопоточной ГАЛ.

4. Решены оптимизационные задачи, связанные с обеспечением максимального коэффициента готовности, оптимального среднего времени восстановления системы для минимизации выпуска одного изделия, а также определения оптимального времени выпуска одного изделия для определения оптимального размера серии изделий.

Практическая ценность и реализация работы состоит в следующем.

1. На основе разработанных математических моделей получены замкнутые аналитические выражения показателей функционирования ГАЛ: для производительности, коэффициента готовности, средних времен восстановления и наработки на отказ, что позволяет использовать полученные теоретические результаты при проектировании и эксплуатации асинхронных АПС с различными стратегиями работы. Выражения обладают достаточной общностью и могут быть использованы при проектировании широкого класса АПС (систем обработки информации, средств связи и др).

2. Предложена табличная модель функционирования ГАЛ, решающая задачу снижения трудоемкости описания функционирования АПС на стадиях проектирования и эксплуатации.

3. Предложены методики решения следующих оптимизационных задач: обеспечение максимального коэффициента готовности при ограничениях на объемы МН, оптимального среднего времени восстановления системы для минимизации выпуска одного изделия при ограничениях на объемы МН, а также определения оптимального времени выпуска одного изделия для определения оптимального размера серии изделий.

4. Разработаны структура, принципы реализации и программные модули диалоговой программной системы, предназначенной для проектирования АПС и отдельно диалоговой программной системы оптимизации (ДПСО) АПС. ДПС построена с учетом возможности сбора данных в условиях производства, необходимых для выполнения расчетов, и является открытой для включения в нее новых модулей.

Результаты работы внедрены на: Мелитопольском моторном заводе, ОАО "Оргтехавтоматизация" (г. Симферополь). Ряд теоретических положений использован в учебном процессе. Годовой экономический эффект, полученный при внедрении результатов диссертации, составил 64 тыс. грн.

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Математические модели функционирования однопоточной асинхронной ГАЛ с учетом надежности всех элементов со стратегиями работы "только через накопитель" и "прямая передача".

2. Математическая модель функционирования многопоточной асинхронной ГАЛ параллельно-последовательной структуры с учетом надежности всех составляющих ее элементов.

3. Методики решения задач оптимизации асинхронных ГАЛ.

4. Методика оценки интервала применимости МН для однопоточной ГАЛ.

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", СевГТУ; международном семинаре "Автоматизация: проблемы, идеи, решения", Тула, 1996, VI-ой научной международной конференции "Прикладные проблемы жидкости и газа", Севастополь, 1997, семинарах департамен-

та высшей математики и департамента автоматизации технологических процессов и производств.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, тезисы докладов на международных и республиканских конференциях.

Структура и объем диссертации Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 99 наименований, и приложений. Основной текст диссертации занимает 120 стр. Работа содержит 29 рис. и 28 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. Приведен аналитический обзор исследований, посвященных расчету производительности и надежности асинхронных АПС. Производится выбор и обоснование класса моделей для расчета производительности АПС. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе рассматриваются математические модели ГАЛ. В разделе 2.1 построена математическая модель функционирования двухфазной асинхронной ГАЛ со стратегией работы "только через накопитель". Порядок функционирования системы следующий: на вход ее первого устройства A_1 производительностью c_1 на каждом отрезке времени Δt поступает $N_1(\Delta t)$ единиц продукции, столько, сколько оно может обработать за это время при безотказной работе, т.е. $N_1(\Delta t) = c_1 \cdot \Delta t$. После обработки на первом устройстве продукция поступает на второе устройство A_2 . $N_2(\Delta t) = c_2 \cdot \Delta t$. Время безотказной работы (восстановле-

ния) устройства A_i , $i=1,2$ является случайной величиной (СВ) $\alpha_i^{(0)}, \alpha_i^{(1)}$ с функцией распределения (ФР) $F_i^{(0)}(t), F_i^{(1)}(t)$; у ФР существуют плотности $f_i^{(0)}(t), f_i^{(1)}(t)$. Время безотказной работы (восстановления) накопителя B_1 является СВ $\beta_1^{(0)}, \beta_1^{(1)}$ с ФР $G_1^{(0)}(t), G_1^{(1)}(t)$, у ФР существуют плотности $g_1^{(0)}(t), g_1^{(1)}(t)$. Предполагается, что СВ $\alpha_i^{(0)}, \alpha_i^{(1)}, \beta_1^{(0)}, \beta_1^{(1)}$ независимы, имеют конечные математические ожидания. Задел в накопителе B_1 выражается в единицах времени, которое понадобится устройству A_2 для полного освобождения накопителя; максимальная емкость накопителя равна $h \geq 0$. Схема функционирования системы представлена в таблице 1. Система рассматривается при условии, что у первого устройства и накопителя быстрое восстановление, т.е. времена восстановления $\alpha_1^{(1)}, \beta_1^{(1)}$ зависят от малого положительного параметра ε таким образом, что

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} M \alpha_1^{(1, \varepsilon)} = 0 \quad \text{и} \quad \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} M \beta_1^{(1, \varepsilon)} = 0, \quad (1)$$

а у выходного устройства A_2 времена безотказной работы и восстановления фиксированы.

Среднее стационарное время наработки на отказ рассматриваемой системы приближенно вычисляется по формуле:

$$T_+(h) = (M\alpha_2^{(0)} M\beta_1^{(0)} M\alpha_1^{(0)}) / (M\alpha_1^{(0)} (M\alpha_2^{(0)} + M\beta_1^{(0)}) + \overline{F_1^{(1, \varepsilon)}}(h) \int_h^\infty \overline{F_2^{(0)}}(x_2) dx_2 \int_h^\infty \overline{G_1^{(0)}}(x_3) dx_3). \quad (2)$$

Стационарный коэффициент готовности системы имеет вид:

$$Kr(h) = (M\alpha_2^{(0)} M\beta_1^{(0)} M\alpha_1^{(0)}) / (M\alpha_1^{(0)} (M\alpha_2^{(0)} M\beta_1^{(1)} + M\alpha_2^{(0)} M\beta_1^{(0)} + M\alpha_2^{(1)} M\beta_1^{(0)}) + \int_h^\infty \overline{F_2^{(0)}}(x_2) dx_2 \int_h^\infty \overline{G_1^{(0)}}(x_3) dx_3 \int_h^\infty \overline{F_1^{(1, \varepsilon)}}(x_1) dx_1). \quad (3)$$

В разделе 2.2. предлагается табличная модель функционирования асинхронных ГАЛ, наглядно демонстрирующая процесс работы системы (табл.1). Разработанная табличная модель функционирования ГАЛ с накопителями имеет целью упрощение описания указанных систем на стадии описания их функционирования и может быть применена для различных структур АПС.

Таблица 1

ТАБЛИЧНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ С МН

Стратегия работы: только через накопитель

| накопители | | накопитель 1 | | | | | |
|------------|------------|--------------|--------|-------------|-------|------------|-------|
| | | работа | | | отказ | отключение | |
| | | полный | пустой | $0 < z < h$ | | холодное | горяч |
| 1 | работа | | | | | | |
| | отказ | | | | | | |
| | отключение | | | | | | |
| 2 | отказ | | | | | | |
| | работа | | | | | | |
| | отключение | | | | | | |

Критерий работы системы: выдача продукции

В разделе 2.3. построена математическая модель функционирования двухфазной асинхронной ГАЛ со стратегией работы "прямая передача". При этой стратегии работы предполагается, что при отказе накопителя продукция передается от устройства A_1 к устройству A_2 , минуя неисправный накопитель B_1 . В этом случае среднее стационарное время наработки на отказ приближенно вычисляется по формуле:

$$T_+(h) = [M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(0)} (M\beta_1^{(0)} + M\beta_1^{(1)})] / [M\beta_1^{(1)} (M\alpha_2^{(0)} + M\alpha_1^{(0)}) + M\beta_1^{(0)} M\alpha_1^{(0)} + \overline{F}_1^{(1,\varepsilon)}(h) \int_h^\infty \overline{F}_2^{(0)}(x_2) dx_2 \int_h^\infty \overline{G}_1^{(0)}(x_3) dx_3]. \quad (4)$$

Коэффициент готовности имеет вид:

$$Kr(h) = [M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(0)} (M\beta_1^{(0)} + M\beta_1^{(1)})] / [M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(0)} (M\beta_1^{(1)} +$$

$$\begin{aligned}
 & + M\beta_1^{(0)}) + \int_h^{\infty} \overline{F_2^{(0)}}(x_2) dx \int_h^{\infty} \overline{G_1^{(0)}}(x_3) dx_3 \int_h^{\infty} \overline{F_1^{(1,\epsilon)}}(x_1) dx_1) + \\
 & + M\alpha_1^{(0)} M\alpha_2^{(1)} M\beta_1^{(0)} + M\beta_1^{(1)} (M\alpha_1^{(0)} + M\alpha_2^{(0)})]. \quad (5)
 \end{aligned}$$

В таблице 2 представлены результаты расчетов двухфазной ГАЛ с рассмотренными стратегиями работы.

Таблица 2

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СТРАТЕГИЙ РАБОТЫ ГАЛ

| Ma10=100 Ma20=100 Ma11=1 | | Mb30=100 Ma31=1 Ma21=1,5 | | Ma10=100 Mb30=100 Ma20=25 Ma31=1 Ma11=1 Ma21=4 | | Ma10=100 Ma31=4 Ma20=25 Mb30=25 Ma11=1 Ma21=4 | | Ma10=40 Ma20=45 Mb30=45 Ma31=1,3 Ma11=1 Ma21=1,3 | |
|---------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|--|---------------|---|---------------|--|--|
| h | Kr | | Kr | | Kr | | Kr | | |
| | Только ч/з МН | Прямая передача | Только ч/з МН | Прямая передача | Только ч/з МН | Прямая передача | Только ч/з МН | Прямая передача | |
| 0 | 0,976 | 0,966 | 0,856 | 0,847 | 0,867 | 0,752 | 0,949 | 0,924 | |
| 2 | 0,979 | 0,969 | 0,858 | 0,85 | 0,869 | 0,754 | 0,956 | 0,931 | |
| 4 | 0,981 | 0,971 | 0,86 | 0,852 | 0,87 | 0,755 | 0,961 | 0,936 | |
| 6 | 0,982 | 0,973 | 0,861 | 0,853 | 0,871 | 0,756 | 0,965 | 0,939 | |
| 8 | 0,983 | 0,974 | 0,861 | 0,853 | 0,871 | 0,757 | 0,967 | 0,941 | |
| 10 | 0,984 | 0,974 | 0,862 | 0,854 | 0,872 | 0,757 | 0,968 | 0,943 | |
| 12 | 0,984 | 0,975 | 0,862 | 0,854 | 0,872 | 0,757 | 0,969 | 0,944 | |
| 14 | 0,985 | 0,975 | 0,862 | 0,854 | 0,872 | 0,757 | 0,97 | 0,944 | |
| Средние | 0,982 | 0,972 | 0,86 | 0,852 | 0,871 | 0,756 | 0,963 | 0,938 | |
| Различ. стратег., % | 1% | | 1% | | 12% | | 3% | | |
| Сред. по всем наборам данных, % | | | 4% | | | | | | |

В разделах 2.4. и 2.5. представлены модели функционирования многокомпонентной однопоточной ГАЛ со стратегиями работы "только через накопитель" и "прямая передача". (Рис.1 а),б).

На схеме приняты следующие обозначения: $A_i, i=2s+1, s=0, n$ - обслуживающие устройства; $B_i, i=2m, m=1, n$ - промежуточные накопители. Обозначим N - множество нечетных индексов, а M - множество четных индексов. $\alpha_i^{(0)}(\alpha_i^{(1)})$ - времена безотказной работы (восстановления) устройства $A_i, i \in N$, СВ с ФР $F_i^{(0)}(t)(F_i^{(1)}(t))$; у ФР существуют плотности $f_i^{(0)}(t), f_i^{(1)}(t)$. $\beta_i^{(0)}(\beta_i^{(1)})$ - времена безот-

казной работы (восстановления) накопителя B_i , СВ с ФР $G_i^{(0)}(t)(G_i^{(1)}(t))$. Предполагается, что СВ $\alpha_i^{(0)}, \alpha_i^{(1)}, \beta_i^{(0)}, \beta_i^{(1)}$ независимы, имеют конечные математические ожидания; у ФР существуют плотности $g_i^{(0)}(t), g_i^{(1)}(t)$. МН имеют ограниченные емкости $h_i \geq 0$. Как и в разделе 2.1 (1) предполагается быстрое восстановление устройств и МН, кроме последнего МН, у которого времена работы и восстановления фиксированы.

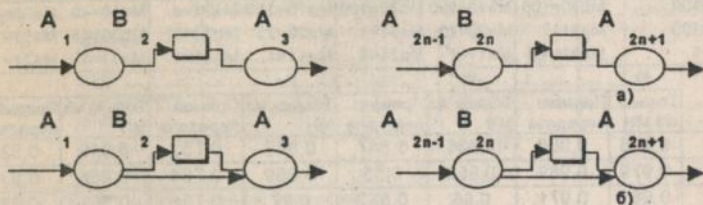


Рис. 1 Асинхронная ГАЛ со стратегиями работы:
а) "только через накопитель", б) "прямая передача"

Среднее время безотказной работы системы для стратегии "только через накопитель" приближенно вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned}
 T_+^{(h_1, \dots, h_{2n})} \approx & \left(\prod_{k \in N} M\alpha_k^{(0)} \prod_{s \in M} M\beta_s^{(0)} \right) / \left(\sum_{i=1}^{2n} \prod_{k \in N, k \neq i} M\alpha_k^{(0)} \prod_{s \in M, s \neq i} M\beta_s^{(0)} \right) + \\
 & + \sum_{i=1}^{2n} \sum_{j=1}^{2n-i-1} \prod_{k=1}^{j-1} M\alpha_k^{(0)} \prod_{s=1}^{j-1} M\beta_s^{(0)} \overline{F}_i^{(1, \varepsilon)} \left(\sum_{k=i}^{2n} h_k \right) \prod_{k \in M, k \neq j} \int_0^{\infty} G_g^{(0)}(x_g) dx_g \prod_{s=i+1}^{2n+1} \int_0^{\infty} F_s^{(0)}(x_s) dx_s + \\
 & + \prod_{k \in N} M\alpha_k^{(0)} \prod_{s \in M, s \neq j} M\beta_s^{(0)} \int_0^h \overline{G}_{2n}^{(0)}(t) dt + \sum_{i=1}^{2n} \sum_{j=1}^{2n-i-1} \prod_{k=1}^{j-1} M\alpha_k^{(0)} \prod_{s=1, s \neq j}^{j-1} M\beta_s^{(0)} \cdot \\
 & \cdot \overline{G}_i^{(1, \varepsilon)} \cdot \left(\sum_{k=i+1, k \in M}^{2n} h_k \right) \prod_{g=j+1}^{2n} \int_0^{\infty} \overline{G}_g^{(0)}(x_g) dx_g \prod_{r=i+2, r \in N}^{2n+1} \int_0^{\infty} \overline{F}_{r-1}^{(0)}(x_{r-1}) dx_{r-1}.
 \end{aligned} \quad (6)$$

Коэффициент готовности приближенно равен:

$$K_r^{(h_1, \dots, h_n)} = \left(\prod_{k \in N} M \alpha_k^{(0)} \prod_{s \in M} M \beta_s^{(0)} \right) / \left(\prod_{k \in N} M \alpha_k^{(0)} \prod_{s \in M} M \beta_s^{(0)} + M \alpha_{2n+1}^{(1)} \prod_{\substack{k=1, \\ k \in N}}^{2n} M \alpha_k^{(0)} \right) \cdot$$

$$\cdot \prod_{s \in M} M \beta_s^{(0)} + (M \beta_{2n}^{(1)} \prod_{k \in N} M \alpha_k^{(0)} \prod_{s=1}^{2n-1} M \beta_{n,s}^{(0)} (1 +$$

$$+ \int_0^{h_{2n}} \overline{G}_{2n}^{(1, \varepsilon)}(t) dt) + \sum_{i=1}^{2n} \sum_{j=1}^{2n-1} \prod_{\substack{k=1, \\ k \in N}}^{i-1} M \alpha_k^{(0)} \prod_{\substack{s=1, \\ s \in M}}^{j-1} M \beta_s^{(0)}. \quad (7)$$

$$\cdot \prod_{\substack{g=j, \\ g \in M}}^{2n} \int_{\substack{c=j, \\ c \in M}}^{\infty} \overline{G}_g^{(0)}(x_g) dx_g \prod_{\substack{s=i+1, \\ s \in N}}^{2n+1} \int_{\substack{c=i, \\ c \in N}}^{\infty} \overline{F}_s^{(0)}(x_s) dx_s \int_{\substack{k=1 \\ k \in M}}^{\infty} \overline{F}_i^{(1, \varepsilon)}(t) dt +$$

$$+ \prod_{\substack{g=j+1, \\ g \in M}}^{2n} \int_{\substack{c=j+1 \\ c \in M}}^{\infty} \overline{G}_g^{(0)}(x_g) dx_g \prod_{\substack{r=i+2, \\ r \in N}}^{2n+1} \int_{\substack{k=i+1 \\ k \in N}}^{\infty} \overline{F}_{r-1}^{(0)}(x_{r-1}) dx_{r-1} \int_{\substack{p=j, \\ p \in M}}^{\infty} \overline{G}_i^{(1, \varepsilon)}(t) dt)).$$

В разделе 2.6. рассматривается асинхронная система, состоящая из обслуживающих устройств и промежуточных накопителей, связи между которыми образуют конфигурацию параллельно - последовательной структуры (рис.2).

На схеме приняты следующие обозначения: A_{ij} , $i=\overline{1, m}$ $j=\overline{1, 2k-1}$, $k=\overline{1, n}$, A_{00} - обслуживающие устройства; B_{ij} , $i=\overline{1, m}$ $j=\overline{1, 2l}$, $l=\overline{1, n}$ - промежуточные накопители. $\alpha_{ij}^{(0)}$ ($\alpha_{ij}^{(1)}$) - времена безотказной работы (восстановления) устройств, СВ с ФР $F_{ij}^{(0)}(t)$ ($F_{ij}^{(1)}(t)$); у ФР $F_{ij}^{(0)}(t)$, $F_{ij}^{(1)}(t)$ существуют плотности $f_{ij}^{(0)}(t)$, $f_{ij}^{(1)}(t)$.

$\beta_{ij}^{(0)}$ ($\beta_{ij}^{(1)}$) - времена безотказной работы (восстановления) МН,

СВ с ФР $G_{ij}^{(0)}(t)$ ($G_{ij}^{(1)}(t)$). СВ $\alpha_{ij}^{(0)}$, $\alpha_{ij}^{(1)}$, $\beta_{ij}^{(0)}$, $\beta_{ij}^{(1)}$ независимы, имеют ко-

нечные мате матические ожидания; у ФР $G_{ij}^{(0)}(t), G_{ij}^{(1)}(t)$ существуют плотности $g_{ij}^{(0)}(t)(g_{ij}^{(1)}(t))$.

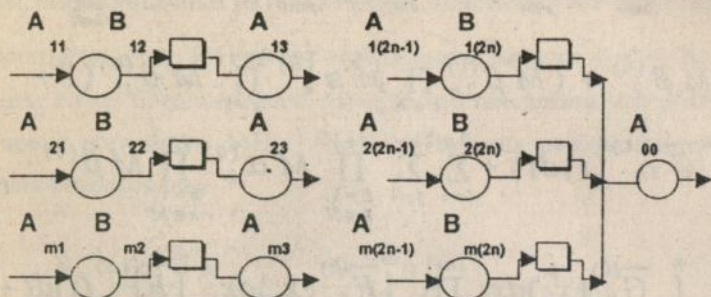


Рис. 2 Асинхронная ГАЛ параллельно-последовательной структуры

Выражение для коэффициента готовности ГАЛ параллельно-последовательной структуры следующее:

$$\begin{aligned}
 K_r^{(h_{12}, \dots, h_{2n})} = & \left(\prod_{(i,j) \in Q_1} M\alpha_{ij}^{(0)} \prod_{(i,j) \in P_1} M\beta_{ij}^{(0)} M\alpha_{00}^{(0)} \right) / \left[\left(\prod_{(i,j) \in Q_1} M\alpha_{ij}^{(0)} \times \right. \right. \\
 & \times \prod_{(i,j) \in P_1} M\beta_{ij}^{(0)} M\alpha_{00}^{(0)} + \prod_{(i,j) \in L_0} M\alpha_{ij}^{(0)} \prod_{(a,b) \in P_1} M\beta_{ab}^{(0)} M\alpha_{00}^{(1)} + \prod_{(i,j) \in Q} M\alpha_{ij}^{(0)} \times \\
 & \times \prod_{\substack{(a,b) \in P_1, \\ b \leq 2n}} M\beta_{ab}^{(0)} M\alpha_{i2n}^{(1)} + M\alpha_{00}^{(1)} \sum_{(i,j) \in Q_1} \sum_{\substack{(i,j) \in P_1, k \leq 2n-1, \\ k \neq j}} \prod_{ik} M\alpha_{ik}^{(0)} \prod_{is} M\beta_{is}^{(0)} \int_0^{h_{ij}} \bar{F}_{ij}^{(1,s)}(t) dt + \\
 & + M\beta_{i2n}^{(1)} \sum_{(i,j) \in Q_1} \sum_{(i,j) \in P_1, 1 \leq k \leq 2n+1, k \neq j} \prod_{ik} M\alpha_{ik}^{(0)} \prod_{is} M\beta_{is}^{(0)} \int_0^{h_{i2n}} \bar{G}_{i2n}^{(0)}(t) dt + \quad (8) \\
 & + \sum_{(i,j) \in Q_1} \sum_{\substack{(i,j) \in P_1, 1 \leq k \leq j-1, \\ k \neq 1}} \prod_{ik} M\alpha_{ik}^{(0)} \prod_{is} M\beta_{is}^{(0)} \prod_{\substack{(s,r) \in Q_1, \sum h_{ik} \\ s \neq i, j+1 \leq k \leq 2n}} \int_0^{\infty} \bar{F}_{sr}^{(0)}(t) dt \times \\
 & \prod_{\substack{(s,r) \in P_1, \sum h_{jk} \\ s \neq i, j \leq k \leq 2n}} \int_0^{\infty} \bar{G}_{sr}^{(0)}(t) dt \prod_{\substack{j+1 \leq m \leq 2n, \\ jsk \in N, \sum h_{jk}}}} \int_0^{\infty} \bar{F}_{00}^{(0)}(t) dt \prod_{\substack{j \leq l \leq m-1, k \in M, \\ \sum h_{jl}}} \int_0^{\infty} \bar{G}_{il}^{(0)}(t) dt \prod_{\substack{j \leq l \leq m-2, k \in N, \\ \sum h_{jl}}} \int_0^{\infty} \bar{F}_{il}^{(0)}(t) dt +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{(i,j) \in Q1} \sum_{(i,j) \in P11} \prod_{1 \leq k \leq j-1} M \alpha_{ik}^{(0)} \prod_{\substack{2 \leq s \leq j, \\ s \neq j}} M \beta_{is}^{(0)} \prod_{\substack{(s,r) \in Q1, \\ s \neq i}} \int_{\sum_{j \leq k \leq 2n} h_{ik}}^{\infty} \bar{F}_{sr}^{(0)}(t) dt \times \\
 & \times \prod_{\substack{(i,s) \in P1, \\ s \neq i}} \int_{\sum_{j \leq k \leq n} h_{ik}}^{\infty} \bar{G}_{is}^{(0)}(t) dt \prod_{j+1 \leq m \leq 2n} \int_{\sum_{j \leq k \leq Q} h_{ik}}^{\infty} \bar{F}_{\infty}^{(0)}(t) dt \int_{\sum_{j \leq m-2, k \in P1} h_{ik}}^{\infty} \bar{G}_{ii}^{(0)}(t) dt \int_{\sum_{j \leq m-1, k \in Q} h_{ik}}^{\infty} \bar{F}_{ii}^{(0)}(t) dt \Big].
 \end{aligned}$$

В третьей главе рассматриваются задачи повышения эффективности функционирования асинхронных АПС.

В разделе 3.1. рассмотрена задача определения максимального коэффициента готовности ГАЛ при ограничениях на объемы МН. Требуется определить объемы МН ГАЛ, обеспечивающие максимальный стационарный коэффициент готовности, при ограничениях на суммарное число кассет (продукции) в линии и на предельно допустимый объем каждого МН.

В случае однопоточной ГАЛ формализованная постановка задачи имеет следующий вид:

$$(h_1, \dots, h_n) \rightarrow \max K_r(h_1, \dots, h_n), \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n h_i = h, \quad h_i \min \leq h_i \leq h_i \max, \quad i = \overline{1, n}.$$

где h - суммарный резерв времени в накопителях линии,

$h_i \min, h_i \max$ - предельно допустимые минимальное и максимальное значения резерва времени h_i в i -ом накопителе. Результаты, полученные в главе 2, позволяют решать указанную задачу.

Пусть времена безотказной работы и восстановления устройств имеют экспоненциальное распределение, т.е.

$$\begin{aligned}
 F_i^{(0)}(t) &= 1 - e^{-\lambda_i t} & F_i^{(1)}(t) &= 1 - e^{-\mu_i t}, \quad i = \overline{1, 3} \\
 G_j^{(0)}(t) &= 1 - e^{-\alpha_j t} & G_j^{(1)}(t) &= 1 - e^{-\beta_j t}, \quad j = \overline{1, 2}.
 \end{aligned}$$

Для трёхфазной системы точка максимума исходной функции:

$$h_1^* = \ln \left[\frac{c^4 c_6}{c_5 (\alpha_1 + \alpha_2)} \right] / (\alpha_1 + \alpha_2 + c_4), \quad (10)$$

где $c_0 = 1 + \lambda_3 / \mu_3 + \alpha_2 / \beta_2$, $c_3 = \alpha_1 / \beta_1$, $c_1 = \lambda_1 / \mu_1$,

$c_4 = \beta_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \alpha_2$, $c_2 = \mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3$, $c_6 = c_3 \cdot e^{-c_4 h}$,

$c_5 = c_1 \cdot e^{-h(c_2 + \alpha_2)}$, h_1, h_2 - смкость МН.

В разделе 3.2. рассмотрена задача определения оптимального среднего времени восстановления системы для минимизации времени изготовления одного изделия при ограничениях на размер серии и емкости МН.

Необходимо определить оптимальное среднее время восстановления системы для минимизации среднего времени изготовления одного изделия при ограничениях на размер серии изделий и определить оптимальные объемы МН для данного случая

$$(h_1, h_2) \rightarrow \min [T_p(N_b, T_-(h))], N_{b \min} \leq N_b \leq N_{b \max}, h_1 > 0, h_2 > 0. \quad (11)$$

Раздел 3.3. содержит постановку и решение обратной задачи: определить размер серии обрабатываемых изделий для минимизации среднего времени изготовления одного изделия при ограничениях на среднее время восстановления системы.

В разделе 3.4. решена задача оценки области применимости МН для однопоточной ГАЛ. Постановка задачи следующая: оценить интервал значений параметров двухфазной ГАЛ, на котором применение МН эффективно. Расчитанные коэффициенты применимости МН образуют семейство кривых изображено на рис.3. Кривые, лежащие выше оси ОХ, - находятся в области применимости МН и коэффициент применимости для них положителен. Что касается эффективности применения МН, то стабильный эффект достигается при числе мест в МН $n=5, 7, 10$.



Рис. 3. Оценка применимости накопителей

Для решения задачи использовались методы прямого поиска и нелинейного программирования, реализованные в пакетах Mathcad, Mathcad 6.0 PLUS, EUREKA, Mathlab. 400, Mathem 220.

В четвертой главе рассматриваются вопросы экспериментальных исследований и имитационного моделирования АПС.

Проведено сравнение теоретических исследований с результатами, полученными другими методами. Проанализированы характеристики функционирования ГАС при различных законах распределения параметров. Исследованы свойства моделей, экспериментально найдена дисперсия коэффициента готовности при различных законах распределения СВ - средних времен работы и восстановления устройств.

На основе экспериментальных данных, собранных в производственных условиях на комплексной автоматизированной линии по разливу жидкого продукта проведено сравнение теоретических и экспериментальных результатов, подтвердившее адекватность математической модели АПС (таблица 4.1).

Рассматриваются вопросы имитационного моделирования ГАЛ на языке GPSS, анализируются результаты моделирования. Результаты сравнения аналитического и имитационного моделирования для различных стратегий работы АПС подтверждают адекватность постро-

енных математических моделей - погрешность расчетов составила не более 3%. Представлена структура ДПС, обеспечивающей автоматизацию проектирования АПС.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в работе.

В приложениях представлены программы и результаты имитационного моделирования, сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования, акты внедрения результатов работы.

Таблица 4.1.

| N | Бид оборудова- ния АЛРЖП | Экспериментал ьные значения оборудования АЛРЖП | Показатели работы АЛРЖП | | | |
|----|-----------------------------------|---|-------------------------|-----------------------|-------------|---------------------|
| | | | Расчетные по модели | | Фактические | |
| | | Время об. 1 изд. т, час | Кг (мод) | Плн, шт./час (мод) | Кг (э) | Плн, шт./час (э) |
| 1 | TK1 | 0.000167 | 0.921 | 2303.79 | 0.924 | 2308.65 |
| 2 | H2 | | | | | |
| 3 | TK2 | 0.000167 | | | | |
| 4 | H3 | | | | | |
| 5 | TK3 | 0.0000154 | | | | |
| 6 | H4 | | | | | |
| 7 | TK4 | 0.000417 | | | | |
| 8 | H5 | | | | | |
| 9 | TK5 | 0.000167 | | | | |
| 10 | H6 | | | | | |
| 11 | TK6 | 0.000167 | | | | |

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Общим итогом работы является совершенствование метода математического моделирования асинхронных АПС с учетом надежности обрабатываемых и накопительных элементов.

Разработаны модели и получены аналитические выражения для расчета характеристик функционирования указанных систем.

Результаты работы состоят в следующем:

1. Осуществлена формализация постановки задачи математического описания функционирования ГАЛ.
2. Построены математические модели функционирования однопоточной ГАЛ с МН с учетом ее надежности, различными стратегиями работы и найдены ее характеристики функционирования.
3. Разработана математическая модель функционирования многопоточной ГАЛ параллельно-последовательной структуры с МН с учетом надежности.
4. На базе разработанных моделей с учетом выбранных критериев решен ряд задач параметрической и структурной оптимизации автоматизированных АПС.
5. Для проверки теоретических положений работы, используя данные пассивного эксперимента в производственных условиях, проведено сравнение теоретических и экспериментальных результатов - погрешность расчетов не более 3%.
6. Проведены исследования свойств моделей: найдены средние и дисперсии для выходных характеристик на различных законах распределения СВ - средних времен работы и восстановления устройств системы.
7. Проведено сравнение теоретических исследований с результатами исследований, полученными другими методами. Используемый в данной работе метод дает более точные результаты, что подтверждено имитационным моделированием.
8. Проведено имитационное моделирование ГАЛ, подтвердившее адекватность теоретических результатов, погрешность расчетов - 4%.
9. На базе построенных моделей разработана структура ДПС, обеспечивающей автоматизацию проектирования автоматизированных асинхронных АПС, а также структура диалоговой программной системы оптимизации (ДПСО) АПС.

Полученные аналитические выражения для комплексных характеристик функционирования АПС обладают достаточной общностью и могут быть эффективно использованы при проектировании и модификации систем данного класса.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. Обжерин Ю.Е., Копп В.Я., Доронина Ю.В. Двухфазная производственная система с накопителем // Оптимизация производственных процессов. Научно - тех. сборник. Вып. 3. - Севастополь: Alliance Francaise, 1995 - С. 14 - 17.
2. Доронина Ю.В., Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Мащенко Е.Н. Метод расчета производительности синхронных автоматизированных линий // Информатизация и новые технологии.- N 1.- ,996. - С.19-21.
3. Доронина Ю.В., Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Мащенко Е.Н. Расчет параметров автоматизированных производственных синхронных систем. В кн. Оптимизация производственных процессов.- Севастополь, Alliance Francaise, - 1996.- Вып. 4. -С.9-15.
4. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Мащенко Е.Н., Гапоненко Ю.В. (Доронина) 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. Обжерин Ю.Е., Копп В.Я., Доронина Ю.В. Оценка надежности двухфазной системы с накопителем // Оптимизация производственных процессов. Научно - техн. сборник. Вып.3.- Севастополь: Alliance Francaise, 1995. - С. 14 - 17.
6. Доронина Ю.В., Копп В.Я., Обжерин Ю.Е. Интегральная оценка надежности системы с накопителем.- // Сб. науч. тр./ Севастополь. гос.техн. ун-т.- 1997 г.- Вып. 7.- С. 51-59.

7. Доронина Ю.В., Копп В.Я., Обжерин Ю.Е. Сравнительный анализ различных стратегий работы однопоточной системы с промежуточными накопителями на основе аналитической и имитационной моделей. // Сб. науч. тр./ Севастополь. гос.техн. ун-т.- 1997 г.- Вып. 7.- С. 103-108.

8. Обжерин Ю.Е., Копп В.Я., Доронина Ю.В. Расчет параметров двухфазной производственной системы с накопителем. В кн. Оптимизация производственных процессов.- Севастополь, Alliance Francaise, - 1996.- Вып. 4.

9. Литвинова Л.А., Гапоненко Ю.В. (Доронина) Оценка надежности характеристик микропроцессорных систем на основе аналитико-имитационной модели // Сб. Научные труды факультета естеств. наук.- Вып. 1.- Севастополь, 1993.- С. 87-91.

10. Доронина Ю.В., Выпрямкина И.В. Использование временно-го резервирования для повышения надежности газопроводов // Материалы VI Международной научно-технической конференции "Прикладные проблемы механики жидкости и газа" .- Севастополь.: СевГТУ, 1997.- С. 96 - 97.

11. Доронина Ю.В. Применение алгоритмов фазового укрупнения для анализа сборочных систем с учетом надежности накопителей.// Автоматизация: проблемы, идеи, решения. Международный семинар. Сборник кратких содержания докладов.- Тула, 1996.- С. 54-55.

12. Доронина Ю.В. Анализ автоматизированных систем с учетом надежности накопителей.// 3-я українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-96".- Праці.- Том 1.- СевГТУ, 1996.- С. 164 - 165.

Дороніна Ю.В. Аналіз продуктивності та надійності автоматизованих асинхронних систем методом фазового укрупнення.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.13.07 - автоматизація технологічних процесів. Севастопольський Державний технічний університет. Севастополь, 1997.

Захищається рукопис на базі 12 робіт, що містять результати досліджень проблеми продуктивності та надійності асинхронних автоматизованих виробничих систем. За основу математичного моделювання взято апарат теорії напівмарковських процесів з загальним фазовим простіром. Для вирішення проблеми розмірності моделей використовуються алгоритми фазового укрупнення. Побудовано моделі та знайдено характеристики продуктивності та надійності багатокomпонентних асинхронних систем.

Doronina Yu.V. Analysis of automatic asynchronous systems productivity and reliability of the method of phase merging.

Candidat of technical science thesis, speciality 05.13.07- the automation of technological processes. Sevastopol State Technical University, Sevastopol, 1997.

The manuscript based on the 12 articles is defended. It contains the results of the investigations of the problem of asynchronous automatic industrial systems productivity and reliability. Theory chain of semi-markovian processes with general phase space is used as the basis of mathematical modeling of this class. Algorithms of phase merging are used for solving the problem of the dimensions of models. Models are built and characteristics of productivity and reliability of manycomponent synchronic system are found.

Ключеві слова: автоматизована асинхронна система, проміжний нагромаджувач, напівмарковський процес.

552.85 вА

Отпечатано в НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика"
335000, Севастополь, ул. Ленина, 28

AB 38.537