

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

БУХССИН ФУАД  
(Марокко)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И  
МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ УЧАСТКАМИ ГИБКОГО  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Специальность 05.13.07 - "Автоматизация технологических  
процессов и производств"

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк - 1997

687.5

ЛННБ України ім.В.Стефаніка

Диссертационная работа является рукописью



Работа выполнена в Донецком государственном университете.

00753837 (X)

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Лаздынь Сергей Владимирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Макаров Михаил Иванович ; кандидат технических наук, доцент  
Демченко Николай Петрович

Ведущая организация - Научно-исследовательский институт  
комплексной автоматизации (г. Донецк.)

Защита состоится "28" "мая" 1997 г. в 14 час. на заседании  
специализированного совета К.06.04.01 в Донецком государственном  
техническом университете по адресу: 340000, г. Донецк, ул. Артема 58,  
корп. 1, ауд. 201.

Отзывы на автореферат направлять по адресу : 340000, г. Донецк,  
ул. Артема 58, ученому секретарю ДГТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого го-  
сударственного технического университета.

Автореферат разослан "24" "апреля" 1997 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент

Мокрый Г.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

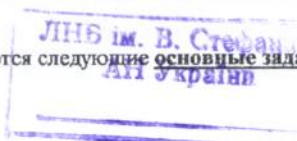
**Актуальность и степень исследованности тематики диссертации.** В рыночной экономике наиболее перспективным направлением решения проблемы оперативной перестройки оборудования на выпуск новой продукции (удовлетворение спроса) является комплексная автоматизация производства, разработка и внедрение гибких автоматизированных производств (ГАП), которые включают на первом этапе гибкие производственные системы (ГПС), создаваемые на базе оборудования с ЧПУ, роботов - манипуляторов, управляемых от ЭВМ, а при дальнейшем развитии полностью автоматизированные производства. Выполненный анализ показал, что из множества создаваемых ГАП наибольшее распространение получили гибкие автоматизированные участки (ГАУ), в состав которых входят гибкие производственные модули (ГПМ), роботизированные технологические комплексы (РТК), система обеспечения функционирования, автоматизированная транспортно-складская система (АТСС), система управления (СУ ГАУ). В качестве объекта исследований процесса работы и управления обоснован гибкий автоматизированный участок, как базовая наиболее сложная, динамическая структура ГАП.

ГАП относится к классу сложных, динамических, дискретных объектов, для изучения которых широко применяются методы и языки имитационного моделирования. Показано, что существующие пакеты программ предназначены в основном для использования на этапе эскизного и технического проектирования ГАП и поэтому они не пригодны для моделирования и оптимизации параметров работы и управления гибких производств в реальном масштабе времени. Анализ существующих методов управления ГАП показал, что они имеют достаточно большой интервал регулирования (сутки, смена), не имеют средств адаптации к изменяющейся производственной ситуации, формируют управляющие воздействия без учета будущих состояний объекта. В связи с этим, возникает актуальная задача совершенствования и создания методов, математических моделей работы и управления ГАУ для повышения эффективности эксплуатации автоматизированных производств.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности эксплуатации гибких автоматизированных производств в условиях возмущающих воздействий путем совершенствования методов управления работой технологического и транспортно-складского оборудования с использованием математических моделей ГАУ.

**Идея работы** заключается в применении адаптивного подхода, построенного на использовании в системе управления математических моделей для прогнозирования будущих состояний объекта, с учетом влияния возмущений, и выбора эффективных алгоритмов управления работой ГАУ.

Для достижения цели ставятся и решаются следующие **основные задачи**:



1. Создание математических моделей функционирования компонентов ГАУ: гибкого производственного, транспортного модулей и автоматизированного склада.

2. Разработка математической модели системы управления ГАУ на основе модульного принципа построения для оценки вариантов управляющих воздействий в изменяющихся производственных ситуациях.

3. Обоснование критерия эффективности работы оборудования, разработка методов и принципа управления гибкими автоматизированными участками в условиях возмущающих воздействий.

4. Создание алгоритмов и разработка пакетов программ моделирования функционирования компонентов и системы управления гибким автоматизированным участком с произвольной структурно-компоновочной схемой.

5. Проведение вычислительного эксперимента, исследование эффективности разработанных методов, получение зависимостей параметров и режимов работы компонентов и системы управления ГАУ. Выбор структуры и комплекса технических средств системы управления гибким участком.

**Методология и методы исследования.** В основу разработки моделей положены: метод моделирования, построенный на использовании модульного принципа и методов теории автоматов; существующие типовые структуры участков гибкого автоматизированного производства машиностроительных предприятий. Принцип формирования расписаний работы оборудования ГАУ базируется на использовании методов направленного поиска для рационального выбора алгоритмов управления. Для проведения исследований использованы методы планирования вычислительного эксперимента и математической статистики.

**Основные научные положения и результаты, выносимые на защиту, их новизна.**

**Положения:**

1. Разработанные математические модели ГАУ, пакеты программ построенные на основе модульного принципа и методов теории автоматов, предназначены для использования на этапе эксплуатации ГАУ и в отличие от известных, обеспечивают возможность в реальном масштабе времени моделировать работу оборудования и системы управления с учетом возмущающих воздействий.

2. Принцип управления ГАУ с использованием адаптивного подхода, при котором в условиях действия возмущений, на основании информации о состоянии объекта производится прогнозирование на модели его будущих состояний и настройка параметров системы управления, что позволяет выбрать эффективные алгоритмы управления работой оборудования и движением потоков деталей.

3. Метод составления расписаний работы ГАУ, построенный на использовании математических моделей и оптимизации параметров комбинированного решающего правила обеспечивающий определение рациональной последовательности технологических операций и работы оборудования с учетом сложившейся ситуации. Количественная оценка эффективности составления расписания работы участка проводится по критерию максимума загрузки ГПМ при соблюдении директивных сроков изготовления деталей.

4. Повышение эффективности функционирования и управления ГАУ достигается путем выбора рабочих параметров, режимов работы оборудования, управляющих воздействий и составлением расписания работы участка, обеспечивающих рациональную загрузку оборудования и оптимальную стратегию управления системой с учетом влияния возмущений.

#### **Результаты:**

1. Разработаны новые математические модели компонентов и системы управления гибкого участка механообработки, обеспечивающие получение характеристик работы оборудования с учетом влияния возмущающих воздействий и изменяющейся производственной программы.

2. Разработаны методы и алгоритмы управления ГАУ позволяющие формировать и корректировать расписания работы оборудования, устанавливать приоритеты деталям с учетом возникших отклонений, что обеспечивает максимальную загрузку гибких технологических модулей и сокращение длительности цикла выполнения производственного задания.

3. Предложен новый принцип управления ГАУ с использованием адаптивного подхода, позволяющий производить настройку параметров системы управления с учетом изменения производственной ситуации, что обеспечивает повышение эффективности работы участка.

4. Разработаны функциональная схема и структура комплекса технических средств системы управления для составления расписания работы гибкого участка и формирования эффективных управляющих воздействий в условиях действия возмущений.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:** корректным использованием методов и математического аппарата для исследования технологических компонентов и системы управления ГАУ, обоснованностью принятых допущений, адекватностью разработанных моделей, проверенной в ходе вычислительного эксперимента, расхождением результатов моделирования и данных испытаний до 10 %, положительными результатами внедрения и апробацией работы на научных конференциях и в учебном процессе.

**Научное значение работы** состоит в развитии методов и принципов модульного моделирования гибких автоматизированных производств на базе методов теории автоматов, совершенствовании методов управления ГАУ, обеспечивающих составление эффективных расписаний работы участка с учетом действия возмущений, разработке нового принципа управления ГАУ с использованием элементов адаптивного подхода, позволяющих обосновать и выбрать структуру комплекса технических средств системы управления гибким автоматизированным участком.

**Практическая значимость работы заключается в разработке:**

математических моделей технологических компонентов и системы управления ГАУ механообработки, учитывающих влияние реальных возмущений и изменение производственной программы функционирования гибкого автоматизированного участка;

комплексной модели системы управления, используемой для составления и корректировки расписания работы гибкого автоматизированного участка с произвольной структурно-компоновочной схемой и учетом возмущающих воздействий;

алгоритмов и пакетов программ по установлению зависимостей параметров, режимов работы технологического оборудования и системы управления, обеспечивающих повышение эффективности функционирования гибких автоматизированных производств;

структуры комплекса технических средств, системы управления ГАУ, позволяющей обеспечить высокую эффективность функционирования объекта в условиях действия возмущений.

**Декларация личного вклада.** Автором самостоятельно обоснован критерий эффективности, разработаны методы управления гибким дискретным производством, математические модели компонентов ГАУ с использованием модульного принципа и методов теории автоматов, предложен принцип управления ГАУ с использованием адаптивного подхода, разработаны алгоритмы и пакеты программ по установлению режимов работы оборудования и системы управления, проведен вычислительный эксперимент, разработана структура системы управления ГАУ.

**Реализация результатов работы.** Полученные в работе результаты переданы заводу “Топаз” (г. Донецк), корпорации “Укруглемаш” (г. Донецк), институту “Автоматгормаш” (г. Донецк). Указанными организациями использованы: модели и алгоритмы формализованного описания работы технологического оборудования производственных участков; комплексные модели составления эффективного расписания работы оборудования участков с произвольной структурно-компоновочной схемой; рекомендации по выбору гибких технологических модулей, системы управления, рекомендации по её организации. Результаты работы использованы в учебном процессе кафедры автоматизированные системы управления Донецкого государственного технического университета.

**Апробация.** Результаты диссертационных исследований доложены, обсуждены и получили одобрение на кафедре автоматизированные системы управления Донецкого государственного технического университета (1994-1997г.г.); на VI Международной научно-технической конференции “Экология промышленного региона” (Донецк, 1995); на Международной научно-технической конференции “Современные проблемы машиностроения и технический прогресс” ( Севастополь, 1996г.); на расширенном семинаре кафедр факультета компьютерные информационные технологии и автоматика Донецкого государственного технического университета (1997г.).

**Публикации.** Основные результаты диссертации отражены в 4 печатных работах.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из содержания, введения, четырех глав, заключения, изложенных на 175 страницах машинописного текста, содержит 36 рисунков, 7 таблиц, список литературы из 93 наименований и 8 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, идея работы и основные задачи исследований, определены научная новизна и практическая ценность работы, приведены сведения о реализации и апробации результатов работы, публикации, структуре и объеме диссертации.

**В первой главе** отмечается, что в развитие научного направления разработки и совершенствования систем управления ГАП внесли значительный вклад научные и учебные заведения: ЭНИМС, МГТУ им. Баумана (г. Москва), ЛИАП, ЛПИ (г. Санкт-Петербург), Институт кибернетики НАН Украины, КПИ (г. Киев), ДонГТУ (г. Донецк) и др., а также ученые и специалисты: Горнев В.Ф., Игнатьев М.Б., Калин О.М., Лаздынь С.В., Мясников В.А., Макаров И.М., Спорыхин В.Я., Соколицын С.А., Соломенцев Ю.М., Шкурба В.В., Ямпольский Л.С. и др. Проведенный анализ состояния исследований и практических разработок показал, что существующие в настоящее время ГАП позволяют в основном автоматизировать этап организационной подготовки, запуска в производство деталей в условиях гибкого многономенклатурного производства. Эти системы являются человеко-машинными со значительной степенью участия человека в процессе принятия решений, имеют длительный период контроля и регулирования (сутки, смена), в них не формируется расписание, как основа для автоматизированного управления работой оборудования с учетом возмущающих воздействий.

Показано, что совершенствование и развитие методов и принципов управления должно осуществляться в следующих направлениях: повышение уровня автоматизации выполняемых системой функций управления с участием человека - диспетчера ГАУ лишь в особых ситуациях; обеспечение гибкости системы управления путем адаптации к динамически изменяющейся производственной ситуации; использование математических мо-

делей ГАУ в системе управления для составления и корректировки расписаний работы оборудования, прогнозирования будущих состояний ГАУ при формировании управляющих воздействий.

*Во второй главе* разработаны новые математические модели типовых компонентов ГАУ: гибкого производственного и транспортного модулей, автоматизированного склада, системы управления ГАУ, алгоритмы и программная реализация на ПЭВМ указанных моделей. Для построения моделей обоснован метод теории автоматов. На рис. 1. показана модель работы гибкого производственного модуля.

Автомат  $N_Z$  - это количественная характеристика, определяющая состояние накопителей заготовок. Состояние этого автомата  $N_Z(t+\Delta t)$  для каждого последующего момента времени  $(t+\Delta t)$  определяется выражением:

$$N_Z(t + \Delta t) = N_Z(t) + Y_{FT}(t) - Y_{R1}(t), \quad (1)$$

где  $Y_{FT}(t)$  - выходной сигнал автомата  $F_T$  модели автоматизированного транспорта, обозначающий число заготовок в обрабатываемой партии;  $Y_{R1}(t)$  - выходной сигнал автомата  $R_1$ . Начальное состояние автомата  $N_Z(0)=0$ . Выходной сигнал  $Y_{NZ}(t)$  отражает число оставшихся в накопителе заготовок:  $Y_{NZ}(t)=N_Z(t)$ . Этот сигнал является векторной величиной и отражает:  $Y_{NZ}^1$  - тип заголовка;  $Y_{NZ}^2$  - количество заготовок;  $Y_{NZ}^3$  - количество выполняемых операций.

Автомат  $R_1$  моделирует захват промышленным роботом заготовки из накопительного устройства, ее транспортировку к станку и установку в зону обработки. Состояние  $R_1(t)$  - промежуток времени, оставшийся до момента окончания установки и закрепления заготовки в патроне станка, начиная с момента времени  $t$ . Для каждого последующего момента времени  $t+\Delta t$  состояние автомата будет равно :

$$R_1(t+\Delta t) = \{1 - \delta[R_1(t), \Delta t]\} [R_1(t) - \Delta t] + \delta[Y_{CM}(t), 1] \{Y_{R3}(t) + \delta[R_1(t), 0]\} \delta[Y_{NZ}(t), 1] (T_{B3} + T_{TP} + T_{ZAKP}), \quad (2)$$

где  $\delta(a, b)$  - единичная функция, принимающая, в зависимости от величины параметров  $a$  и  $b$ , значение нуля и единицы:

$$\delta(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{если } a \leq b, \\ 0, & \text{если } a > b, \end{cases} \quad (3)$$

$Y_{CM}(t)$  - выходной сигнал автомата  $C_M$  системы управления, разрешающий обработку партий деталей;  $Y_{R3}(t)$  - выходной сигнал автомата  $R_3$ ;  $T_{B3}$  - время захвата заготовки из накопителя;  $T_{TP}$  - время транспортировки заготовки в зону обработки;  $T_{ZAKP}$  - время закрепления заготовки в патрон станка.

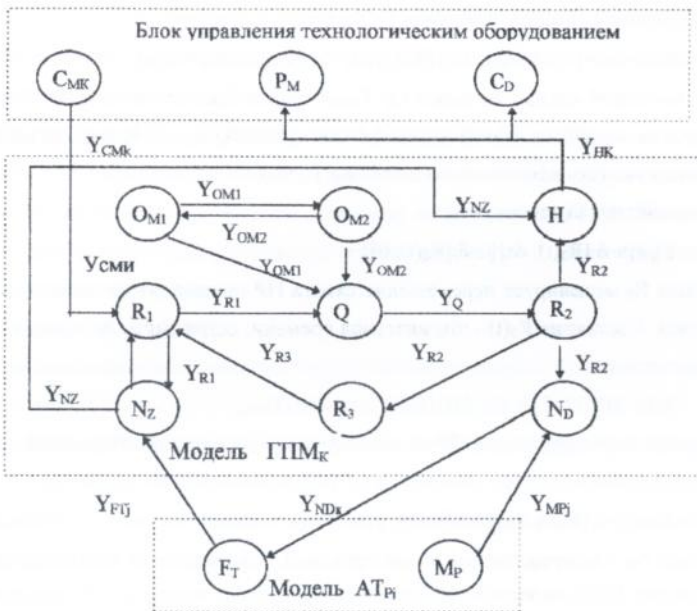


Рисунок 1- Модель работы гибкого производственного модуля

Выходной сигнал  $Y_{R1}(t)=1$  выдается автоматом  $R_1$ , если закрепление заготовки в патрон станка произойдет в течение следующего такта времени:

$$Y_{R1}(t)=\delta [R_1(t), \Delta t] \{1-\delta [R_1(t), 0]\} \quad (4)$$

Автомат  $Q$  моделирует обработку заготовки на станке. Состояние автомата  $Q(t)$  - промежуток времени, оставшийся до момента окончания обработки заготовки на станке, начиная с момента времени  $t$ . Для каждого  $t+\Delta t$ :

$$Q(t+\Delta t)=\{1-\delta [Q(t), \Delta t]\} [Q(t)-\Delta t] + \delta [Q(t), 0] Y_{R1}(t) * Y_{OM1}(t) [1-Y_{OM2}(t)] T_{OBR}, \quad (5)$$

где  $T_{OBR}$  - время обработки заготовки на станке;  $Y_{OM1}(t)$  - выходной сигнал автомата  $O_{M1}$ , разрешающего обработку деталей на станке;  $Y_{OM2}(t)$  - выходной сигнал автомата  $O_{M2}$ , блокирующего обработку деталей из-за поломки оборудования. Выходной сигнал  $Y_Q(t)=1$  выдается автоматом  $Q$ , если обработка завершается в течение следующего такта, т.е.  $0 \leq Q(t) \leq \Delta t$ :

$$Y_Q(t)=\delta [Q(t), \Delta t] \{1-\delta [Q(t), 0]\} \quad (6)$$

Автомат  $R_2$  моделирует захват промышленным роботом (ПР) детали, освобождение из патрона, транспортировку к накопителю деталей и укладку в накопительное уст-

ройство. Состояние  $R_2(t)$  - промежуток времени, оставшийся до окончания всех этих функций ПР, начиная с момента времени  $t$ . Для  $t+\Delta t$  :

$$R_2(t+\Delta t) = \{1 - \delta [R_2(t), \Delta t]\} [R_2(t), \Delta t] + Y_Q(T_{ЗАХВ} + T_{ТР} + T_{ОСВ}), \quad (7)$$

где  $Y_Q(t)$  - выходной сигнал автомата  $Q$ ;  $T_{ЗАХВ}$  - время захвата детали ПР;  $T_{ТР}$  - время транспортировки детали от станка к накопителю деталей;  $T_{ОСВ}$  - время, затраченное на освобождение и укладку детали в накопительное устройство.

Выходной сигнал автомата  $R_2$ :

$$Y_{R_2}(t) = \delta [R_2(t), \Delta t] \{1 - \delta [R_2(t), 0]\} \quad (8)$$

Автомат  $R_3$  моделирует перемещение схвата ПР от накопителя деталей к накопителю заготовок. Состояние  $R_3(t)$  - это интервал времени, оставшийся до момента захвата очередной заготовки:

$$R_3(t+\Delta t) = \{1 - \delta [R_3(t), \Delta t]\} [R_3(t), \Delta t] + R_3(t) T_{ХОД}, \quad (9)$$

где  $T_{ХОД}$  - время перехода схвата ПР от накопителя к накопителю. Выходной сигнал автомата  $R_3$ :

$$Y_{R_3}(t) = \delta [R_3(t), \Delta t] \{1 - \delta [R_3(t), 0]\} \quad (10)$$

Автомат  $N_D$  - количественная характеристика, определяющая состояния накопителя деталей :

$$N_D(t+\Delta t) = [N_D(t) + Y_{R_2}(t)] [1 - Y_{MP}(t)], \quad (11)$$

где  $Y_{MP}(t)$  - выходной сигнал автомата  $M_P$  транспортного и складского модуля ГАУ. Начальное состояние автомата  $N_D(0) = 0$ . Выходной сигнал равен числу обработанных деталей, т.е.:  $Y_{ND}(t) = N_D(t)$ . Выходной сигнал автомата  $N_D$  является векторной величиной;  $Y_{ND}^1$  - типы деталей;  $Y_{ND}^2$  - количество деталей в партии;  $Y_{ND}^3$  - число выполненных технологических операций.

Автомат  $O_{M1}$  генерирует время исправного состояния оборудования ГПМ. Состояние автомата  $O_{M1}(t)$  это промежуток времени, оставшийся до выхода из строя оборудования, начиная с момента времени  $t$ . Для каждого последующего момента времени  $t+\Delta t$  состояние автомата  $O_{M1}$  будет равно :

$$O_{M1}(t+\Delta t) = \{1 - \delta [O_{M1}(t), \Delta t]\} [O_{M1}(t) - \Delta t] + \delta [O_{M1}(t), 0] [1 - Y_{OM2}(t)] T_{И}, \quad (12)$$

где  $Y_{OM2}(t)$  - выходной сигнал автомата  $O_{M2}$ ;  $T_{И}$  - случайная величина, определяющая длительность исправного состояния оборудования ГПМ. Выходной сигнал  $Y_{OM1}(t)$  равен 1, если оборудование исправно и поломка оборудования произойдет в течение следующего такта времени :

$$Y_{OM1}(t) = 1 - \delta [O_{M1}(t), \Delta t] \quad (13)$$

При этом единичное значение  $Y_{OM1}(t)$  разрешает начало обработки очередной детали автоматом  $Q$ .

Автомат  $O_{M2}$  генерирует время проведения ремонта оборудования. Состояние автомата  $O_{M2}(t)$  означает промежуток времени, оставшийся до окончания устранения неисправности, начиная с момента времени  $t$ . Для каждого последующего момента времени  $t+\Delta t$  состояние этого автомата будет равно :

$$O_{M2}(t+\Delta t) = \{1 - \delta [O_{M2}(t)]\} [O_{M2}(t) - \Delta t] + \delta [O_{M2}(t), 0] [1 - Y_{OM1}(t)] T_P, \quad (14)$$

где  $Y_{OM1}(t)$  - выходной сигнал автомата  $O_{M1}$ ;  $T_P$  - случайная величина, определяющая длительность устранения неисправности (ремонта) оборудования ГПМ. Выходной сигнал  $Y_{OM2}(t) = 0$ , если оборудование исправно и становится равным 1, если произошла поломка и требуется проведение ремонта:

$$Y_{OM2}(t) = \delta [O_{M2}(t), \Delta t], \quad (15)$$

При этом единичное значение  $Y_{OM2}(t)$  блокирует начало обработки очередной детали автоматом Q.

В работе принято, что величины, определяющие длительности исправного состояния ( $T_H$ ) и устранения неисправности ( $T_P$ ) оборудования, имеют экспоненциальный закон распределения и задаются средним временем наработки на отказ и средним временем восстановления.

Автомат H генерирует сигнал об окончании обработки на ГПМ очередной партии деталей. Состояние автомата H в каждый момент времени  $t+\Delta t$ :

$$H(t+\Delta t) = Y_{R2}(t) \delta [Y_{NZ}(t), 0], \quad (16)$$

где  $Y_{R2}(t)$  - выходной сигнал автомата  $R_2$ , моделирующего установку обработанной детали в накопитель;  $Y_{NZ}(t)$  - выходной сигнал автомата  $N_Z$ , моделирующего состояния накопителя заготовок. Величина  $H(t+\Delta t) = 1$ , когда накопитель заготовок пуст и обработана последняя деталь и нулевое значение в остальных случаях. Выходной сигнал  $Y_H(t)$  данного автомата совпадает с его состоянием, т.е.  $Y_H(t) = H(t)$ .

Разработанная математическая модель позволяет описать работу гибкого производственного модуля с учетом параметров и временных характеристик оборудования, производственной программы и взаимодействия с другими компонентами ГАУ. Аналогично разработаны математические модели работы других компонентов ГАУ: транспортного модуля, автоматизированного склада и системы управления всем гибким автоматизированным участком. На основании математических моделей разработаны алгоритмы и пакет программ моделирования работы гибкого автоматизированного участка с произвольной структурно-компоновочной схемой. Математические модели ГАУ используются в системе управления ГАУ для формирования эффективных расписаний, а также - для проведения вычислительных экспериментов при проектировании и эксплуатации системы, что в конечном итоге повышает эффективность функционирования ГАУ.

В третьей главе сформулирована цель, задача и разработаны методы и принципы управления ГАУ. Целью управления гибким участком является обеспечение выпуска продукции согласно производственной программе по количеству в установленные сроки при эффективном использовании ресурсов в условиях действия возмущений. В качестве критерия эффективности управления обоснован коэффициент загрузки технологического оборудования  $K_3$ :

$$K_3 = 1/m \sum K_{3j} \rightarrow \max, \quad (17)$$

где  $m$  - количество гибких производственных модулей (ГПМ) на участке;  $K_{3j}$  - коэффициент загрузки  $j$ -го ГПМ.

Задача управления ГАУ определяет необходимость организации эффективного взаимодействия технологического, транспортно-складского оборудования и потоков деталей, которое в условиях действия возмущений позволило бы обеспечить выполнение производственной программы ГАУ по количеству, в установленные сроки при наибольшей возможной загрузке оборудования:

$$N_{\Phi i} = P_i; \quad T_{изг i} \leq T_{дир i}, \quad i=1, \dots, k; \quad K_3 \rightarrow \max, \quad (18)$$

где  $N_{\Phi i}$ ,  $P_i$  - соответственно фактически изготовленное и заданное количество  $i$ -х деталей производственной программы;  $T_{изг i}$ ,  $T_{дир i}$  - фактический и директивный сроки изготовления;  $k$  - номенклатура изготавливаемых ГАУ деталей;  $K_3$  - средний коэффициент загрузки ГПМ в ГАУ.

В процессе функционирования ГАУ управляющие воздействия системы управления  $U_2(t)$  должны быть направлены на уменьшение длительности пролеживания деталей  $\tau_{ij}$  и формируются на основе трех функций управления  $U_R(t)$ ,  $U_T(t)$ ,  $U_P(t)$ , т.е.:

$$U_2(t) = \Phi [U_R(t), U_T(t), U_P(t)] \Rightarrow \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \rightarrow \min, \quad (19)$$

где  $U_R(t)$  - функция управления составлением расписания работы оборудования для  $j$ -го ГПМ и обработки  $i$ -й партии деталей;  $U_T(t)$  - функция управления работой транспортно-складской системы;  $U_P(t)$  - функция управления приоритетами партий деталей.

Показано, что основными причинами возникновения простоев в ГПМ являются: несовершенство методов составления расписания работы оборудования, определяющего последовательность, сроки обработки партий деталей на ГПМ (до 50% простоев); неэффективность работы автоматизированной транспортно-складской системы, осуществляющей обслуживание заявок ГПМ на перемещение партий деталей (до 30%). Простой могут возникать также в результате действия таких возмущений как: поломка технологического и транспортно-складского оборудования, отсутствие заготовок, инструмента и др.

Для решения поставленной задачи разработаны и изложены следующие методы управления: составление рационального расписания работы технологического оборудова-

ния и его корректировка; контроль и регулирование процесса изготовления деталей ГАУ; управление работой автоматизированной транспортно-складской системы. При разработке указанных методов использована математическая модель ГАУ для прогнозирования и оценки влияния вариантов управляющих воздействий, применен адаптивный подход, позволяющий настраивать параметры системы управления на изменяющуюся производственную ситуацию и состояние объекта управления.

Разработан метод и алгоритм составления эффективных расписаний работы ГАУ с оптимизацией параметров комбинированного решающего правила и использованием математической модели ГАУ. Создан и изложен метод и алгоритм выявления отклонений от расписаний работы оборудования ГАУ и формирования управляющих воздействий, направленных на ликвидацию этих отклонений. Разработан алгоритм адаптивного управления работой АТСС с переключением правил выбора заявок в зависимости от производственной ситуации в ГАУ. На основании обобщения разработанных методов предложен принцип управления ГАУ с использованием адаптивного подхода, при котором в условиях действия возмущений, при возникновении отклонений от расписания, прогнозируется ожидаемое состояние объекта, производится настройка параметров системы управления и формируются эффективные управляющие воздействия.

В четвертой главе рассмотрены результаты экспериментальных исследований и предложена структура комплекса технических средств системы управления ГАУ на базе локальной вычислительной сети (ЛВС). Для проведения экспериментальных исследований и апробации разработанных методов и математической модели управления ГАУ в качестве объекта выбран гибкий автоматизированный участок для механообработки деталей типа тел вращения, действующий на заводе ОАО "Топаз". В состав ГАУ входят шесть ГПМ, автоматизированный склад, транспортный модуль. В качестве исходных данных для проведения вычислительного эксперимента использовались: компоновочная схема ГАУ; состав и характеристики технологического оборудования; характеристики оборудования транспортного модуля и автоматизированного склада, производственная программа ГАУ; параметры технологических процессов обработки деталей. Проведено планирование вычислительных экспериментов с моделью ГАУ для исследования характеристик выбранного объекта. Определена длительность одного вычислительного эксперимента, которая исходя из условий обеспечения 10% -й погрешности должна составлять не менее 70 циклов моделирования ГАУ. Спланированы две серии экспериментов для исследования параметров функционирования ГАУ и оценки эффективности разработанных методов управления в условиях действия возмущений.

Анализ полученных в результате моделирования ГАУ данных показал, что около 40% от общего количества простоев ГПМ происходит из-за отсутствия заготовок, которые

возникают по причинам несовершенства методов составления расписания работы ГАУ и несовпадения длительностей смежных операций по технологическим маршрутам. На втором месте выделены простои ГПМ в ожидании обслуживания АТСС - около 25% всех простоев. На третьем и четвертом местах по значимости находятся простои из-за поломок оборудования и переналадок на другие операции. Проведено исследование влияния количества деталей в транспортной партии  $N_T$  на загрузку ГПМ и склада (рис.2 и 3). Анализ полученных зависимостей показал, что с ростом  $N_T$  загрузка ГПМ возрастает на 18%, а загрузка склада уменьшается примерно в 3 раза. Точка А пересечения кривых на рис.2 определяет критическую величину загрузки оборудования, равную 0,63 для  $N_T=12$  шт. При смещении влево от точки А увеличивается загрузка склада и уменьшается производительность ГПМ, при  $N_T>12$  происходят обратные явления. Установлено, что для повышения загрузки ГПМ необходимо уменьшить интенсивность потока заявок для автоматизированного склада за счет увеличения количества деталей в транспортных партиях и создания промежуточных накопителей при ГПМ. В результате проведенных исследований определены рациональные значения указанных параметров. Проведено исследование влияния количества запускаемых в обработку транспортных партий деталей одного наименования на загрузку ГПМ. Установлено, что наибольшая загрузка ГПМ достигается при общем количестве запускаемых в обработку деталей в пределах от 96 до 120 шт. в зависимости от размера транспортной партии  $12 \leq N_T \leq 20$  шт. В целом проведение серии вычислительных экспериментов с моделью ГАУ позволило определить, что “узким местом” данного объекта является автоматизированный склад, и установить рациональные параметры производственного процесса, при которых обеспечивается повышение загрузки основного технологического оборудования ГПМ.

Для построения комбинированного решающего правила, используемого для составления эффективных расписаний работы ГАУ, проведен анализ и отбор решающих правил. В результате выбрано 6 наиболее значимых по критерию наибольшей загрузки ГПМ простых правил, параметры которых исследованы в комбинированном решающем правиле. Оптимизация параметров комбинированного решающего правила методом статистического градиента позволила обеспечить загрузку ГПМ на 11% большую, чем с использованием наиболее эффективного простого правила. Проведенные вычислительные эксперименты с моделью ГАУ показали, что в условиях возмущений расписание, составленное с использованием оптимизированного комбинированного решающего правила, обеспечивает более высокую загрузку ГПМ (от 10 до 15%) и соблюдение директивных сроков изготовления деталей согласно производственной программе. Исследовано влияние управляющих воздействий в виде назначаемых деталям приоритетов на сроки изготовления деталей (рис.4, 5).

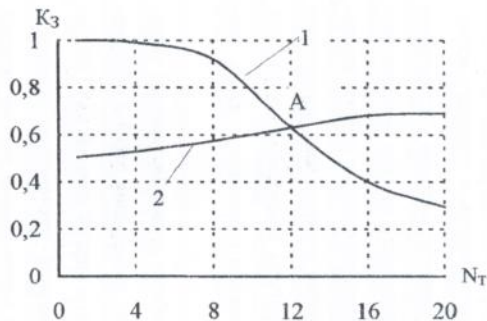


Рисунок 2 - Изменение коэффициентов загрузки: 1- автоматизированного склада; 2- ГПМ в зависимости от количества деталей в транспортной партии  $N_T$

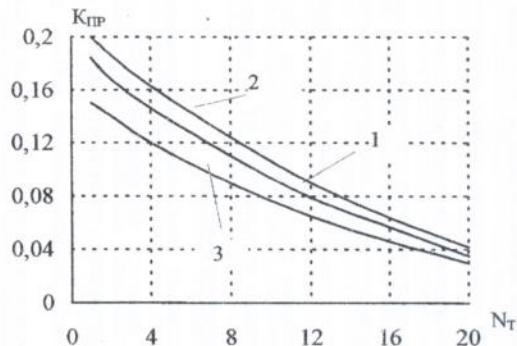


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента простоя ГПМ из-за АТСС от количества деталей в транспортной партии  $N_T$  для ГПМ: 1-16Б16Т1, 2- МК6736, 3- 1325Ф30

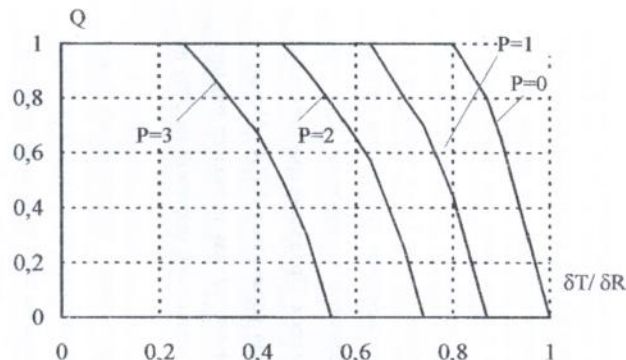


Рисунок 4- Зависимость вероятности изготовления деталей в срок  $Q$  от отношения длительности  $\delta T$  к резерву времени  $\delta R$  и приоритета  $P$

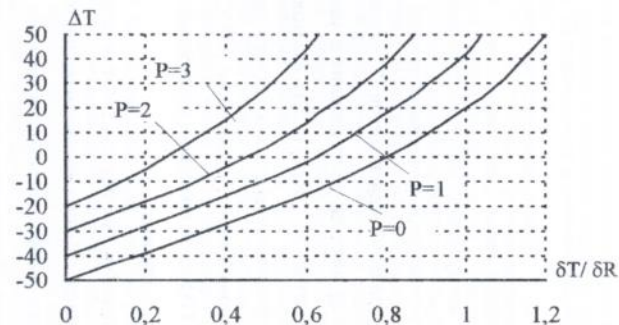


Рисунок 5- Зависимость отклонения от директивных сроков в час от отношения длительности  $\delta T$  к резерву времени  $\delta R$  и приоритета  $P$

На рис.4 показаны зависимости вероятности изготовления деталей  $Q$  от величины отношения длительности возмущения  $\delta T$  к резерву времени  $\delta R$  при различных значениях приоритетов  $P$ . Анализ зависимостей показал, что повышение приоритета детали от 3 до 0 существенно увеличивает вероятность ее изготовления в срок даже при значительной величине возмущения. На рис.5 приведены зависимости величины относительного отклонения моментов изготовления деталей  $\Delta T$  от директивных сроков  $T_{дир}$  в часах при изменениях значений приоритетов  $P$ . Установлено, что с повышением приоритета деталей уменьшается цикл их изготовления в зависимости от величины возмущения. При этом также возрастает до 1 вероятность изготовления деталей в срок. Проведена сравнительная оценка эффективности разработанного адаптивного метода управления АТСС. Установлено, что новый метод управления АТСС более эффективен, так как позволяет снизить простои ГПМ из-за ожидания обслуживания транспортно-складской системой на 50% по сравнению с другими.

Используя результаты теоретических и экспериментальных исследований функционирования гибкого автоматизированного участка предложена структура комплекса технических средств системы управления ГАУ, построенной на базе локальной вычислительной сети. Полученные результаты использованы заводом ОАО "Топаз" (г. Донецк), корпорацией "Укруглемаш" (г. Донецк), институтом "Автоматгормаш" (г. Донецк).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной задачи повышения эффективности эксплуатации гибких автоматизированных производств в условиях возмущающих воздействий включающей совершенствование, развитие методов и принципов модульного моделирования многосвязных дискретных производств на базе методов теории автоматов, разработку методов составления эффективного расписания работы компонентов гибкого участка, создание нового принципа управления дискретными процессами с использованием адаптивного подхода, обоснование структуры комплекса технических средств системы управления ГАУ. Проведенные исследования позволяют сделать следующие **основные выводы**:

1. Показано, что основными причинами простоев гибких производственных модулей (ГПМ) являются: несовершенство методов составления расписания работы оборудования, определяющего последовательность и сроки обработки партий деталей на ГПМ (до 50% простоев); неэффективность работы автоматизированной транспортно-складской системы, осуществляющей обслуживание заявок ГПМ на перемещение партий деталей (до 30%). Простои могут возникать также в результате действия возмущений: поломка технологического и транспортно-складского оборудования, отсутствие заготовок и инст-

умента и др. Обоснованы направления совершенствования и развития методов, принципов управления гибкими автоматизированными производствами.

2. Разработаны модели типовых компонентов ГАУ гибкого производственного и транспортного модулей, автоматизированного склада, системы управления, позволяющие в динамике отображать процесс функционирования ГАУ с учетом действия возмущений. При разработке моделей использованы методы теории автоматов и модульный принцип построения. На основании математических моделей разработан алгоритм и пакет программ моделирования работы ГАУ с произвольной структурно-компоновочной схемой. Разработанный пакет программ используется в системе управления для формирования рациональных расписаний работы оборудования, для проведения вычислительных экспериментов как при проектировании, так и при эксплуатации, что в итоге повышает эффективность функционирования ГАУ.

3. Предложен обобщенный критерий оценки эффективности составления расписания работы оборудования системой управления ГАУ, учитывающий загрузку технологического оборудования и соблюдение директивных сроков изготовления деталей согласно производственной программе. Разработан метод и алгоритм составления и корректировки эффективных расписаний работы ГАУ с оптимизацией комбинированного решающего правила и использованием математической модели ГАУ. Предложен принцип управления с использованием адаптивного подхода, при котором при возникновении отклонений от расписания, прогнозируется ожидаемое состояние объекта, производится настройка параметров системы управления и формируются эффективные управляющие воздействия.

4. Проведены экспериментальные исследования на действующем гибком автоматизированном участке механообработки деталей типа тел вращения. Определена длительность одного вычислительного эксперимента, которая исходя из условий обеспечения 10%-й погрешности должна составлять не менее 70 циклов моделирования ГАУ. В результате эксперимента установлено, что около 40% от всех простоев ГПМ происходит из-за отсутствия заготовок - несовершенства методов составления расписания работы ГАУ и 25% по причине АТСС. Получено, что наибольшая загрузка ГПМ достигается при общем количестве запускаемых в обработку деталей в пределах от 96 до 120 шт. в зависимости от размера транспортной партии 12 - 20 шт. Установлено, что с повышением приоритета деталей уменьшается цикл их изготовления в зависимости от величины возмущения. Новый метод управления АТСС снижает простои ГПМ из-за ожидания обслуживания транспортно-складской системой на 50%.

5. Используя результаты теоретических и экспериментальных исследований функционирования гибкого автоматизированного участка предложена структура комплекса технических средств системы управления ГАУ, построенного на базе локальной вычис-

лительной сети. Полученные результаты использованы заводом ОАО "Топаз" (г. Донецк), корпорацией "Укруглемаш" (г. Донецк), институтом "Автоматгормаш" (г. Донецк).

**Основные положения и результаты содержатся в следующих публикациях:**

1. Спорыхин В.Я., Лаздынь С.В., Бухссин Фуад. Структурный анализ и моделирование на ПЭВМ гибких автоматизированных производственных систем / Новые технологии, материалы, оборудование: Материалы докладов международных академических чтений. Украина, Киев, 1995, Украинская Технологическая академия. - 213 с.

2. Лаздынь С.В., Бухссин Фуад. Метод составления оптимальных расписаний работы участков гибких автоматизированных производств / Новые технологии, материалы, оборудование: Материалы докладов международных академических чтений. Украина, Киев, 1995, Украинская Технологическая академия. - 213 с.

3. Лаздынь С.В., Бухссин Фуад. Принципы построения системы оптимального управления гибким автоматизированным участком / Новые технологии, материалы, оборудование: Материалы докладов международных академических чтений. Украина, Киев, 1995, Украинская Технологическая академия. - 213 с.

4. Лаздынь С.В., Бухссин Фуад. Метод и пакет программ моделирования участков гибких автоматизированных производств / Современные проблемы машиностроения и технический прогресс: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. Донецк: ДонГТУ, 1996. - 408 с.

Личный вклад автора в работы, опубликованные в соавторстве: анализ структур ГАП, обоснование использования методов теории автоматов, разработка математических моделей (1), выработан метод и критерий оптимальности расписаний работы компонентов ГАУ (2), разработаны принципы построения системы управления ГАУ (3), разработка алгоритмов и пакета программ для моделирования и оценки функционирования ГАУ с произвольной структурно-компоновочной схемой (4).

## АНОТАЦІЯ

Бухссин Фуад.

Розробка моделей функціонування та методів управління дільницями гнучкого автоматизованого виробництва.

Роботою є рукопис на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.13.07 "Автоматизація технологічних процесів та виробництв".

В дисертації розроблено нові математичні моделі функціонування технологічних модулів, транспортних засобів, автоматизованого складу і системи управління. Розроблено методи управління дільницями гнучкого автоматизованого виробництва з використанням адаптивного підходу, які забезпечують високу ефективність роботи в умовах дії збурень. Проведено обчислювальний експеримент і запропоновано структуру комплексу технічних засобів системи управління дільницею ГАВ, яка побудована на базі локальної обчислювальної мережі.

## ANNOTATION

Bouhssine Fouad

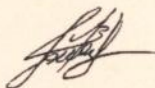
The development of performance models and control methods in sections of flexible manufacturing systems.

This scientific work is a manuscript to submit candidates scientific degree in technical scientific specialization 05.13.07 - Automation of technological processes and productions.

The new mathematical models performance of technological equipment, transport, automated storehouse and control system were developed. The methods of control in sections of control in sections of flexible manufacturing systems with using of adaptation approach were developed which provides high efficiency of performance under perturbation factors. The computer experiments were realized and technical structure of control system for section of FMS based on PC network was recommended.

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

модель, метод, система управління, адаптація, технологічний модуль, транспорт, склад.



АВ 37.481

*Отпечатано на ризографе  
ООО «ИНФО»  
Подп. в печать 23.04.97  
Усл. печ. л. 1,5 Уч.-изд. л. 2,3  
Тираж 100 экз. Заказ № 342  
340000, г. Донецк, ул. Артёма, 58, 113*