

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

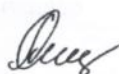
Михайличенко Анатолий Михайлович

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ  
ПРОЦЕССАМИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ И УЧЕТОМ  
ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ

05.13.07 - автоматизация технологических процессов и  
производств

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Харьков - 1996





Диссертацией является рукопись

Работа выполнена на кафедре "Автоматизированные системы управления" Харьковского государственного политехнического университета

Научный консультант:

Доктор технических наук, профессор  
Дабагян Арег Вагаршакович

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор  
Александров Евгений Евгеньевич

Доктор технических наук, профессор  
Мовшович Александр Яковлевич

Доктор технических наук, старший научный сотрудник  
Ефимов Александр Вячеславович

Ведущая организация:

Институт машин и систем НАН Украины

Защита состоится "28" ноября 1996г в 14<sup>30</sup> часов на заседании специализированного совета Д 02.09.06 в Харьковском государственном политехническом университете (310002, г. Харьков-2, ГСП, ул. Фрунзе, 21).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского государственного политехнического университета

Автореферат разослан "12" октября 1996г.

Ученый секретарь  
специализированного ученого совета

Кизилов В.У.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В работе объектом исследования является основное производство предприятия, которое рассматривается как сложная система, элементами которой являются компоненты производительных сил: средства производства и трудовые ресурсы, приводящие эти средства в действия. Средства производства рассматриваются на уровне оборудования и применяемой техники, а трудовые ресурсы на уровне рабочих.

Эффективность производства зависит не только от качества компонентов производительных сил, но и от согласованности их развития. Современные достижения науки и техники являются основными причинами стремительного совершенствования средств производства. Совершенствуется и сфера трудовых ресурсов, но в большинстве случаев темпы ее развития отстают от темпа, диктуемого средствами производства. В 1967 году ЮНЕСКО назвало это явление мировым кризисом образования.

В настоящее время этот кризис не только не преодолен, но все больше усугубляется. Его последствия проявляются в виде дополнительных возмущений, влияющих на производственный процесс. Например, обследование машиностроительных предприятий показало, что около 70% брака и 30% поломок оборудования объясняются низкой квалификацией работников, их недостаточной профессиональной подготовкой.

Некомпетентность трудовых ресурсов может привести не только к снижению эффективности производства, но и к отношению "враждебности" новых технологий и оборудования к человеку, проявляющихся в виде несчастных случаев, катастроф, экологических катаклизмов. Все это говорит о том, что решение задачи адаптации системы подготовки и переподготовки кадров к изменяющимся требованиям производства является актуальной проблемой.

Свою долю возмущений в производственный процесс вносит технологическое оборудование. Поэтому в условиях постоянного усложнения техники и возрастающих требований к ней также актуальной является задача разработки адекватных методов ее создания с заданными требованиями и учета факторов, недостаточно полно учитываемых ранее. К таким факторам относятся параметрические возмущения, связанные с разбросами параметров системы в силу неидеальности изготовления ее элементов,

старения и т.п.

Автономное развитие техники и трудовых ресурсов является лишь необходимым условием обеспечения эффективности производства. В современных условиях особо важна задача координации их совершенствования, поскольку их влияние на эффективность экономики, как показывает практика, является определяющим и примерно одинаково. Кроме того, все виды деятельности по проектированию, изготовлению и эксплуатации продукции функционируют в среде кадрового обеспечения. Поэтому особую актуальность приобретает решение задачи управления производством как сложной системой с учетом согласованного развития обоих компонентов производительных сил, базирующейся на единой методической основе.

Цель работы: Разработка методов управления технологическими и производственными процессами с заданными требованиями в условиях действия возмущений и учетом взаимной корреляции развития техники и трудовых ресурсов.

Достижение цели осуществляется решением следующих трех взаимосвязанных комплексов задач:

1. Разработка модели системы подготовки и переподготовки специалистов, обеспечивающей своевременную их адаптацию к быстро изменяющимся потребностям производства.

2. Разработка методов создания систем управления технологическими процессами и оборудованием с заданными требованиями с учетом действия случайных параметрических возмущений.

3. Разработка методов управления производством с учетом взаимной корреляции развития техники и трудовых ресурсов в условиях действия возмущений, источником которых являются как технические, так и человеческие факторы.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе используются методы системного анализа, теории управления, теории вероятности и математической статистики, теории чувствительности, методы линейной алгебры, методы модального управления, моделирования управляемых систем на аналого-цифровых комплексах.

Научная новизна работы заключается в том, что вопросы совершенствования производительных сил (техники и трудовых ресурсов), которые рассматривались специалистами различных

отраслей науки и техники, здесь исследуются с единых позиций на общей методологической основе. В связи с этим разработаны научно обоснованные конструктивные методы и алгоритмы согласованного развития обоих компонентов производительных сил с учетом их эффективного взаимодействия в процессе производства.

На защиту выносятся:

1. Модель и методика формирования требований к трудовым ресурсам. АРМ-Конверсия, который автоматизирует эту процедуру в условиях модернизации производства и решает задачи оптимизации использования производственных и трудовых ресурсов при переходе предприятия на выпуск нового изделия.

2. Структура процесса подготовки и переподготовки специалистов.

3. Статистическая модель критериев устойчивости управляемых систем: численно-аналитические алгоритмы аппроксимации нелинейных монотонных функций случайного аргумента нормальным законом.

4. Методы и численно-аналитические алгоритмы анализа и контроля стохастических управляемых систем.

5. Методы и численно-аналитические алгоритмы синтеза структуры и параметров регулятора управляемых систем, обеспечивающих требуемые запасы устойчивости в условиях действия случайных параметрических возмущений.

6. Структура предприятия с учетом человеческого фактора, в которую введены подсистемы, обеспечивающие согласованное развитие компонентов производительных сил.

7. Методы управления производственными процессами с учетом возмущений, источниками которых являются технические и человеческие факторы.

Практическая ценность. Разработанные в рамках системного подхода методы и алгоритмы являются эффективным прикладным инструментом для комплексного проектирования человеко-машинных систем. Кроме того, отдельные методы и алгоритмы могут иметь самостоятельное практическое применение. В частности:

- метод решения задачи формирования требований к трудовым ресурсам позволяет обосновать количество и номенклатуру кадров, необходимых для выполнения работ на уровне предприятия, региона, отрасли, государства;

- структура системы подготовки и переподготовки кадров и формализация понятия "современная педагогическая технология" дают возможность обеспечить гибкую и качественную подготовку специалистов, ориентированную на спрос;

- методы проектирования управляемых систем (анализ, синтез, контроль) с учетом параметрических возмущений применимы для создания широкого класса технических объектов и технологических процессов, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями;

- методы управления производственными системами позволяют повысить их эффективность и своевременно провести модернизацию производства.

Реализация результатов работы. Конструктивные методы и алгоритмы совершенствования производительных сил и проектирования производственных систем, разработанные в диссертации, реализованы при выполнении хозяйственных, госбюджетных, опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ; работ, выполняемых по заданиям ВПК СССР, ГКНТ СССР, Минстанкопрома СССР, Министерства образования Украины.

Методы проектирования технических объектов как управляемых систем с учетом случайных возмущений внедрены при:

- создании систем управления образцов новой техники на предприятии А-7160 (ныне "Хартрон");

- разработке систем управления для гаммы ковочных комплексов в НИИ автоматизации производства и управления по заданию Минстанкопрома СССР.

Методы управления технологическими и производственными системами внедрены при разработке:

- автоматизированной системы управления (АСУ) производством на Ленинградском заводе "Редуктор", внедренной в 1988г;

- руководящих технических материалов "Состав, структура и порядок создания АСУ ГПС". РТМ2 Н93-5-85. Работа велась по заданию Минстанкопрома СССР;

- общетраслевых методических материалов по созданию автоматизированных систем управления гибкими производственными системами (ОММ АСУ ГПС). Работа выполнена в соответствии с Программой ГКНТ/ГКВТИ СССР по решению научно-технической проблемы О.80.06, задание 35.07.12Д, утвержденной постановлением N555 ГКНТ СССР от 30.10.1985г;

- общеотраслевых руководящих методических материалов по созданию интегрированных автоматизированных систем управления (ОРММ ИАСУ-2). Работа выполнена в соответствии с Программой работ по решению научно-технической проблемы 0.80.06, задание 35.07.11Д, утвержденной постановлением N555 ГКНТ СССР от 30.10.1985г;

- предложений по созданию АСУ гибкого автоматизированного завода. Исследования выполнены в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР от 30.12.88г N1474 "О государственных научно-технических программах" по решению программы "Технологии, машины и производства будущего".

Методы формирования требований к трудовым ресурсам и решение задачи оптимизации использования производственного потенциала при переходе завода на выпуск нового изделия реализованы в автоматизированном рабочем месте АРМ-Конверсия, внедренном на Харьковских заводах "Точмедприбор" и "Велозаводе". Работа выполнена по заданию Министерства образования Украины (приказ N68 от 31.03.1992г, тема М-8002).

Материалы диссертации использованы в учебном процессе при ведении лекционных и практических занятий для специалистов НИИ автоматизации управления и производства и организаций Минстанкопрома СССР; в лекционном курсе ХПИУ "АСУ реального времени"; при чтении лекций и проведении практических занятий по "Основам автоматизированного проектирования АСУ" на курсах повышения квалификации специалистов электротехнической промышленности (по данному курсу разработаны методические указания); при проведении занятий по темам "Новые производственные технологии в стране и за рубежом" и "Современные педагогические технологии" на курсах повышения квалификации инженерно-педагогических работников профессионального образования" (по данному курсу разработаны два методических пособия).

Акты внедрения с указанием технико-экономического эффекта приведены в приложениях к диссертации. Общий экономический эффект от внедрения разработок составляет 714,0 тыс. руб. в ценах до 1990г. Доля автора в общем экономическом эффекте - 120,0 тыс.руб.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на 5 международных, 10 всесоюзных конференциях,

а также на отраслевых, республиканских конференциях, совещаниях и семинарах.

Публикации. По теме диссертации имеется 58 публикаций, (из них 24 без соавторов), в том числе 2 книги, 2 авторских свидетельства, 32 статьи, 6 депонированных рукописей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованной литературы из 203 наименований и приложения. Основной объем диссертации составляет 268 страниц печатного текста, 61 рисунок, 17 таблиц, приложения на 32 листах: всего 350 листов.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый комплекс задач, связанный с разработкой системы подготовки и переподготовки трудовых ресурсов в соответствии с постоянно изменяющимися требованиями производства, решается в первых двух разделах.

В **первом разделе** на основании анализа закономерностей изменения экономики показано, что волновой характер ее развития меняет производственную среду и вызывает необходимость адаптировать специалистов к новым условиям труда. Глубина адаптации зависит от типа волн (коротких, средних или длинных), в среде которых функционирует предприятие.

Так, короткие волны вызваны модификацией продукции одного и того же поколения. В этом случае переподготовка производится на самом предприятии и сводится к усвоению новой комбинации уже освоенных модулей, определяющих прошлое мастерство специалистов, и дополнением небольшого числа новых. На этапе модернизации производства весьма эффективным является обучение по модулям трудовых навыков.

Смена поколений продукции вызывает средние экономические волны и тесно связана с необходимостью смены всего основного оборудования предприятия. При этом часто приходится полностью отказываться от привычных стандартов выполнения производственных процессов. Переучивание на этом этапе связано с коренным изменением навыков, выработанных в процессе прошлой деятельности. Такая переподготовка не может быть в массовом порядке проведена без отрыва от производства.

Особо тяжкие социальные последствия связаны со спадом и образованием длинных волн. Изменение в инфраструктуре всей

промышленности захватывает глобальную экономику и вызывает далеко идущие последствия в социальной жизни государств. В результате огромные массы людей, привыкшие к определенным условиям труда, подготовленные для функционирования в тех условиях, для которых они обучались, неожиданно оказываются безработными. В этих режимах подготовка к новым условиям делается вопросом жизни и смерти не только отдельного человека, но и целого государства. Поэтому в целях социальной защищенности работников становится чрезвычайно актуальной проблема их опережающей подготовки и переподготовки.

Предложенный в разделе концептуальный подход к решению задачи обеспечения народного хозяйства техническими системами подтверждает актуальность решаемых проблем. Показано, что все виды деятельности по проектированию, изготовлению и эксплуатации изделий осуществляются в среде кадрового обеспечения. Поэтому система подготовки специалистов должна своевременно обеспечивать как текущий, так и перспективный спрос на требуемые кадры.

Глубина кризисных явлений, вызванных волновым характером развития экономики, в значительной мере определяется тем, что темпы развития техники превышают темпы адаптации к ней трудовых ресурсов. Проведенный в разделе анализ показал, что высокие темпы совершенствования техники базируются на постоянном решении задачи маркетинга, автоматизированных методах проектирования и технологической подготовки, высоком уровне автоматизации производства на базе вычислительной техники, стандартизации и т.п.

Несмотря на то, что сфера образования столь же древняя, как и сфера производства, все же методы подготовки специалистов не получили столь глубокой формализации, автоматизации и стандартизации по сравнению с методами, применяемыми для создания техники. Ориентация на современные педагогические технологии, как основной путь развития трудовых ресурсов, в настоящее время недостаточно четко определена, поскольку отсутствуют конструктивные методики и алгоритмы разработки этой технологии, ее содержания и формы представления.

Для упорядочения понимания рассматриваемых предметных областей согласованы определения применяемых в сферах произ-

водства и образования терминов, связанных с понятием технологии.

Одним из первых шагов успешного решения кадровой проблемы является задача формирования требований к специалистам. Предложен обобщенный алгоритм решения задачи, который базируется на многоуровневой модели, отражающей сложившуюся в народном хозяйстве структуру: государство, отрасль, регион и предприятие. На уровне предприятия выделяется уровень выпускаемых изделий.

Процесс формирования требований включает следующие основные этапы:

1. Для выполнения совокупности однотипных работ на всех уровнях структуры народного хозяйства формулируются функциональные обязанности работников, которые представляются  $s$ -мерным вектором

$$\Phi = |\Phi_1, \dots, \Phi_i, \dots, \Phi_s|^T,$$

где  $t$  означает транспонирование.

2. Функции разделяются на подфункции вплоть до элементарных действий - операций:

$$\Phi_i = |O_{i1}, \dots, O_{ij}, \dots, O_{ip}|^T,$$

где  $O_{ij}$  -  $j$ -тая операция  $i$ -той функции.

3. Для выполнения  $j$ -той операции выбираются соответствующие технические средства (оборудование)

$$TC_j = |TC_{j1}, \dots, TC_{ji}, \dots, TC_{jk1}|^T, \quad j = \overline{1, p},$$

где  $TC_{ji}$  - параметры технических средств.

4. При выбранных технических средствах для выполнения  $j$ -той операции определяется перечень знаний (вектор  $Z_j$ ) и умений (вектор  $Y_j$ ) специалиста, выполняющего эту операцию:

$$Z_j = |Z_{j1}, \dots, Z_{jn}, \dots, Z_{jk2}|^T,$$

$$Y_j = |Y_{j1}, \dots, Y_{jn}, \dots, Y_{jk3}|^T.$$

5. Определяется время выполнения операции

$$t_j = t_j(TC_j, P_j) = t_j(h_{jT}, h_{jЧ}), \quad (1)$$

которое является основным элементом планирования производства.  $P_j$  - профессия специалиста, необходимая для выполнения данной операции.

Время выполнения операции является функцией первичных параметров техники  $h_T$  и человека (специалиста)  $h_{Ч}$ . Первичные параметры технических средств в силу существующей системы допусков имеют усеченный нормальный закон распределения и

статистически независимы.

Аналогично исследования по инженерной психологии с учетом профессионального отбора, выполняемого в рамках профессии, дают основание предположить, что первичные параметры специалиста также имеют усеченный нормальный закон распределения и статистически независимы.

В связи с этим время выполнения операции будет случайной величиной. Этот факт должен учитываться при планировании производства и рассматривается ниже.

6. Формируются требования к специалисту, выполняющему  $J$ -тую операцию:

$$T_j = |Z_j, \nu_j, t_j|^T,$$

где  $t_j$  указывает срок, к которому специалист, удовлетворяющий требованиям  $T_j$ , должен быть подготовлен.

Работоспособность предложенного алгоритма показана на примере перехода завода "Точмедприбор" на выпуск нового прибора. Разработано автоматизированное рабочее место "АРМ-Конверсия". Оно позволяет автоматизировать процедуру формирования требований к специалистам модернизируемого производства и оптимизировать использование располагаемых трудовых и производственных ресурсов.

Анализ закономерностей развития экономики показал, что жизненный цикл изделий является также жизненным циклом оборудования, технологии и профессии. Поэтому наряду с технической необходимо предусмотреть профессиональную подготовку производства, которые должны быть завершены к началу выпуска новых изделий. Если задача технической подготовки алгоритмизирована и для ее решения в структуре предприятия предусмотрены соответствующие подсистемы, то механизм реализации профессиональной подготовки не конкретизирован и зачастую подготовка ведется кустарно. Введение в структуру предприятия подсистемы профессиональной подготовки производства является первым шагом согласованного развития техники и трудовых ресурсов.

Во втором разделе анализ практических, методических и научных достижений развития техники позволил на основании системного подхода разработать технологию подготовки и переподготовки специалистов в виде структуры, адекватной структуре создания техники. Создание структуры основывалось на

положении о том, что труд и рабочая сила есть товар и, следовательно, организация его производства может быть построена так же, как и производство любого другого продукта. При этом предприятиями, производящими трудовые ресурсы, являются учебные заведения. Структура показана на рис. 1 и включает в себя следующие подсистемы:

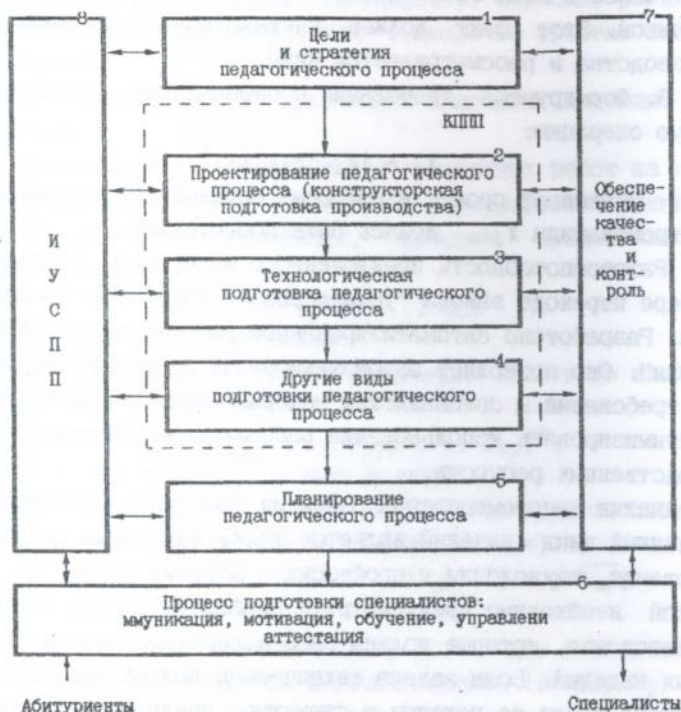


Рис. 1

1) Цели и стратегия педагогического процесса, которая решает следующие задачи: разработка и уточнение конкретных целей данной ступени образования; анализ ситуации и прогноз НТП; определение потребности в специалистах (задача маркетинга); перспективное планирование подготовки специалистов; финансирование; стандартизация процесса подготовки специалистов; юридическое обеспечение; определение перечня профессий; разработка квалификационных характеристик.

2) Проектирование педагогического процесса заключается в определении содержания образования и разработке учебных пла-

нов и программ подготовки и переподготовки специалистов.

3) Технологическая подготовка педагогического процесса решает задачи разработки технологических маршрутов обучения и разработки технологических операций процесса обучения.

4) Другие виды подготовки педагогического процесса: научно-методическое, учебно-методическое, кадровое, организационное, техническое, информационное, правовое.

Группа блоков 2,3 и 4 объединяются в подсистему комплексной подготовки педагогического процесса (КПП), представляющую собой совокупность взаимосвязанных мероприятий, необходимых и достаточных для реализации процесса обучения.

5) Планирование педагогического процесса решает задачу распределения ресурсов, обеспечивающих осуществление процесса обучения.

6) Подготовка и переподготовка специалистов включает следующие компоненты: коммуникация, мотивация, обучение, управление, аттестация.

7) Система качества обеспечивает контроль всех этапов обучения и высокое качество их выполнения.

8) Информационно-управляющая система педагогического процесса (ИУСП), построенная на базе вычислительной техники, решает задачи интеграции и координации всех видов деятельности системы.

Рассмотрены некоторые новые подходы к решению перечисленных задач, которые расширяют и дополняют известные результаты.

Предложенная структура согласована со структурой современного компьютерного интегрированного производства (СІМ - Computer Integrated Manufacturing), что создает предпосылки для выравнивания темпов развития трудовых ресурсов и техники. Это позволит ослабить кризисные явления, вызванные волновым характером развития экономики.

Второй комплекс задач решается в третьем и четвертом разделах. Он связан с совершенствованием методов создания (анализ, синтез и контроль) технологических процессов и оборудования как управляемых систем, динамика которых описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями, с учетом действия случайных параметрических возмущений.

В **третьем разделе** показано, что особенностью исследова-

ния производства как объекта управления является то, что оно имеет различное математическое описание частей, входящих в его состав. Математическая модель производства на первом уровне (уровне технологических процессов и оборудования), к которой сводятся многие частные случаи, представляет собой систему линеаризованных обыкновенных дифференциальных уравнений, имеющей в матричной форме имеет вид

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{h}, t)\mathbf{x}; \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0; \quad t \in [0, T]; \quad \mathbf{h} \in \mathbf{H}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$  -  $n$ -мерный вектор фазовых координат объекта и координат управления;  $\mathbf{A}(\mathbf{h})$  -  $n \times n$ -матрица системы, зависящая (достаточно гладко) от  $m$ -мерного вектора-столбца первичных параметров

$$\mathbf{h} = \mathbf{h}^0 \pm \Delta\mathbf{h}, \quad \mathbf{h} \in \mathbf{H}, \quad \Delta\mathbf{h} = \mathcal{B}\mathbf{b}_h,$$

где  $\mathbf{h}^0$  - расчетное (номинальное) значение вектора параметров;  $\Delta\mathbf{h}$  - предельные отклонения вектора параметров (параметрические возмущения) от расчетных значений;  $\mathbf{H}$  - область значений параметров;  $\mathbf{b}_h$  - среднее квадратическое отклонение (с.к.о.) вектора параметров. Параметрические возмущения связаны с неточностью изготовления элементов системы, старением и т.п. и носят случайный характер, поэтому любая реальная система является стохастической.

Если поведение системы при воздействии внешних возмущений достаточно полно исследуется методами статистической теории управления, то влияние параметрических возмущений на такое важнейшее свойство как асимптотическая устойчивость остается мало изученным. Существующая практика проектирования связана с обеспечением устойчивости с некоторым детерминированным запасом, определяемым, как правило, на основе интуиции или опыта проектирования.

Применяемое в работе понятие "вероятность устойчивости" позволило создать научно обоснованную методику проектирования стохастических систем с заданными запасами устойчивости.

В качестве критерия устойчивости принято условие

$$\varphi_k(\mathbf{h}, t) < c_k, \quad \mathbf{h} = \mathbf{h}^0 \pm \Delta\mathbf{h}; \quad \mathbf{h} \in \mathbf{H}; \quad t \in [0, T], \quad (3)$$

где  $\varphi = \{\varphi_k\}$  -  $r$ -мерная вектор-функция, которую далее будем называть вектором критериальных функций с компонентами  $\varphi_k$ ,  $k = \overline{1, r}$ ;  $\mathbf{C} = \{c_k\}$  - вектор ограничений;  $T$  - время работы системы.

Определение 1. Вероятность

$$P_y = P\{\varphi(h, t) < C\} = \int_{-\infty}^{c_1} \cdots \int_{-\infty}^{c_r} f(\varphi) d\varphi, \quad (4)$$

называется вероятностью (или запасом) устойчивости управляемой системы с критериальной вектор-функцией  $\varphi(h, t)$ .

Введенное понятие вероятности устойчивости позволяет, с одной стороны, сохранить аппарат детерминированной оценки устойчивости, а с другой - получить численную оценку выполнения требований по устойчивости для стохастических систем. Именно такая оценка интересует инженера, проектирующего систему с конкретными техническими требованиями.

В условии (3) в качестве функции  $\varphi(h, t)$  используется первоисточник всех критериев устойчивости - действительные части  $\alpha(h, t)$  корней характеристического уравнения (собственные значения или спектр матрицы  $A$ ) системы (2).

В общем виде выражение (4) может не иметь аналитического представления. Это поставило задачу разработки приближенных, удовлетворяющих практику численно-аналитических методов решения, основанных на допустимых упрощениях, вытекающих из учета особенностей исследуемой проблемы, которые рассматриваются ниже.

1. Одним из возможных упрощений является использование часто применяемого на практике метода "замороженных коэффициентов", что позволяет избавиться от параметра  $t$  в выражениях (2), (3) и исследовать условие устойчивости (3) как случайную величину.

2. Для выявления возможности уменьшения размерности вектора критериальных функций проведена классификация его составляющих по поведению во всей области изменения возмущений. С учетом независимости и усеченности распределения возмущений введены следующие определения.

Определение 2. Управляемую систему, для которой при любом векторе  $h \in H$  выполняется условие устойчивости (3), назовем абсолютно параметрически устойчивой.

Определение 3. Крайним положительным отклонением  $k$ -той компоненты функции  $\varphi_k(h)$  называется ее максимальное значение  $\varphi_k(h)^+$ , принимающее в области возможного диапазона изменения вектора параметров  $h \in H$ :

$$\varphi_k(h)^+ = \max \varphi_k(h) | h \in H, \quad k = \overline{1, r}. \quad (5)$$

Определение 4. Крайним отрицательным отклонением  $k$ -той компоненты функции  $\varphi_k(\mathbf{h})$  называется ее минимальное значение  $\varphi_k(\mathbf{h})^-$ , принимающее в области возможного диапазона изменения вектора параметров  $\mathbf{h} \in \mathbb{H}$ :

$$\varphi_k(\mathbf{h})^- = \min \varphi_k(\mathbf{h}) | \mathbf{h} \in \mathbb{H}, \quad k=\overline{1, r}. \quad (6)$$

Определение 5. Компонента функции  $\varphi_k(\mathbf{h})$  называется неопасной, если

$$\varphi_k(\mathbf{h})^+ < c_k, \quad k=\overline{1, r}. \quad (7)$$

Определение 6. Компонента функции  $\varphi_k(\mathbf{h})^+$  называется опасной, если

$$\varphi_k(\mathbf{h})^+ > c_k, \quad k=\overline{1, r}. \quad (8)$$

Выполнение условия (7) говорит о том, что вероятность устойчивости по неопасным компонентам функции  $\varphi(\mathbf{h})$  равна единице, поэтому их можно исключить из рассмотрения. Тогда размерность интеграла вероятности (4) понизится на количество  $s$  опасных компонентов вектора  $\varphi(\mathbf{h})$  и будет равна  $v=r-s$ .

Очевидно, что при вычислении вероятности устойчивости системы в первую очередь следует рассматривать опасные составляющие вектора критериальных функций.

3. Далее обосновывается возможность замены вычисления  $v$ -мерного интеграла вероятности вычислением  $v$  одномерных. На основе численных экспериментов показано, что такое упрощение можно произвести для технических систем, уровень задаваемой вероятности устойчивости которых превышает значение 0,99. Полученные результаты позволили сформулировать принцип несовместности: для высоконадежных систем вычисление многомерных интегралов вероятности с приемлемой для практики точностью можно заменить вычислением одномерных интегралов и не учитывать внедиагональные члены корреляционной матрицы вектора критериальных функций. Применение этого принципа дает ошибку "в запас".

Тогда формула (4) вычисления вероятности устойчивости примет вид

$$P_y = P\{\varphi(\mathbf{h}) < \mathbf{C}\} = \int_{-\infty}^{c_1} \cdots \int_{-\infty}^{c_v} f(\varphi) d\varphi \prod_{k=1}^v P_k \{ \varphi_k(\mathbf{h}) < c_k \}, \quad (9)$$

$$\text{где } P_k = \int_{-\infty}^{c_k} f_k(\varphi_k) d\varphi_k = \int_{-\infty}^{\varphi_k^0} f_k(\varphi_k) d\varphi_k + \int_{\varphi_k^0}^{c_k} f_k(\varphi_k) d\varphi_k. \quad (10)$$

Для монотонных функций случайного аргумента первое слагаемое выражения (10) будет равно 0,5 независимо от формы плотности распределения  $\varphi_k(\mathbf{h})$  на участке  $(-\infty, \varphi_k^0]$ . Поскольку в невозмущенном состоянии (при  $\mathbf{h}=\mathbf{h}^0$ ) проектируемая система должна быть устойчивой, то

$$P_k = 0,5 + \int_{\varphi_k^0}^{c_k} f_k(\varphi_k) d\varphi_k. \quad (11)$$

4. Статистическая модель критериальной функции построена на примере корней характеристического уравнения  $\lambda_k = \alpha_k + i\beta_k$  по результатам статистических испытаний системы (2) пятого порядка. Типичный вид гистограмм плотности распределения  $\alpha_k$  показан на рис.2 (светлые прямоугольники). Экспериментальные данные аппроксимированы нормальным и логарифмически нормальным (темные прямоугольники на рис.2) распределениями. С помощью критерия согласия  $\chi^2$  определена степень согласованности  $p$  выбранных теоретических с экспериментальными распределениями. Значения  $p$  приведены в таблице.

Распределение	$p$		
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_4$
Норм. (линеаризация)	0,05	0,32	0,001
Лог. норм.	0,95	0,6	0,23
Норм., кус.лин.апр., уч. $(-\infty, \alpha_k^0]$ , $s=2$	0,1	0,1	0,25
Норм., кус.лин.апр., уч. $[\alpha_k^0, \infty)$ , $s=2$	0,5	0,65	0,45
Норм., кус.лин.апр., уч. $(-\infty, \alpha_k^0]$ , $s=10$	0,55	0,53	0,57
Норм., кус.лин.апр., уч. $[\alpha_k^0, \infty)$ , $s=10$	0,62	0,65	0,61

Практически, если  $p > 0,1$ , экспериментальные данные не противоречат допущению о принятом теоретическом распределении.

Как видно из рис.2 и таблицы логарифмически нормальное распределение служит хорошей аппроксимацией экспериментальных данных. В свою очередь, нормальное распределение при линеаризации нелинейной функции  $\alpha(\mathbf{h})$  (прямая 1 на рис.3) противоречит экспериментальным данным.

В разделе изложен метод кусочно-линейной аппроксимации распределения нелинейных функций случайного аргумента нормальным законом, позволяющий строить статистические модели

собственных значений с приемлемой для многих практических случаев точностью. При этом параметры распределения вычисляются численными методами без проведения статистических испытаний.

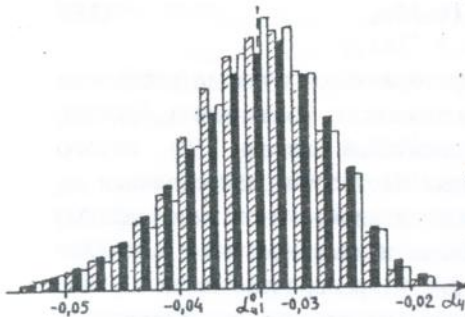


Рис. 2

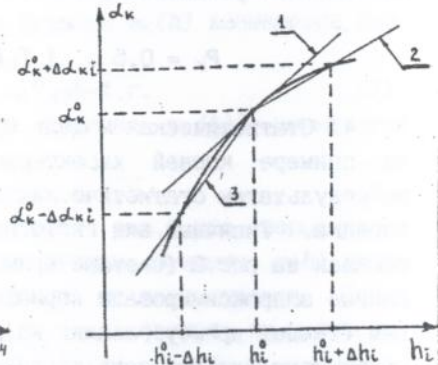


Рис. 3

Суть метода заключается в том, что нелинейная функция  $\alpha_k(\mathbf{h})$  во всей области допустимых изменений вектора  $\mathbf{h}$  заменяется кусочно-линейной (например, прямые 2 и 3 на рис.3). В этом случае на каждом линейном участке плотность распределения функции  $\alpha_k(\mathbf{h})$  будет аппроксимироваться нормальным законом с параметром

$$\sigma_k = 1/3 \sqrt{\sum_{i=1}^m (\Delta \alpha_{ki})^2} \quad (12)$$

$$\text{где} \quad \Delta \alpha_{ki} = \alpha_{ki} - \alpha_k^0 \quad (13)$$

вариация  $\alpha_k$ , а  $\alpha_{ki}$  - значение  $\alpha_k$  при изменении  $i$ -го параметра на величину  $\Delta h_i$ .

В общем случае положительная и отрицательная вариации  $\alpha_{ki}$  по модулю не равны. Параметр с.к.о. правой части нормального распределения ( $\sigma_k^+$ ), аппроксимирующей реальное, получается при подстановке в формулу (12) положительных значений  $\Delta \alpha_{ki}$ , а левой ( $\sigma_k^-$ ) - отрицательных значений  $\Delta \alpha_{ki}$ .

Сравнение результатов кусочно-линейной аппроксимации функции двумя секущими ( $s=2$ ) показывает хорошую степень согласованности нелинейной функции нормальным законом отдельно справа и слева от ее номинального значения (см.таблицу). То-

гда формула вычисления запасов устойчивости (11) примет вид

$$P_k = 0,5 + \Phi(\alpha_k^0 / 6^{n_k}) = 0,5 + \Phi(u_k), \quad (14)$$

где  $\Phi(u_k)$  - табличный интеграл вероятности, который определяется по значению безразмерного аргумента  $u_k$ .

Поскольку запас устойчивости определяется правой половиной плотности распределения  $\alpha_k$  относительно  $\alpha_k^0$  (см. формулу (11)), то кусочно-линейная аппроксимация при  $s=2$  во многих случаях является удовлетворительной.

Для уточнения результатов аппроксимации экспериментальных данных нормальным законом предложен метод линеаризации функции  $\alpha_k$  путем разбиения интервала допустимых значений вектора  $h$  относительно  $h^0$  на  $s>2$  участков, на каждом из которых применяется описанная выше процедура аппроксимации нормальным законом.

Степень согласованности  $p$  аппроксимации экспериментального распределения  $\alpha_k$  нормальным при  $s=10$  приведена в таблице, а также на рис.2 (заштрихованные прямоугольники).

Работоспособность изложенных методов показана на примерах кусочно-линейной аппроксимации корней характеристического уравнения как аналоговых, так и дискретных систем.

В разделе исследован также закон распределения собственных значений случайной матрицы с кратными и близкими собственными значениями. Показано, что такие системы имеют высокую чувствительность к параметрическим возмущениям: малейшее изменение параметров резко изменяет качество их поведения, а распределение действительных частей собственных значений имеет бимодальную форму. Проведен качественный анализ влияния близости собственных значений матрицы  $A(h)$  на вид их распределения.

Во **четвертом разделе** на основании принятых допущений разработан конструктивный численно-аналитический алгоритм оценки запасов устойчивости с учетом действия параметрических возмущений.

На его основе создан алгоритм оценки запасов устойчивости с учетом действия как параметрических возмущений, так и внезапных отказов. Суть его заключается в том, что определяется вероятность устойчивости системы при действии параметрических возмущений при условии, что имел место  $j$ -й внезапный отказ (событие  $A_j$ ):  $Q_j = Q(A_j) * Q(B/A_j)$ , где  $Q(B/A_j)$  -

вероятность нарушения условий устойчивости из-за действия параметрических возмущений (событие  $B$ ) при условии, что имело место событие  $A_j$ . При этом учитывается то, что отказ может привести к изменению математической модели и ее параметров. Тогда вероятность потери устойчивости системы при внезапных отказах

$$Q_B \approx \sum_{j=1}^v Q(A_j) * Q(B/A_j).$$

а запас устойчивости системы при действии как параметрических возмущений, так и внезапных отказов  $P_0 = P_y - Q_B$ .

На практике для оценки запасов устойчивости используют переходная или весовая функции, корни характеристического уравнения замкнутой системы, частотные характеристики, алгебраические критерии, области устойчивости и др.

На различных этапах проектирования применяются различные критерии устойчивости. Это объясняется как удобством их применения в том или ином случае, так и сложившимися традициями. Несмотря на то, что в детерминистском плане все критерии дают необходимые и достаточные условия устойчивости, вероятностный подход вносит некоторые особенности в применении каждого из них. Проведенный анализ показал, что особенности заключаются в том, что критерии различным образом учитывают влияние параметров на корни характеристического уравнения.

Методы оценки вероятности устойчивости, рассмотренные выше, дают новые возможности в решении задачи синтеза регулятора особенно в ее наименее разработанной части - выборе желаемого расположения спектра матрицы  $A$  (корней характеристического уравнения).

Так как задача управления спектром в постановке теории модального управления имеет неединственное решение, дополнительно используются условия оптимизации критериев качества или какие-либо ограничения. При учете разброса параметров системы в качестве дополнительного условия к спектру матрицы замкнутой системы естественным образом формулируется требование обеспечения максимального значения вероятности устойчивости:

$$\max \{P[\alpha(h, l) < 0] \mid l \in M\},$$

где  $h$  -  $w$ -вектор параметров объекта;  $I$  -  $p$ -вектор параметров регулятора;  $M$  - область допустимых значений вектора  $I$ .

В тех случаях, когда задано некоторое значение вероятности устойчивости  $P_T$ , достаточно ограничиться выбором такого вектора  $I^*$ , чтобы

$$P\{\alpha(h, I^*) < 0\} > P_T. \quad (20)$$

Получены явные выражения желаемых значений корней характеристического уравнения, обеспечивающих требуемое значение вероятности устойчивости. При задании одинаковой вероятности устойчивости по всем опасным собственным значениям

$$P = 1 - \nu(1 - P_k), \quad k = \overline{1, \nu},$$

где  $\nu$  - количество  $\text{Re } \lambda_k$  опасных собственных значений системы, откуда с учетом (20)

$$P_k^T = (P_T - 1 + \nu) / \nu.$$

Затем по вычисленному значению  $P_k^T$  определяется величина безразмерного аргумента  $u_k$ . Поскольку

$$u_k = (\alpha_k - \alpha_k^0) / \beta_k, \quad k = \overline{1, \nu},$$

то значение  $\text{Re } \lambda_k$ , удовлетворяющее  $P_k^T$ , равно:

$$\alpha_k^T = u_k \beta_k + \alpha_k^0.$$

Таким образом, для выполнения условия (20) необходимо, чтобы  $\alpha_k^T < 0$ , а желаемая действительная часть собственного значения

$$\alpha_k^* = \alpha_k^0 - \alpha_k^T, \quad k = \overline{1, \nu}.$$

В качестве желаемого значения  $\text{Im } \lambda_k$  принимаются полученные при расчетах частоты, если на них нет дополнительных ограничений. Применение методов модального управления позволяет выбрать такую структуру и параметры регулятора, которые реализуют полученные желаемые значения корней.

В разделе показано, что в общем случае уменьшение собственных значений системы со случайными параметрическими возмущениями не гарантирует увеличения запасов устойчивости из-за увеличения дисперсии  $\alpha_k$ , вызванной усилением их взаимного влияния.

Рассмотрен также способ выбора собственных значений, обеспечивающих как необходимые запасы устойчивости, так и качество переходных процессов при ступенчатом входном воздействии.

В разделе предложен также метод контроля управляемой системы на этапах ее проектирования, испытаний и эксплуата-

ции. Метод основан на применении математического аппарата диагонализации матриц, позволяющего с помощью замены переменных  $\mathbf{x} = \mathbf{S}\mathbf{y}$  преобразовать систему (2) в систему с диагональной матрицей  $\Lambda = \mathbf{S}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{S}$ , где  $\mathbf{S}$  - постоянная невырожденная матрица:

$$\dot{\mathbf{y}} = \Lambda\mathbf{y}; \quad \mathbf{y}(0) = \mathbf{S}^{-1}\mathbf{x}(0),$$

решение которой

$$\mathbf{y} = \exp(\Lambda t) \mathbf{y}(0). \quad (15)$$

Используя выражение (15) можно легко выделить частное решение, определяемое любым корнем, путем задания соответствующим образом вектора начальных условий  $\mathbf{y}(0)$ . Так, для действительного корня  $\lambda_k = \alpha_k$ ,  $k = \overline{1, m}$ , где  $m$  - число действительных корней, вектор начальных условий

$$\mathbf{y}(0) = (0, \dots, 0, c_k, 0, \dots, 0)^T, \quad k = \overline{1, m}, \quad (16)$$

позволяет выделить решение

$$\mathbf{y}_k = c_k \exp(\alpha_k t). \quad (17)$$

Для пары комплексно сопряженных корней  $\lambda_{i, i+1}$ ,  $i = \overline{1, r}$ , где  $r$  - число комплексно сопряженных корней, вектор начальных условий

$$\mathbf{y}(0) = (0, \dots, 0, c_i, c_{i+1}, 0, \dots, 0)^T, \quad i = \overline{1, r}, \quad (18)$$

позволяет при  $c_i = c_{i+1}$  выделить решение

$$\mathbf{y}_i = 2c_i \exp(\alpha_i t) \cos \beta_i t. \quad (19)$$

Переход от начальных условий (16) и (18) к начальным условиям физических фазовых координат осуществляется преобразованием  $\mathbf{x}(0) = \mathbf{S}\mathbf{y}(0)$ , позволяющим выделить решение вида (17) или (19). Из (17)

$$\lambda_k^* = \alpha_k^* = 1/\tau, \quad k = \overline{1, m},$$

где  $\tau$  - время уменьшения решения (17) в 2,71 раз.

Из решения (19) получим

$$\alpha_i^* = (1/T) \ln(B_{k+1}/B_k), \quad \beta_i^* = 2\pi/T, \quad i = \overline{1, r},$$

где  $B_k$  - амплитуда переходного процесса системы по координате  $x_i(t)$  при  $t = kT$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ ;  $T$  - время между амплитудами  $B_k$  и  $B_{k+1}$ .

При контроле запасов устойчивости системы при регламентных проверках в условиях испытаний и эксплуатации возможно предусмотреть коррекцию (подстройку) запасов устойчивости с помощью настроечных параметров, выбираемых в процессе проектирования. Выделен класс систем, для которых применим рассмотренный метод контроля.

Третий комплекс задач, связанный с вопросами управления производственными процессами в условиях действия возмущений и учетом взаимодействия техники и трудовых ресурсов, решается в пятом и шестом разделах.

В пятом разделе вначале рассмотрены особенности взаимодействия работников в трудовом коллективе и определены условия, при которых они могут интегрировать свой трудовой потенциал для случая выполнения циклической работы при отсутствии непосредственного взаимодействия между ними.

Представленная на рис.4 модель хотя и является приближенной, но в дальнейшем дает возможность оценить поведение человека в коллективе при оговоренных выше условиях. В модели  $m$  - это инерция работника в процессе выполнения работы,  $c$  - коэффициент потенциала, который накапливается в нем после окончания цикла работы,  $k$  - коэффициент, характеризующий потери энергии на производство продукции.

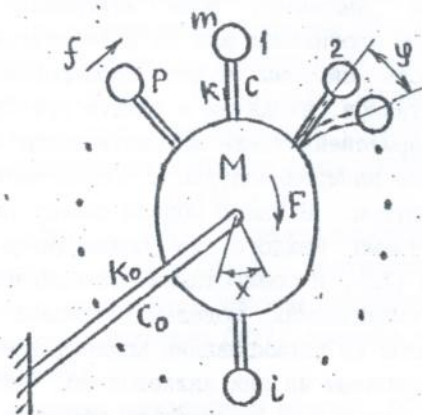


Рис. 4

Уравнение модели отдельного работника имеет вид

$$m\ddot{\varphi} + k\dot{\varphi} + c\varphi = f(t) + F(t), \quad (21)$$

где  $\varphi$  - обобщенная координата, характеризующая состояние производственного процесса в модели;  $f(t) = f \cos \omega t$  и  $F(t) = x \cos \omega t$  - силы, моделирующие соответственно внутреннюю мотивацию и воздействие среды;  $x$  - смещение элемента, моделирующего среду.

Из модели следует, что производительность труда работни-

ка будет максимальной при совпадении частот внутренних и внешних стимулов с собственными частотами субъекта.

Модель множества субъектов, работающих в условиях конвейерного производства, представлена на рис.4. В модели предполагается, что связь между субъектами осуществляется только через предприятие, моделируемое элементом  $M$ , на несколько порядков превосходящей инерцию отдельных субъектов. Уравнение модели в символической форме имеет вид

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^p (m_i s^2 + k_i s + c_i) \varphi_i = \sum_{i=1}^p (k_i s + c_i) \varphi_i, \\ & (m_i s^2 + k_i s + c_i) \varphi_i = (k_i s + c_i) x. \end{aligned} \quad (22)$$

где  $k_0$  и  $c_0$  представляют собой производительность труда коллектива и внешнюю реактивность системы.

Изучены характерные свойства модели (22) и показана зависимость производительности труда специалистов от синхронности их работы. Например, если внутренние стимулы одной группы работников противоположны по фазе другой группе, то производительность системы будет пропорциональна разности количества работников, входящих в каждую группу.

В разделе приведена также математическая модель коллектива, работающего на производстве с последовательным технологическим маршрутом. В такой модели спектр колебаний определяется свойствами каждого из коллективов, аналогичным свойству модели (22), и совместными колебаниями в системе.

Анализ математических моделей позволил получить ряд важных результатов по формированию коллективов и организации производства. Основным из них является то, что высокая производительность может быть достигнута при условии, когда генетические свойства работника, его мотивация и внешние стимулы наиболее благоприятны, что имеет место при резонансе.

Поэтому на предприятии чрезвычайно важно уделять должное внимание организации трудовых коллективов. Введение в типовую структуру предприятия подсистемы организационной подготовки производства позволяет обеспечить такую организацию взаимодействия людей, чтобы предприятие функционировало эффективно с точки зрения как работников и условий их труда, так и достижения глобальной цели предприятия.

В этом же разделе проведен анализ различных структур

современных компьютерно-интегрированных производств (СИМ), получивших широкое распространение во всем мире. Такие структуры стандартизованы как в государственном, так и международном масштабах. Из анализа следует, что возникающие сложности при внедрении СИМ связаны, в основном с тем, что в них не выделены функции по кадровому обеспечению производства и по организации взаимодействия специалистов в процессе функционирования. Несмотря на то, что научно признается важность учета человеческого фактора на производстве, на практике же это не нашло отражения.

Выше была обоснована необходимость введения в типовую структуру предприятия подсистем профессиональной и организационной подготовок производства. Однако на предприятии проблема кадров не полностью решается этими двумя подсистемами. Текущность кадров, координация совместных действий по подготовке рабочих с системой профобразования, адаптация поступающих рабочих к условиям предприятия, управление (планирование, контроль, регулирование) кадровым обеспечением и т.п. поставило задачу создания на предприятии единой службы кадрового обеспечения (ЕСКО). В разделе приведена структура системы управления процесса кадрового обеспечения предприятия, условие устойчивости которого представлено в виде:

$$\Delta K(t) > 0$$

где  $\Delta K(t) = \phi K(T) - T K(t)$  - рассогласование квалификации трудовых ресурсов,  $\phi K(T)$  и  $T K(t)$  - соответственно фактическая и требуемая с учетом перспективы квалификация специалистов на предприятии. Величина  $\Delta K(t)$  названа квалификационным запасом производства.

В шестом разделе рассмотрены методы обеспечения работоспособности производственных систем в условиях действия случайных возмущений, вызванных техническими и человеческими факторами.

В качестве основного показателя работоспособности производственных систем принята устойчивость их работы с учетом особенности, заключающейся в том, что система имеет общий ресурс для реализации программы (плана) работы (ресурс  $t_n$ ) и для коррекции хода производства (ресурс  $t_k$ ) при отклонении его от программного по причине действия случайных возмущений. Ресурсом производственной системы является действитель-

ный (расчетный) фонд времени  $\Phi$  работы обрабатывающего оборудования системы за некоторый период времени  $T$ .

Разделение ресурса  $\Phi$  между программным и корректирующим управлениями существенно влияет на устойчивость работы системы. Может быть составлена такая программа, для реализации которой потребуется практически весь ресурс и система окажется некорректируемой, что может привести ее к потере устойчивости. Такая ситуация возникает при планировании работы системы по критерию максимизации коэффициента загрузки оборудования  $K_z = t_n / \Phi$ .

Поскольку время пребывания системы в  $j$ -том состоянии является случайной величиной (1), то и ресурс программного управления  $t_n$  также является случайной величиной.

Для обоснованного разделения ресурса, обеспечивающего требуемую работоспособность системы, разработана методика, которая заключается в следующем.

С учетом того, что на производственную систему действуют два вида возмущений: простои, которые имеют постоянную и случайную составляющие, и случайные параметрические возмущения, условие устойчивости системы будет иметь вид

$$t_n(h) < \Phi - \bar{t}, \quad (23)$$

где  $\bar{t}$  - постоянная составляющая действующих возмущений. Наиболее естественной численной оценкой запасов ее устойчивости будет значение вероятности выполнения условия (23):

$$P_y = P\{t_n(h) < (\Phi - \bar{t})\} = 0,5 + F(u),$$

где  $F(u)$  - табличный интеграл вероятности, значение которого определяется по величине безразмерного аргумента

$$u = [(\Phi - \bar{t}) - t_n^0] / \sigma,$$

где  $t_n^0$  - расчетное (невозмущенное) значение  $t_n$ , а  $\sigma = \Delta t / 3$  - его с.к.о.;

$$\Delta t = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta t_i')^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta t_i'')^2} \cdot \sqrt{1/2};$$

$\Delta t_i'$  - отклонение времени простоев оборудования от среднего значения;  $\Delta t_i''$  - отклонение технической нормы времени  $i$ -той единицы оборудования от расчетной.

В настоящее время в основном получила распространение практика директивного разделения ресурса путем задания коэффициента загрузки оборудования без учета действующих возму-

щений.

На основании изложенного метода анализа разработан численно-аналитический алгоритм разделения ресурса между программным и корректирующим управлениями, обеспечивающий устойчивость программной работы системы с заданными требованиями  $P_T$  в условиях действия случайных возмущений (задача синтеза). Аналогично решается обратная задача разделения ресурса, которая формулируется следующим образом: по известной программе выпуска изделий производственной системой, которая выражается через ресурс программного управления  $t_n^0$  определить действительный фонд времени  $\Phi$ , при котором программа выполняется с требуемым запасом устойчивости  $P_T$ .

На примерах гибких производственных систем показана работоспособность приведенных алгоритмов.

В разделе разработана также в виде сетевого графика программа выполнения работ в процессе создания производственных систем, позволяющая обеспечить их работоспособность с заданными показателями качества в условиях действия случайных возмущений. Программа предусматривает согласованное проведение работ всеми основными участниками создания производственной системы: заказчиком, генеральным проектантом, разработчиком АСУ, разработчиком элементов объекта управления и службой подготовки и переподготовки кадров.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

В диссертации на основании системного подхода впервые выполнены исследования путей развития современного производства, в которых наряду с задачами создания работоспособной техники и подготовки специалистов рассмотрена взаимная корреляция этих сложных процессов в условиях НТП и кризиса производства. В результате разработано научно-методическое и алгоритмическое обеспечение создания систем управления технологическими и производственными процессами с учетом действия случайных возмущений.

В ходе выполнения исследований получены следующие основные научные и практические результаты:

1. На основании закономерностей развития экономики показано, что требуется постоянная модернизация производства и адаптация специалистов к нововведениям. Причем высокая дина-

мика изменения экономической ситуации требует непрерывной переподготовки специалистов, позволяющей обеспечить повышение производительности труда и их социальную защищенность. Сформулированы две основные составляющие содержания программы опережающей подготовки и переподготовки кадров.

2. Разработанная концепция создания технологических систем показывает, что все виды деятельности по их проектированию, изготовлению и эксплуатации функционируют в среде кадрового обеспечения. Поэтому система подготовки и переподготовки специалистов должна своевременно обеспечивать как текущий, так и перспективный спрос на требуемые кадры. Предложенный алгоритм позволяет решить эту задачу.

3. Проведен анализ причин отставания темпов подготовки специалистов от темпов развития производства, на основании которого разработана технология подготовки и переподготовки трудовых ресурсов в виде структуры, адекватной структуре создания техники. Выделены основные виды деятельности, необходимые для успешного решения кадровой проблемы в условиях постоянного изменения требований производства. Предложенная технология позволяет согласовать темпы развития техники и трудовых ресурсов.

4. Предложена иерархическая модель и методика формирования требований к трудовым ресурсам. Модель отражает сложившуюся в народном хозяйстве структуру: государство, отрасль, регион, предприятие. Методика позволяет составить перечень требований к специалистам с учетом перспективы, а разработанный АРМ-Конверсия позволяет автоматизировать процесс модернизации производства и оптимизировать его по критерию максимизации использования трудовых и производственных ресурсов.

5. Для исследования работоспособности технологических систем и оборудования, описываемых обыкновенными линеаризованными дифференциальными уравнениями, с учетом действия случайных параметрических возмущений используется понятие "вероятность устойчивости" (запас устойчивости), дающее строгое математическое обоснование предложенной методики их проектирования. Такой подход позволяет получить численную оценку выполнения требований устойчивости для стохастических систем. Именно такая оценка интересует инженера, проектирую-

шего систему с конкретными техническими условиями.

6. Предложена статистическая модель критериев устойчивости. Показано, что реальное распределение критериальных функций отличается от нормального. Разработан численно-аналитический алгоритм кусочно-линейной аппроксимации реального распределения критериальных функций нормальным, что дает возможность применять на практике хорошо разработанный аппарат анализа нормально распределенных случайных величин. Метод применим для аппроксимации реального распределения монотонных нелинейных функций случайного аргумента нормальным законом.

7. Разработан метод анализа запасов устойчивости стохастических систем. Специфика предложенного вероятностного подхода заключается в том, что параметры системы, найденные для детерминированной модели, принимаются в качестве первого приближения и уточняются с целью минимизации влияния случайных возмущений. Главным достоинством такого подхода является то, что для анализа стохастических систем используется хорошо разработанный математический аппарат исследования детерминированных систем, а на заключительном этапе, когда получены более простые или явные критерии или соотношения, оцениваются их вероятностные характеристики. Показано, что условие устойчивости непосредственно по корням характеристического уравнения дает наиболее корректную оценку запасов устойчивости по сравнению с другими критериями.

8. Предложен оригинальный метод контроля запасов устойчивости системы на различных этапах ее создания: проектирования, испытаний и эксплуатации. Метод позволяет вычислить корни характеристического уравнения реализованной системы и, тем самым, определить фактические запасы ее устойчивости. Предусмотрена возможность подстройки запасов устойчивости в ходе испытаний и регламентных проверок с помощью подстроечных параметров, выбираемых на этапе проектирования.

9. Разработан метод синтеза регулятора управляемых систем с заданными запасами устойчивости. Получены явные зависимости желаемого значения корней характеристического уравнения от требуемых запасов устойчивости. Метод позволяет избежать особенностей в системе (кратности или близости корней), что обеспечивает "глубокость" системы по отношению к па-

раметрическим возмущениям.

10. Разработана математическая модель специалиста, функционирующего на производстве в трудовом коллективе. Получена также модель коллективов, работающих на производстве с последовательным технологическим маршрутом. Модели дают возможность выявить условия, при которых специалисты могут интегрировать свой трудовой потенциал. Сделан ряд выводов, которые должны учитываться при организации производства.

11. Проведен анализ компьютерно-интегрированных производств, получивших широкое распространение во всем мире, структуры которых стандартизованы как в государственном, так и международном масштабах. Из анализа следует, что возникающие сложности при внедрении таких производств связаны, в основном с тем, что в них не интегрированы функции по кадровому обеспечению производства и по организации взаимодействия специалистов в процессе функционирования. В связи с этим в предложенную структуру предприятия введены подсистемы, обеспечивающие согласованное развитие техники и трудовых ресурсов, и сформулированы решаемые ими задачи. Определены условия устойчивости кадрового обеспечения производства.

12. Разработан метод анализа работоспособности производственных систем с учетом действия случайных возмущений, вызванных техническим и человеческим факторами. Сформулировано условие устойчивости производственных систем. Предложен численно-аналитический алгоритм разделения всего ресурса системы на часть, предназначенную для выполнения плановых заданий, и часть, необходимую для компенсации возмущений. Такой подход позволяет обоснованно определить коэффициент загрузки оборудования при заданном запасе устойчивости.

13. Предложена программа работ по проектированию производственных систем с заданными показателями качества с учетом действия случайных возмущений. Программа объединяет усилия основных участников создания системы (заказчика, генерального проектанта, разработчиков АСУ и оборудования, служб подготовки и переподготовки кадров) и базируется на методическом обеспечении, разработанном в диссертации.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Михайличенко А.М., Пустовойтов Н.А., Сухоребрый В.Г.

Устойчивость управляемых систем со случайными параметрами. -К.: Наукова думка, 1981. -160 с.

2. Дабагян А.В., Михайличенко А.М. Особенности технологии подготовки и переподготовки кадров в условиях глубокого социально-экономического кризиса. Харьк. гос. политехн. ун-т. -Харьков, 1994. -268с. Деп. в ГНТБ Украины 14.12.1994 №2468-Ук94.

3. Гамзатов Х.Г., Михайличенко А.М. и др. Состав, структура и порядок создания АСУ ГПС. Руководящий технический материал. РТМ2 Н93-5-85. -М.: ВНИИТЭМР, 1986. -16с.

4. Пилипенко В.А., Гамзатов Х.Г., Михайличенко А.М. и др. Технические требования на создание АСУ ГПС. Методические рекомендации. -М.: ВНИИТЭМР, 1987. -23с.

5. Пилипенко В.А., Гамзатов Х.Г., Михайличенко А.М. и др. Общеотраслевые методические материалы по созданию автоматизированных систем управления гибкими производственными системами (ОММ АСУ ГПС). -М.: ГКНТ и ГКВТИ, 1989. -282с.

6. Михайличенко А.М. Методические указания к изучению дисциплины "Основы автоматизированного проектирования АСУ". -Харьков: ХПИ, 1988. -48с.

7. Михайличенко А.М. Управление ГПС в условиях действия возмущений. -М.: 1989. -32с. (Машиностроит. пр-во. Сер. Автоматизация пр-ва, ГПС и робототехника: Обзорн. информ. /ВНИИТЭМР. Вып9).

8. Михайличенко А.М. Задачи и содержание современных педагогических технологий. Методические рекомендации. -Харьков: ХОУМЦ, 1995. -24с.

9. Михайличенко А.М. К выбору оптимального метода оценки качества систем при действии параметрических возмущений // Динамика и устойчивость управляемых систем. -К.: АН УССР. Ин-т математики, 1977. -С.143-161.

10. Михайличенко А.М. Выбор желаемого спектра линейной динамической системы // Физико-технические приложения крайних задач. -К.: Наукова думка, 1978. -С.244-231.

11. Михайличенко А.М. Корневой метод оценки вероятности устойчивости нелинейных систем со случайными параметрами // Динамика и устойчивость сложных систем. -К.: АН УССР. Ин-т математики, 1981. -С.80-84.

12. Михайличенко А.М. Устойчивость динамических систем

со случайными параметрами и внезапными отказами // Адаптивные системы автоматического управления / Респ. межведомственным науч.-техн. сб: -К.: Техника, 1982, вып.10. -С.110-114.

13. Михайличенко А.М. Адаптивная по запасу устойчивости система управления // Численно-аналитические методы исследования динамики и устойчивости сложных систем. -К.: АН УССР. Ин-т математики, 1984. -С.97 -101.

14. Михайличенко А.М. Контроль электронной модели управляемых систем. Электронное моделирование, 1985, №2. -С.61-64.

15. Михайличенко А.М. Анализ управляемости и устойчивости гибких автоматизированных производств // Численно-аналитич. методы исследования и устойчивости многомерных систем. -К.: АН УССР. Ин-т математики, 1985. -С.109-114.

16. Михайличенко А.М., Лурье Э.Я., Загора Б.Н. Система управления гибким автоматизированным производством поковок. Проблемы машиностроения и автоматизации, 1986, №6. -С.85-87.

17. Михайличенко А.М. Параметрическая надежность систем управления. Приборы и системы управления, 1986, №5. -С.11-12.

18. Михайличенко А.М. Алгоритм определения ресурса программного управления // Прикладные задачи динамики и устойчивости механических систем. -К.: АН УССР. Ин-т математики. 1987. -С.94 -95.

19. Михайличенко А.М. Разделение ресурса между программным и корректирующим управлениями. Проблемы машиностроения и автоматизации, 1989, №26. -С.36-37.

20. Михайличенко А.М. Модель функциональной структуры предприятия с учетом проблемы кадрового обеспечения // Математическое и компьютерное моделирование в машиностроении / Сб. науч. трудов НАН Украины, ИК им. В.М.Глушкова. -К.: 1994. -С.68-72.

21. Михайличенко А.М. Система навчання з погляду виробничого процесу // Психолого-педагогічні проблеми професійної освіти / Наук.-метод. збірник. -К.: 1994. -С.297-299.

22. Михайличенко А.М. Управління процесом підготовки спеціалістів // Професійна освіта: теорія і практика / Наук.-метод. бюлетень. Вип. 1-2. - Харків: 1995. -С.23-26.

23. А.с. 1202899. Система управления ковочным прессом. Харьков, НИИАП. Авт. изобр. Левитин Г.С., Лурье З.Я., Михайличенко А.М., Переплетчиков А.Л. - опубл. в В.И. 1985, №5. -С.11-12.

24. А.с. N 156476. 1981г. (По закрытой тематике). Авт. изобр. Авраменко Н.И., Белохин О.М., Сухоробрый В.Г., Михайличенко А.М. и др.

25. Михайличенко А.М. Статистическая модель корней характеристического уравнения динамических систем // Препринт 79.2. -К.: АН УССР. Ин-т математики, 1979. -27 с.

26. Михайличенко А.М. Технология выбора технических средств АСУТП // Депонированная рукопись. -28 с. Библиографич.указатель ВИНТИ, 1984, №3. -С.104.

27. Михайличенко А.М. Технология подготовки и переподготовки специалистов. Харьк.гос.политехн.ун-т. -Харьков, 1995. -18с. Деп. в ГНТБ Украины 12.10.1995 N2272-Ук95.

Личный вклад. Основные результаты исследований, приведенных в диссертации, выполнены лично автором. В работах, написанных в соавторстве Михайличенко А.М. принадлежат: в книге [1] - методы и алгоритмы анализа, синтеза и контроля управляемых систем по корням характеристического уравнения; в книге [2] - модель и методика формирования требований к трудовым ресурсам в условиях модернизации производства, взаимосогласованные структуры системы подготовки специалистов и предприятия, сформулировано условие устойчивости кадрового обеспечения производства; в работах [3-5] - методика формирования исходных данных для создания ГПС, типовая структура ГПС, методы оперативного управления технологическим процессом производства, график взаимодействия основных исполнителей создания производственной системы с заданными требованиями; в статье [16] - методика построения структуры системы управления с заданными требованиями надежности.

### **Abstract**

Mihaylichenko A.M. Technological and production processes management under the influence of disturbances, considering the mutual correlation of development of technology and manpower.

The dissertation (in the manuscript form) for the

doctoral degree in the speciality 15.13.07 - processes and manufacturing automation. Kharkov State Polytechnical University. Kharkov, 1996.

For the first time the ways of rise of effectiveness of modern manufacture have been investigated, using system approach, examining, on the level with problems of serviceable equipment development and specialists training, the mutual correlation of these complex processes under conditions of scientific and technological progress and deep crisis of industry. As a result, scientific-methodics and algorithmic support for constructing control systems of technological and production processes considering the influence of random disturbances has been received.

#### **Анотація**

Михайличенко А.М. Управління технологічними та виробничими процесами в умовах дії збурень і урахуванням взаємної кореляції розвитку техніки та трудових ресурсів. Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 - автоматизація технологічних процесів та виробництв. Харківський державний політехнічний університет. Харків, 1996.

На підставі системного підходу вперше досліджені шляхи підвищення ефективності сучасного виробництва, де поряд з задачами створення працеспроможної техніки та підготовки спеціалістів розглянута взаємна кореляція цих складних процесів. У результаті проведених досліджень розроблено науково-методичне та алгоритмічне забезпечення створення системи управління технологічними та виробничими процесами з урахуванням дії випадкових збурень.

Ключевые слова: технологические и производственные процессы, система управления, случайные параметрические возмущения, запас устойчивости, модернизация производства, формирование требований к специалистам, система подготовки и переподготовки специалистов.

18.78.81

---

Подп. к печати 25.09.96. Формат 60x84/16. Бумага типограф.  
Усл. печ. л. 2.0 Тираж 120. Зак. N 916

---

Отпечатано на ризографе  
копировально-множительного центра  
ООО «**VSV**»  
310003, Харьков, пл. Конституции, 1  
Дворец труда, 2 п., 3 эт., к.9

1120000

