

10. БИЗНЕС-РЕИНЖИНИРИНГ

10.1. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ СОЗДАНИИ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Мустафаев М.Г., инженер;
Мустафаева Д.Г., к.т.н., доц., зав. сектором

Научно-производственное предприятие «ЭКОФОН»

Рассмотрены вопросы управления технологическими системами при создании изделий и проведен анализ методов их решения. Показано, что совершенствование управления технологической системой обеспечивает создание изделий с высокими показателями.

В процессе производства изделия подвергаются воздействию большого числа факторов, причем степень их влияния различна, а совместное действие приводит к большому разбросу электрофизических параметров изделия. Для каждого отдельного процесса таких факторов может быть несколько десятков, а в течение всего процесса изготовления изделия могут подвергаться воздействию нескольких сотен технологических факторов. Поэтому анализировать весь технологический процесс можно только на основе системного подхода с применением ЭВМ. Основным при этом является совокупность происходящих физико-химических процессов, объектов обработки и средств для их реализации.

Одной из основных целей исследования технологических процессов, анализа существующих и синтеза новых технологий является решение задач оптимального управления технологическими процессами. Существуют несколько направлений решения этих проблем:

- исследование физико-химических особенностей процессов и установления вида взаимозависимостей различных параметров;
- статическая обработка результатов наблюдений и нахождения уравнений, описывающих интересующие явления;
- учет физико-химических особенностей процесса и определения вида зависимостей.

Исследование и анализ факторов, действующих на технологические операции, изучение природы протекающих физико-химических процессов, позволяют разработать оптимальный, управляемый технологический процесс, позволяющий достичь лучших показателей на каждой отдельной операции.

Синтез технологического процесса осуществляется путем включения в разрабатываемую технологию операций, необходимых и достаточных для формирования конструкции и обеспечения функционирования изделий.

При рассмотрении технологического процесса производства изделий необходимо использования определенных методологических принципов и системного подхода.

Определяющим фактором производства изделий является технология, базирующаяся на физико-химических исследованиях, и регламентирующая требования к исходным материалам и оборудованию. Производной от технологии является схемотехника, основанная на

машинном проектировании. Все составляющие технологической системы связаны между собой.

Применение информационных технологий является важным фактором управления технологическим процессом производства изделий. С этой целью системы переработки информации создают по иерархическому принципу. Так, для функционально-ориентированных систем управление технологическими процессами осуществляется на основе микро-ЭВМ, для автономного действия на основе персональных ЭВМ.

Применение информационного комплекса: модель – алгоритм – программа, позволяет обеспечить достоверность информации, возможность применения численных методов, быстрый обмен информацией.

Применение информационной технологии требует формализации представления данных, решаемой методами системного программирования, математического моделирования и численного решения сложных задач анализа и синтеза для нахождения оптимальных решений по управлению технологической системой.

Для создания продукции высокого качества возникает необходимость управления технологическим процессом производства изделий. Реализация данной задачи возможна в виде автоматизированного рабочего места технолога производственного подразделения на основе системы управления базами данных.

При создании высококачественных и высоконадежных микроэлектронных изделий применяют специальное технологическое оборудование (для получения материалов с заданными свойствами), высокопроизводительные и высококачественные устройства (для электронной и ионной литографии), аналитические и контрольно-измерительные средства, установки молекулярно-лучевой эпитаксии, ионно-плазменного распыления, диагностики, контроля технологических сред и исходных материалов.

Управление технологической системой позволяет корректировать систематические погрешности, а для исключения случайных ошибок применяется технологическое оборудование, устойчивое к дестабилизирующим факторам и обладающее высокой надежностью. Все это позволяет достичь высокого качества выпускаемой продукции.

Применяемые в технологии производства материалы должны обладать строго заданными свойствами. Это требует применения уникального технологического оборудования, средств диагностики, глубоких знаний физико-химических процессов достижения заданных свойств материалов.

При решении задачи управления технологической системы руководствуются некоторыми методологическими принципами. Принцип оптимизированного взаимодействия включает показатели функциональной значимости, сложности, массы, габаритных размеров, энергопотребления, надежности, стоимости. Взаимодействие показателей в системе должны иметь оптимальное значение. Реализация данного принципа методами многопараметрической оптимизации позволяет решить задачу создания изделий с высокими показателями.

Следствием принципа оптимизированного взаимодействия является решение задач совместимости схемотехнических, технологических и метрологических решений, которые характеризуют уровень и преемственность всей

иерархической системы создания микроэлектронных устройств – разработка, проектирование и отработка технологии, организация производства, испытания и эксплуатация. Совместимость считается достигнутой, если обеспечивается процесс целенаправленного управления качеством и надежностью выпускаемых изделий.

Принцип организационно-динамического управления представляет систему с прямыми и обратными связями, обеспечивающую эффективное управление на всех этапах жизненного цикла изделий.

Такая система эффективно функционирует, т.е. управляет технологической системой при обобщении и накоплении опыта по эксплуатации, применения, использование результатов систематического анализа и совершенствования методологических принципов управления технологическим процессом. Это позволяет оптимизировать параметры процесса выпуска изделий с высокими техническими характеристиками и с заданными параметрами.

Применение различных методов контроля в производстве позволяет установить статистическую взаимосвязь параметров изделий с режимами технологической системы и закономерности распределения параметров в зависимости от технологических, конструктивных, эксплуатационных и других факторов [2]. Неполное и неадекватное понимание роли технологических факторов в формировании параметров сложных изделий не позволяют организовать объективный контроль качества выполнения технологических операций (ТО). Кроме этого, с уменьшением размеров элементов и значительным влиянием состава исходного материала [4] (особенно когда материал многокомпонентный) на свойства и характеристики изделий эта проблема еще более усложняется, так как растет число факторов, определяющих качество и надежность изделия.

Использование автоматизированного контроля и методов статистической обработки позволяют анализировать и определить причины низкого уровня качества, организовать межоперационный контроль качества технологического процесса (ТП), установить зависимости качества от контролируемых параметров, построить регрессивные модели взаимосвязи выходных характеристик изделий.

Повышение информативности результатов контроля достигается переходом от статистической обработки к причинному анализу взаимосвязей исследуемых параметров на основе:

- многомерного статистического анализа;
- причинного анализа;
- принятия решений.

Решение этих задач требует создания автоматизированных систем и программного обеспечения, особенно для организации системного контроля ТП.

Контроль ТП производится на всех этапах создания изделий. С этой точки зрения можно выделить основные задачи, решаемые с помощью контроля.

1. Автоматизированный статистический контроль технологического процесса, который включает пооперационный контроль выполнения технологических операций; оценка характеристик работы оборудования и операторов; прогнозирование процента выхода годных; оценка устойчивости технологического процесса; анализ технологических операций и процесса в целом.
2. Статистический анализ и регулирование технологического процесса, которые включают первичная статистическая обработка параметров; установления корреляционных связей с характеристиками режимов ТО и процентом выхода год-

ных изделий; построение регрессивных моделей связи параметров с выходными характеристиками изделия; графическое отображение статистической информации; анализ и принятие решений по корректировке и управлению технологическим процессом; анализ и принятие решений по статистическому регулированию технологического процесса.

3. Оценка надежности, которая включает оценку влияния конструктивных, схмотехнических и технологических решений на показатели надежности изделия; прогнозирование надежности изделия.

По мере накопления статистической информации и увеличения степени согласованности ТП определяет-ся объем контроля и его периодичность.

Задачи обеспечения максимального объема информации могут быть решены методом факторного планирования эксперимента: при этом интегральные показатели качества ТП определяются по проценту выхода годных. Обеспечение стабильности воспроизведения ТО и количественную оценку влияния каждого из технологических параметров на информативные параметры качества изделия.

Реализация задач (этапы 1, 2) заключается в организации межоперационного статистического анализа и регулирования ТП с применением причинного анализа взаимосвязей параметров изделия. На этих этапах решаются задачи определения технологических ограничений и норм параметров для контроля уровня настройки и точности выполнения ТО, направленные на поддержание высокого уровня качества и надежности изготавливаемых изделий.

Задачи, решаемые на этапе 3, не связаны непосредственно с управлением качеством ТП, и их назначение заключается в получении статистической информации о показателях надежности и определении оптимальности принятых конструкторско-технических решений. На основании статистических результатов ускоренных испытаний на надежность может проводиться корректировка и совершенствование конструкции и технологических режимов изготовления изделий.

На основе статической обработки полученных данных результатов такого анализа и выданных рекомендаций, относительно управляющих воздействий на ТП принимается решение относительно корректировки режимов ТО.

После получения результатов статистического и причинного анализа возникает задача принятия решений относительно управляющих воздействий на ТП производства изделий. Эти решения принимаются на основе полученных результатов с учетом особенности ТП.

Основными особенностями при исследовании (наблюдении) ТП производства изделий, из которых вытекает необходимость разработки подсистем принятия решений, в условиях контроля являются:

- наличие интервалов времени между моментами формирования информации и возможностью воздействия на ТП;
- выборочный метод, предполагающий получение достоверных выводов с некоторой долей вероятности;
- непостоянство структуры ТП производства, при котором возможно изменение технологии, оборудования, качественного состава материалов;
- неполнота описания ТП обусловленная сложностью формализации знаний о данном процессе; незнание некоторых сторон функционирования ТП; невозможности количественного описания некоторых сторон процесса и регистрации большинства входных параметров;
- субъективность протекания технологических операций, в которых роль оператора особенно велика.

Таким образом, в подсистемах принятия решений реализуются алгоритмы, основанные на человеко-машинных процедурах, в которых пользователь выступает в роли лица, принимающего решения (ЛПР). ЛПР принимает окончательное решение относительно управления ТП, а модули подсистемы обеспечивают ему существенную помощь в различных ситуациях выбора, поставляют необходимую информацию.

Из-за сложности ТП изготовления микроэлектронных изделий и отмеченных выше особенностей его наблюдения знания о процессе не будут абсолютно полными, полностью соответствовать текущему состоянию ТП. Поэтому в ней предусмотрена возможность корректировать сумму знаний о процессе, конкретном параметре изделия. В дальнейшем эти сведения классифицируются и корректируются в зависимости от изменения условий производства.

Основными моментами принятия решений являются:

- задачи статистического контроля, которые включают первичная статистическая обработка измеренных параметров; контроль выхода за допустимые границы статистических характеристик, имеющих заданный интервал изменения, определение закона распределения исследуемых параметров; контроль выхода годных изделий;
- диагностический анализ, заключающийся в сравнении основных статистических критериев текущей и опытной партий изделий.

В зависимости от различных сочетаний соотношения статистических критериев работает та или иная процедура статистического регулирования, заключающаяся в последовательной работе методов статистического и причинного анализа.

Эффективное решение задач требует создания автоматизированных информационно-измерительных систем. Программное обеспечение систем обеспечивает измерение параметров, формирование массивов исходных статистических данных, реализацию основных методов статистического анализа.

Важную роль среди автоматизированных систем управления играют автоматизированные системы управления ТП (АСУТП), позволяющие управлять процессом с целью обеспечения заданной производительности на основе учета отклонений режимов технологических операций и свойств исходных материалов.

На ранних стадиях изготовления микроэлектронных изделий контролируемые параметрами являются, параметры физической структуры изделия, а контролируемые на поздних стадиях – характеристики прибора.

Поэтому для повышения эффективности управления ТП наряду с АСУТП применяют автоматизированные системы статистического анализа, контроля и регулирования процесса изготовления изделий.

Автоматическое поддержание в определенных пределах параметров, качества элементов физической структуры изделия осуществляется с помощью АСУТП, в основу работы которой положена связь между параметрами качества элементов физической структуры и параметрами процесса формирования этого элемента. Основой для автоматизированной системы статистического анализа, контроля и регулирования ТП являются связи параметров эффективности производственного процесса или параметров качества изделия с параметрами, характеризующими точность формирования элемента физической структуры.

Указанные системы, выполняя различные задачи, дополняют друг друга. Информационное взаимодейст-

вие систем осуществляется через базу данных (БД), обеспечивающую оперативный сбор, хранение, корректировку и выдачу данных по режимам технологических операций и т.д.

В зависимости от вида АСУТП рекомендации, генерируемые системой статистического анализа, должны быть ориентированы на соответствующий уровень управления процессом производства изделий.

Для оценки эффективности функционирования технологической системы (ТС) используются различные показатели.

Показатели эффективности классифицируют по принципу определения эффекта и по принципу вида отношения между эффектом и затратами:

$$Ц = Э / С,$$

где Э и С – эффекты и затраты соответственно.

Эффективность является наиболее универсальной характеристикой системы управления, понимая под этим степень приспособленности системы к выполнению заданных ей функций управления [5]. Эффективность систем зависит от ряда показателей или параметров, основными из которых являются стоимость разработки, изготовления и эксплуатации, качество функционирования, мощность потребляемой энергии и др.

Эффективность систем зависит от его структуры, характера связи между элементами, вида управляющих алгоритмов, а также закономерностей функционирования. Эффективность автоматизированной производственной системы характеризуется стоимостью всех видов оборудования, надежностью и быстродействием технических средств, численностью обслуживающего персонала, числом управляющих программ, производительностью, коэффициентом загрузки технологического оборудования, гибкостью, рентабельностью, длительностью производственного цикла.

- Если затраты С фиксированы, то:

$$Ц = Э \rightarrow max.$$

- Если фиксируются эффекты Э, то:

$$Ц = С \rightarrow min.$$

Общей функциональной характеристикой эффективности ТС является техническое состояние, определяемое работоспособностью и отказом.

Управление процессом функционирования рассматриваемого объекта осуществляется выбором значений управляющих параметров $\bar{P}(n), n = 1, 2, \dots, N$, при которых выполняются заданные ограничения и целевая функция достигает максимального (минимального) значения.

Разнообразии состояний, в которых могут находиться системы, создает значительные трудности для обобщенного представления о процессах в целом, а также для выбора критериев эффективности принимаемых решений.

Математическая модель, наиболее объективно обобщающая представления о состояниях и их флуктуациях с учетом влияния основных факторов, может быть представлена как пространственная на основе многомерного фазового пространства.

При изменении состояния системы соответственно изменяются величины функциональных параметров, характеризующие протекание процессов во времени и пространстве.

На основе модели формирования состояний может быть представлена обобщенная модель состояний

систем, необходимая для объективного анализа задач управления.

Первичным фактором, определяющим состояние системы, является ее физическое состояние. Параметры X , которые его характеризуют, могут быть представлены областью X в пространстве. Отражением технического состояния системы является качество ее работы, которое оценивается соответствующими показателями качества. К таким показателям относятся в основном показатели качества функционирования систем.

В процессе производства формируется индивидуальное техническое состояние изделия. В процессе эксплуатации техническое состояние изделий находится под воздействием факторов, направленных на его изменение.

Изменение состояния является следствием влияния факторов, которые являются возмущающими. Восстановление состояния происходит посредством обслуживания и ремонта. Процессы этого типа также относятся к категории управляющих. Совокупность этих воздействий, а также форм и методов их реализации представляет одно из направлений, обеспечивающих надежное и эффективное управление состоянием систем.

Состояние управляемого объекта в каждый момент времени определяется фазовой точкой X . На состоянии можно воздействовать посредством управляющего параметра U . Изменение величин U и X определяется как процесс, который составлен из управления $U(t)$ и фазовой траектории $X(t)$.

Анализ возможного характера изменения состояния показывает, что в общем виде уравнение управления состоянием можно представить как сумму управлений:

$$U_x = U_1(t) + \sum_1^n U_2(\Delta t_i) + \sum_1^k U_3(\Delta t_j),$$

где

i, j – дискретные моменты применения управляющих воздействий, восстанавливающих состояние;

Δt – интервалы дискретизации.

Динамика процесса изменения состояния в общем виде может быть описана системой дифференциальных уравнений.

Процесс изменения состояния в совокупности определяется уравнением

$$X(t) = X_0(t) + \Delta X(t),$$

где $X_0(t)$ – начальное состояние.

Модели управления и соответствующие зависимости показывают, что необходимые воздействия с целью восстановления состояния в процессе эксплуатации взаимосвязаны и имеют определенную преемственность. Совокупность основных мероприятий, направленных на управление состоянием, должна сочетаться в единой системе.

Основой для оценки полноты, эффективности запланированных мер является проведение анализа типовых отказов, проявляющихся в процессе отработки, изготовления и эксплуатации изделий – аналогов, и получение оценок их надежности. Эти оценки используются при прогнозе надежности новой разработки с учетом предупредительных, контрольных и защитных мероприятий. На основе ожидаемого уровня надежности проводится прогнозирование объема испытаний.

Эффективность управления технологической системы характеризуется устойчивостью и эффективностью результата [6]. Устойчивость $ТС$ характеризуется тре-

бованиями к динамическим характеристикам составляющих системы.

Устойчивость $ТС$ обуславливается ее способностью нормально функционировать и противостоять различным неизбежным возмущениям. Состояние $ТС$ устойчиво, если отклонение от него остается сколь угодно малым при любых достаточно малых изменениях связей входа.

Производство высококачественных изделий является основной составляющей $ТС$. Важным критерием эффективности функционирования $ТС$ является поддержание устойчивого процесса производства. Устойчивость системы определяется путем анализа ее передаточной функции:

$$A = a_3 P^3 + a_2 P^2 + a_1 P + a_0,$$

где

a – коэффициенты;

P – функция.

Проведенный анализ показал, что система устойчива, так как соблюдаются условия Гурвица:

$$a_3 > 0; a_2 > 0; a_1 > 0; a_0 > 0$$

и

$$a_1 a_2 > a_0 a_3;$$

$$a_n = f(a_{ij}), n = 1, \dots, 3.$$

Производство элементов и компонентов микроэлектронных изделий характеризуются сложными физико-химическими процессами. Задачи повышения их эффективности в условиях рыночной экономики требуют систематической работы по совершенствованию управления технического, программно-информационного и организационного обеспечения.

Методика и технология управления процессами в управлении производством предлагает:

- математический аппарат и алгоритм оценки управления;
- методику моделирования прогностической функции;
- математические модели принятия решений по выбору рациональных управляющих воздействий в условиях многокритериальности и неопределенности;
- структуру информационной системы поддержки процедур подготовки альтернативных вариантов.

Осуществлять управление технологическими процессами без использования новейших методов управления неэффективно.

Наиболее эффективным средством управления технологическими объектами являются системы централизованного управления, создаваемые на основе теории управления, использующие экономико-математические методы, вычислительную и управляющую технику.

Процессы в технологических системах при производстве элементов и компонентов радиоэлектроники представляют собой сложный комплекс явлений, протекающих в системах, являющихся объектами управления. Для управления этими процессами необходимо располагать сведениями о начальных условиях производства, состоянии процесса и конечных его результатах.

Создание систем управления, так называемые иерархические системы, позволяют увеличить надежность и эффективность управления вследствие возможности автономного функционирования нижних уровней.

Интегральный охват производства управлением, с интеграцией по вертикали и по горизонтали, более эффективны при согласованной работе в составе единого, интегрированного комплекса. Интегрированные

системы управления **СУ** обеспечивают сбор и обработку информации о ходе производства, формируют оперативные данные, необходимые управленческому персоналу цехов для принятия решений.

Внедрение микро-ЭВМ и персональных ЭВМ позволяет перейти от централизованных систем управления к технологии распределенной обработки информации. Децентрализованные системы позволяют размещать ЭВМ рядом с обслуживаемым объектом, а зачастую прямо встраивать в объект, что приводит к повышению оперативности управления и увеличению возможных объемов перерабатываемой информации.

Микропроцессоры позволяют создать новый класс технических средств регулирования – программируемые логические контроллеры, которые вместе с управляемыми вычислительными комплексами более высокого уровня могут работать как интеллектуальные терминалы, оперативно решающие все этапы задачи управления. Наиболее предпочтительной методологией модернизации **СУ ТП** является внедрение распределенных систем управления (**PCY**) на базе современных контроллеров, которые располагают полным набором средств, необходимых для комплексной автоматизации.

Объединение персональных ЭВМ в локальные сети, эффективны при реализации коммуникаций между пользователями при оперативной работе и при обмене информационными ресурсами. Распределенные базы данных (**БД**), обслуживающие совокупности пользователей, объединение персональных ЭВМ в сеть совместно с ЭВМ других уровней позволяет наряду с конкретными оперативными задачами пользователей реализовать задачи пакетной обработки информации, связанные с плановыми расчетами, хранением архивных данных, формированием отчетной документации и т.д. Реализация этого подхода базируется на объединении локальной сети через абонентскую сеть с машинами верхнего уровня, имеющими централизованные **БД**. Распределенная сеть позволяет реализовать административное управление производством, совместно с управлением **ТП**.

Особое значение приобретают экспертные системы, нейронные сети и генетические алгоритмы, являющиеся специализированными компьютерными системами, способными самосовершенствоваться на основе опыта высококвалифицированных специалистов в данной предметной области. Их применение позволяет обеспечить решение задач по выявлению аномальных ситуаций, поиск причин их появления, повысить надежность и безопасность эксплуатации сложного технологического оборудования, снизить нагрузку на оперативный персонал.

Компонентами задачи управления являются:

- постановка целей управления (технической, математической);
- оценивание текущего состояния управляемого объекта по отношению к цели;
- оценивание факторов окружающей среды функционирования системы, существенно влияющих на поведение системы;
- выработка на основе информации наилучшей стратегии (законов, алгоритмов) управления.

Качество **СУ** определяется совокупностью свойств, обуславливающих способность системы удовлетворять потребностям производства с учетом общих интересов предприятия и прогрессивных достижений науки и техники в области управления. В силу сложности и разнообразия конфигураций **СУ** отсутствует единая концеп-

ция построения моделей оценки. Задача осложняется тем, что решается она на основе неполной, неточной, неколичественной информации о **СУ** [1].

Одним из показателей качества управления считается уровень использования научно-технических достижений в области создания и применения **СУ** с целью повышения эффективности управления производственной деятельностью системы. Это позволяет определять уровни функционирования, применение экономически целесообразных решений [3]. Комплексный подход, при котором обеспечивается полнота характеристик управления. Многоуровневый иерархический подход обеспечивает концептуальное единство и целостность системы.

Задача поиска путей повышения эффективности управления становится адекватной процедуре решения оптимизационной задачи нахождение экстремума некоторого функционала-критерия, достижение которого отождествляется с достижением цели функционирования системы [7].

Математическую модель, предназначенную для решения проблемы многокритериальности, можно представить:

$$M = (\mu, S, U, L, B, \varphi),$$

где

μ – тип многокритериальной задачи;

S – множество оцениваемых систем;

U – множество критериев, по которым оцениваются системы;

L – множество отображений систем на числовую ось, заданных для каждого критерия U ;

B – система предпочтений на множестве S ;

φ – решающее правило, задающее на S отношение предпочтительности, удовлетворяющее B .

Особенностью использования модели является переход из множества систем S в пространство критериев U для каждого критерия $u_i, i = 1 \dots n$ определяется множество и возможных (допустимых) значений критерия, после чего строится пространство критериев:

$$U^n = U_1 * U_2 * \dots * U_n.$$

С помощью отображений из L каждой системе $s \in S$ ставится в соответствие вектор оценок:

$$u(s) = (u_1(s), \dots, u_n(s)).$$

Полученное при этом множество векторных оценок:

$$\{u(s)\} = U \subseteq U^n.$$

В качестве методологической основы анализа процессов принят системный подход. В соответствии с этим технологические системы создания элементов и компонентов микроэлектронных изделий характеризуются:

- наличием подсистем, каждая из которых имеет свою цель функционирования, подчиненную общей цели системы;
- иерархичность структуры, предполагающая подчиненность подсистем некоторой системе, которая выражается в структурном местоположении отдельных подсистем, и в распределении управляющих функций;
- наличием у системы и соответствующих ее подсистем, свойств адаптации и самоорганизации;
- разнообразием характеристик, свойств, методов описания функционирования и взаимодействия отдельных подсистем.

Современные производства управления являются сложными системами с разветвленной структурой производства элементов и компонентов микроэлектронных изделий, с большим количеством связей между отдельными цехами и участниками, обеспечивающими передачу материальных, энергетических,

информационных потоков, сбор и обработку информации, формирование и передачу управлений.

На нижнем уровне решаются задачи высокопроизводительной и безаварийной работы технологического оборудования; соблюдения технологических режимов, правил эксплуатации оборудования, техники безопасности. На этом уровне применяются локальные системы.

На втором уровне решаются задачи распределения и координации во времени и в пространстве общих материальных и энергетических потоков данного цеха (производства) с целью получения максимально возможной эффективности всего производственного комплекса. Определяется оптимальный режим ТП, а также вырабатываются и передаются команды управления системами нижней ступени. Техническим обеспечением этого уровня являются мини-ЭВМ, связанные между собой и с другими средствами вычислительной техники на основе локальных вычислительных сетей.

На третьем уровне решаются технические и экономические задачи планирования, анализа взаимодействия отдельных цехов, осуществляется управление общими для предприятия ресурсами. Технической базой этого уровня служит мини-ЭВМ, а также корпоративные вычислительные сети.

Инструментом системного подхода является системный анализ, который позволяет глубже осмыслить сущность систем, их структур, закономерности развития и методы управления.

Вероятностная природа некоторых источников неопределенности может быть учтена при применении аппарата теории вероятностей и математической статистики.

Для анализа систем применяется информационный подход, при котором для количественного анализа процессов формирования моделей и принятия решений используются информационные меры. Этот подход дает возможность рассматривать системы на более высоком уровне абстракции, что ценно для понимания основных тенденций поведения систем управления и, следовательно, для более точного анализа, синтеза и управления ими.

Качество управления деятельностью определяется плановыми, организационными и оперативными решениями. Имеются факторы, ведущие к усложнению управленческих решений. Необходим учет ограничений по материальным и финансовым ресурсам, усложнения объекта управления. Это повышает требования к качеству и оперативности принятия и реализации управленческих решений.

Задача принятия решений (ПР) при планировании мероприятий решается в условиях неопределенности и риска. Источником неопределенности является неполнота, разобщенность исходных данных, словесное описание целей, ограничений и условий качественного типа. Проблема качественного управления состоит в генерации альтернативных вариантов, в определении целей, ограничений и возможных областей решений.

Моделирование собственно процесса ПР позволяет сделать шаг в сторону получения количественных оценок и анализа результатов принимаемых решений. Профессиональное использование моделей процесса ПР позволяет подкрепить интуитивные соображения при принятии решений, в частности, обеспечивать большую степень непротиворечивости, согласованности и надежности принимаемых управленческих решений.

Формальная постановка задачи ПР может быть представлена в виде множества:

$$\langle S_0, T, Q \mid S, A, B, Y, f, K, Y \rangle,$$

где слева от вертикальной черты расположены символы, соответствующие известным, а справа – неизвестным элементам задачи:

S_0 – проблемная ситуация;

T – время для принятия решения;

Q – потребные для принятия решения ресурсы;

$S = (S_1, \dots, S_n)$ – множество альтернативных ситуаций, доопределяющих проблемную ситуацию S_0 ;

$A = (A_1, \dots, A_k)$ – множество целей, преследуемых при ПР;

$B = (B_1, \dots, B_k)$ – множество ограничений;

$Y = (Y_1, \dots, Y_m)$ – множество альтернативных вариантов решения;

f – функция предпочтения;

K – критерий выбора наилучшего решения;

Y^* – оптимальное решение.

Основной задачей является определение для каждой проблемы, принадлежащей возникшему полю проблем, альтернативного варианта решения из пространства решений, наиболее соответствующего целям производства. Для определения наиболее предпочтительного варианта решения для конкретной проблемы используются решающие правила, для сравнения и выбора альтернативных вариантов. Системы правил (стратегии) выбора решений, можно разделить на алгоритмические и эвристические.

Нечеткая постановка задачи оказывается более краткой, устойчивой по отношению к небольшим изменениям исходных данных и является удобным вариантом описания неопределенности, полезным для формализации априорной информации и дальнейшего его использования.

Возникновение нечеткого описания задачи выбора СУ может быть связано со следующими обстоятельствами: ограничения на ресурсы моделирования (временные, стоимостные) не позволяют получить четкую информацию, и вынуждают системных аналитиков воспользоваться знаниями экспертов, которые выражаются в нечеткой словесной форме; имеющая числовая информация обычно не позволяет найти решение формальными методами, при существующих ограничениях на различные ресурсы, но ЛПР находит решение, пользуясь своим опытом, который он может передать другому ЛПР в виде совокупности нечетких правил; при совершенствовании СУ имеется ряд альтернативных вариантов, но неизвестно абсолютно точно, какими именно показателями будет обладать проект.

Использование нечетких словесных понятий позволяет ввести в рассмотрение качественные описания, учесть неопределенность задачи выбора и достигнуть описания факторов, не поддающихся точной количественной оценке.

Применение интеллектуальных систем (ИС) путем построения интегрированной информационной системы поддержки ПР, включающей подсистему моделирования позволяет повысить эффективность СУ. Основное отличие ИСПР от традиционных компьютерных систем ПР заключается в том, что в процессе функционирования системы синтезируются формальные модели предметной области, которые используются в выработке наиболее рациональных решений; система содержит знания более высокого уровня, отражающие основные

закономерности предметной области. Применение в качестве элементов знаний формальных моделей дает возможность использовать не только эвристические, но и математические процедуры поиска решений, обеспечивающие наибольшую эффективность.

Специфика решения слабо формализованных задач требует, чтобы проектируемая компьютерная система базировалась на моделях с настраиваемой структурой. Это делает ИСПР гибкой, достаточно универсальной, оставляя ЛПР свободу при синтезе моделей в соответствии с его логикой рассуждений, в которой отражаются накопленный опыт, интуиция, предпочтения. В то же время система является достаточно строгой, потому что использует некоторые конкретные правила анализа и синтеза моделей.

ИСПР, обеспечивающая поддержку принятия решения задач, требующих больших объемов знаний, должна удовлетворять следующим требованиям:

- быть способной к обучению, т.е. уметь извлекать информацию из окружающей среды, повышать свой уровень и накапливать полученные знания о данной предметной области в базы знаний (БЗ) с целью их использования для решения недостаточного формализованных задач;
- собирать и накапливать в БД информацию о поведении системы с целью ее использования для обучения ИСПР;
- на основе накопленной в БЗ и БД информации моделировать ситуацию, в которой приходится принимать решения;
- оценивать качество принимаемых решений с учетом всех заданных критериев с использованием полученных моделей;
- иметь устойчивость к неполноте исходной информации.

Структура ИСПР имеет вид, представленный на рис. 1. БД содержит необходимые фактографические данные о СУ и процессе ее развития. БЗ, кроме традиционного для интеллектуальных систем содержимого, дополнительно имеет знания предметной области для формирования гипотез, используемых при решении задач моделирования, и полученные подсистемой моделирования частные формальные модели.

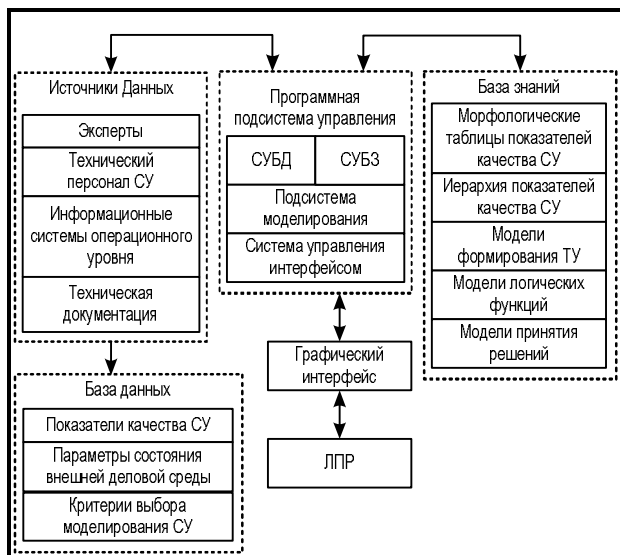


Рис. 1. Интегральная система поддержки принятия решений

Большинство обучающихся систем ориентировано на использование алгоритмов статического анализа различных данных. В предлагаемой системе обучение реализуется путем построения моделей, основанного на информационных методах, методах теории нечет-

ких множеств, нечеткой логики и теории ПР на основе формальных моделей в сочетании с эвристическими методами.

Поиск решений строится на основе алгоритмов оптимизации, использующих приближенные методы. Окончательные решения вырабатываются ЛПР, осуществляющим выбор среди различных альтернатив. При этом оценивается множество критериев, отражающих различные цели, которые являются зачастую несоизмеримыми и противоречивыми. Вся информация, необходимая для такого выбора, подготавливает ИСПР, а ЛПР формирует задачу, выполняет анализ результатов с помощью ИСПР и принимает окончательное решение.

Для построения формальных моделей системы средствами подсистемы моделирования должна быть решена определенная последовательность задач обработки различной информации.

На этапе 1 осуществляется изучение СУ как объекта системного анализа. При этом решаются задачи сбора, обработки и оценивания количественной и семантической информации об обследуемой системе.

На этапе 2 решаются задачи количественного и семантического анализа подготовки ПР. В рамках семантического анализа осуществляется:

- нечеткое, логическое качественное моделирование, оценивание и ПР;
- размывание неточной количественной информации;
- перевод количественной информации в предикатную форму;
- перевод семантической информации в лингвистическую форму и др.

Основными задачами количественного анализа и управления являются:

- оценивание параметров;
- моделирование, оценивание и прогнозирование состояний параметров и процессов.

На этапе 3:

- осуществляется согласование разнородной информации (количественной и семантической);
- извлекаются знания и данные, строятся формальные модели.

В результате обработки имеющейся информации методами системного анализа подсистемой моделирования вырабатываются:

- знания, используемые в качестве основы ИСПР;
- рекомендации по количественным, качественным и временным характеристикам принимаемых решений;
- прогнозы о развитии обследуемой СУ во времени, а затем создаются БД, БЗ и модели подсистем.

БЗ содержит объекты, принятия и атрибуты, которые формируют базовую структуру проблемной области. Связь между объектами, понятиями и атрибутами организуется через правила вывода, также имеющиеся в БЗ. В состав БЗ включаются также критерии рациональности принимаемых решений.

Основным отличием БЗ ИСПР от традиционных экспертных систем является то, что в ее состав включаются частные модели различных типов (функциональные, логические, лингвистические), определяемые подсистемой моделирования по информации, содержащейся в базе данных, и по информации, вводимой ЛПР. Подсистема моделирования объединяет имеющиеся в БЗ разнотипные частные модели в общую многоуровневую модель исследуемой системы с учетом информации, извлекаемой из БД, и в соответствии с правилами, введенными в БЗ ЛПР.

ИСПР по выбору рационального СУ решает задачи:

- анализа эволюции исследуемого класса СУ; прогнозирование развития обследуемой СУ;

- определения перспективных направлений совершенствования обследуемой СУ;
- выбора рациональных вариантов модернизации обследуемой СУ;
- определения оптимальных сроков проведения мероприятий в обследуемой СУ.

Алгоритм составления интегрального показателя технического уровня (ТУ) СУ включает следующие этапы.

1. Формирование морфологической таблицы показателей качества СУ по этапам ее модернизации.

2. Рекорреляция взаимозависимых показателей качества.

Рекорреляция значений взаимозависимых показателей качества $X_{i+1,j}$ и $X_{i,j}$ осуществляется с помощью линейного преобразования:

$$X_{i+1,j}^p = X_{i+1,j} - k * X_{i,j},$$

где

коэффициент преобразования:

$$k = \frac{\sigma_{i+1}}{\sigma_i};$$

коэффициент оценки среднеквадратического отклонения i -го и $(i + 1)$ -го показателей качества:

$$\sigma_i = \sqrt{\sum \frac{(X_{i,j} - \bar{X}_i)^2}{m}}, \quad \sigma_{i+1} = \sqrt{\sum \frac{(X_{i+1,j} - \bar{X}_{i+1})^2}{m}};$$

коэффициент оценки математического ожидания i -го и $(i + 1)$ -го показателей качества:

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^m X_{i,j}}{m}, \quad \bar{X}_{i+1} = \frac{\sum_{j=1}^m X_{i+1,j}}{m}.$$

3. Преобразование элементов матрицы к безразмерному виду и определение соответствующих вероятностных мер.

Определение вероятностных мер $F(X)$ количественных показателей проводится с помощью таблицы гипернормального распределения. Стьюдентизирование оценок показателей качества с целью приведения их к однородному виду осуществляется по формуле:

$$X_{i,j}^{omn} = \frac{X_{i,j} - \bar{X}_i}{\sigma_i}.$$

Для показателей, представленных в качественной форме, проводится их предварительное ранжирование. Вероятностные оценки показателей рассчитываются по формуле:

$$P_{ij} = \frac{m - q + 1}{m - \sum_{q=1}^m (a_q - 1)}, \quad q = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{q=1}^m a_q (m - q + 1)$$

где

q – ранг j -го состояния системы в общей их совокупности;

a_q – степень кратности порядковых номеров q (число состояний, имеющих такую же предпочтительность, как и j -е состояние).

4. Расчет весовых коэффициентов сравниваемых показателей качества.

Рассчитывается степень детализации учета по совокупности состояний системы:

$$\Delta_i = \max_j P_{ij} - \min_j P_{ij}.$$

Если для рассматриваемых значений Δ_i существует вариационный ряд:

$$\Delta_1^{(n)} \leq \Delta_2^{(n)} \leq \dots \leq \Delta_i^{(n)} \leq \dots \leq \Delta_n^{(n)}.$$

Весовые коэффициенты показателей рассчитываются по формуле:

$$r_i = \frac{n - p + 1}{n - \sum_{p=1}^n (a_p - 1)}, \quad p = 1, \dots, n.$$

$$\sum_{p=1}^n a_p (n - p + 1)$$

где

p – порядковый номер предпочтения i -го показателя в общей их совокупности;

a_p – число показателей, имеющих такую же предпочтительность, как и i -й показатель.

В противном случае оценки весовых коэффициентов могут быть рассчитаны на основе принципа потенциального распределения:

$$\hat{r}_i = \frac{\Delta_i}{\sum_{i=1}^n \Delta_i}.$$

5. Расчет обобщенного показателя ТУ системы.

Показатель ТУ СУ в целом (ее отдельных подсистем или отдельных видов обеспечения) после каждой из имевших место модернизаций системы рассчитывается по формуле:

$$W_j = \sum_{i=1}^n r_i P_{ij},$$

где

$i = 1, \dots, n$ – номер показателя качества системы;

$j = 1, \dots, m$ – номер модернизации.

ТП имеют непрерывный или непрерывно-дискретный характер с большим количеством взаимозависимых параметров, оценка которых осуществляется посредством измерительных устройств или непосредственно человеком-оператором. Основные ТП имеют пространственно-временную направленность, многомерны и стохастичны, протекают в условиях неопределенности факторов, отражающих в совокупности широкие диапазоны изменений характеристик и параметров внешней среды. Управление ТП вручную не позволяет эффективно использовать их мощность и базовые качества из-за ограниченных возможностей человека.

Человеку-оператору отдаются функции, требующие принятия семантических решений при выполнении ситуационного управления. При оптимальном согласовании характеристик системы и человека создаются высокоорганизованные СУ.

Системы управления, базирующиеся в основном на детерминированных моделях объектов управления (ОУ), позволили снизить энтропию процессов управления, оптимально распределить функции управления между человеком и СУ с учетом разносторонних способностей информационно-управляющих характеристик человека и машины.

Технологические взаимосвязи процессов и параметров зачастую сложны и трудно формализуемы. Эксплуатационный персонал должен иметь глубокое понимание процессов, приобретаемое из опыта работы. Многие знания недостаточно документированы. Скрытые персональные знания являются часто имплицитными, интуитивными и не до конца осознаются самим оператором, но, тем не менее, как раз этот уровень информации является ключевым при принятии решений управления технологическим процессом.

Большинство существующих систем управления ТП базируется на классической теории управления, использующей математическое моделирование, реализуемое на основе предположения о линейности систем. Во многих реальных системах имеются нелинейные характеристики, сложные для моделирования динамические элементы, неконтролируемые шумы и помехи, множественные обратные связи и другие факторы, затрудняющие реализацию управления.

Поэтому модель, особенно линейная, не может отражать в полной мере действительные физические свойства таких сложных объектов. Сложные модели обладают высокой параметрической чувствительностью и могут оказаться бесполезными для целей управления. Практически приемлемыми могут быть только модели с низкой чувствительной частью по параметрам. Обеспечить это для нелинейных систем достаточно сложно. Кроме того, снижение чувствительности ведет к снижению точности регулирования.

Таким образом, проблемы, препятствующие дальнейшему совершенствованию систем управления на базе детерминированных алгоритмов, в основном обусловлены двумя причинами:

- процессы и объекты часто оказываются не формализуемыми или трудно формализуемыми;
- большинство существующих систем построено на линейных и линеаризованных моделях, не обеспечивающих необходимые точность и качество управления, а также ограничивают возможность их совершенствования.

Обе эти причины могут быть устранены использованием методов искусственного интеллекта, которые очень активно развиваются в настоящее время.

Технология искусственного интеллекта (ИИ) включает в себя несколько направлений, моделирующих поведение человека:

- нечеткую логику (НЛ);
- нейронные сети (НС);
- генетические алгоритмы (ГА);
- экспертные системы (ЭС).

Нечеткое управление (НУ) – одна из самых активных, результативных областей исследований, возможности применения теории нечетких множеств. НУ оказывается особенно полезным, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно или неопределенно. НУ дает лучшие результаты по сравнению с получаемыми при общепринятых алгоритмах управления. НЛ на которой основано НУ, ближе по духу к человеческому мышлению и естественным языкам. НЛ обеспечивает эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира. Наличие математических средств отражения нечеткости исходной информации позволяет построить модель, адекватную реальности.

В отличие от традиционной формальной логики, оперирующей точными и четкими понятиями, НЛ имеет дело со значениями, лежащими в некотором непрерывном или дискретном диапазоне. Функция принадлежности элементов к заданному множеству представляет собой не жесткий порог, а плавную кривую, проходящую все значения от нуля до единицы.

Новые подходы расширяют сферу приложения систем управления за пределы применимости классической теории. Обобщение опыта использования теории

нечетких множеств, для решения задач управления, можно представить в виде схемы организации нечеткой системы управления (НСУ) (рис. 2).

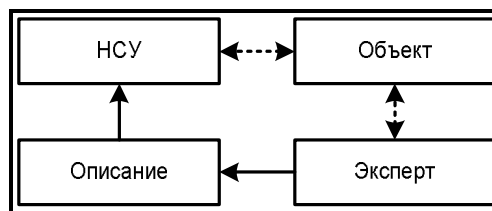


Рис. 2. Схема организации нечеткой системы управления

В ней можно выделить четыре функциональных блока. Главным элементом является эксперт, который на основе собственных знаний об управлении объектом формирует описание процесса управления. Описание задается в виде набора лингвистических правил и условий их работы. Затем экспертное описание процесса управления преобразуется в блок управления на основе нечетких экспертных знаний – НСУ. Это дает возможность исключить эксперта из схемы управления и в дальнейшем управление осуществлять только на основе знаний эксперта, включенных в НСУ.

Основные этапы построения систем интеллектуального управления на основе НЛ следующие:

- определение входов и выходов создаваемой системы;
- задание для каждой из входных и выходных переменных функции принадлежности;
- разработка базы правил для реализуемой нечеткой системы;
- выбор и реализация алгоритма нечеткого логического вывода;
- анализ результатов работы и проверка адекватности созданной системы.

НСУ использует знания экспертов, представленные с помощью теории нечетких множеств в виде лингвистических переменных элементов нечетких множеств. В системах на базе НЛ реализуется последовательность обработки информации: показания измерительных приборов фаззифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются входные и выходные значения лингвистических переменных, определяемые соответствующими термами, выходные нечеткие величины дефаззифицируются и в виде привычных сигналов подаются на исполнительные устройства.

Структура нечеткого управления имеет вид, показанный на рис. 3.

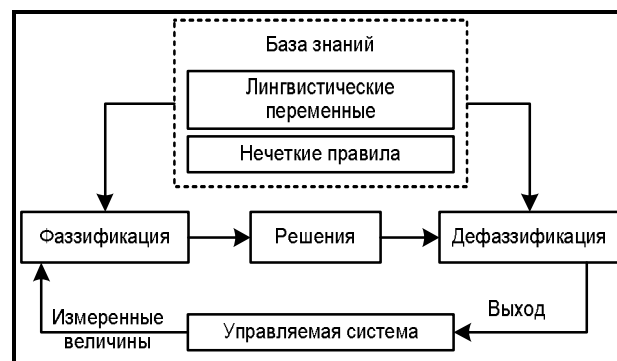


Рис. 3. Общая структура нечеткого управления

Фаззификация преобразует четкие величины, измеренные на входе объекта управления, с помощью функций принадлежности, в нечеткие величины, которые описаны лингвистическими переменными в БЗ.

БЗ – компонент программы, в котором отдельно от кода программы хранятся написанные на определенном языке знания. Данный компонент формирует выводы и соображения.

Решения используют нечеткие условные правила, заложенные в базу знаний, для преобразования нечетких выходных данных в необходимые управляющие воздействия, которые также носят нечеткий характер.

Дефаззификация реализует процесс, обратный фаззификации, – преобразует нечеткие данные с выхода решений в четкую величину, которая используется для управления объектом.

Решение о необходимости повышения эффективности ТС определяется принятой методологической основой совершенствования процессов управления и обеспечения качества выпускаемой продукции. Системно-информационный подход позволяет рассматривать ТС на более высоком уровне абстракции, что обеспечивает более точный анализ, синтез и управление ими.

Эффективность управления ТС осуществляется на основе системного подхода с учетом всех особенностей и свойств системы.

ТС при создании микроэлектронных изделий в динамике ее функционирования позволяет производить выпуск изделий с высокими техническими характеристиками и обеспечивает устойчивый производственный процесс.

В процессе эксплуатации ТС производства микроэлектронных изделий обеспечивает приспособленность системы и выполнение заданных ей функций управления. ТС позволяет обеспечить производство девяти типов изделий в широком динамическом диапазоне параметров и значительно улучшает финансовое положение предприятия.

Применение комплексного подхода на основе статистического и причинного анализа, принятия решений позволяет обеспечить повышение информативности результатов при создании сложных изделий.

Статистический анализ ТП необходимо осуществлять на основе комплексного подхода, при котором во взаимосвязи должны применяться методы многомерной статистики, причинного анализа и принятия решений.

Литература

1. Андрейчиков А.В. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) [Текст] / Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. – М.: Машиностроение, 1998. – 476 с.
2. Валиев К.А. Технология СБИС. Основные тенденции развития [Текст] / К.А. Валиев, А.А. Орликовский // Электроника. – 2000. – №4 – С. 3-14.
3. Литвак Б.Г. Управленческие решения [Текст] / Б.Г. Литвак. – М.: Тандем, ЭКМОС, 1998. – 248 с.
4. Мустафаев Г.А. Пленочные преобразователи энергии [Текст] / Г.А. Мустафаев // Электронная промышленность. – 1995. – №2. – С. 28-31.
5. Мустафаев Г.А. Оценка наработки и режима работы элементов устройств [Текст] / Г.А. Мустафаев // Машиностроитель. – 1994. – №2. – С. 34-35.
6. Мустафаев Г.А. Устойчивость информационных систем [Текст] / Г.А. Мустафаев, Д.Г. Мустафаева // Инновации. Технологии. Решения. – 2001. – №3. – С. 17-18.
7. Надежность и эффективность в технике [Текст] : справ. [Текст]: в 10 т. / под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1986-1990. Т. 3: Эффективность технических систем. – 1988.

Ключевые слова

Системный подход; моделирование; базы данных; базы знаний; методологические принципы; статистический анализ; причинный анализ; принятие решений; контроль; алгоритм; эффективность системы; целевая функция; прогнозирование; устойчивость; экспертные системы; нейронные сети; нечеткая система.

Мустафаев Марат Гусейнович

Мустафаева Джамил Гусейновна

РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность темы. В процессе производства сложные изделия подвергаются воздействию значительного числа факторов и степень их влияния различна на различных этапах жизненного цикла продукции, что может привести к существенному разбросу их параметров. Исследования и анализ факторов позволяют разработать оптимальный управляемый процесс и достичь высоких показателей функционирования технологической системы.

Научная новизна и практическая значимость. В статье освещены подходы решения проблемы эффективного функционирования технологической системы и обеспечения выпуска изделий высокого качества.

Рассмотрены методология и принципы, а также системный подход, которые позволяют совершенствовать управление технологической системы, и обеспечивает принятие решений по оптимизации параметров процесса и выпуска изделий с заданными параметрами.

В работе поставлены и решены задачи повышения информативности результатов контроля на основе комплексного подхода, при котором во взаимосвязи применяются методы многомерной статистики, причинного анализа и принятия решений.

Совместное применение АСУТП и автоматизированной системы статистического анализа, контроля и регулирования процесса при создании сложных изделий позволяет повысить эффективность управления технологическим процессом и системой.

Заключение. Статья отвечает требованиям, предъявляемым к научным публикациям.

Статью рекомендую опубликовать в открытой печати.
 Мерзлов В.С., к.т.н., профессор, декан факультета экономики и управления СКГМИ (ГТУ) Северо-Кавказский Горно-металлургический институт (государственный технологический университет)

10.1. BASIC PROBLEMS OF FUNCTIONING OF TECHNOLOGICAL SYSTEM AT CREATION OF DIFFICULT PRODUCTS AND METHODS OF THEIR SOLUTION

M.G. Mustafaev, Engineer SIF «Ekofon»;
 D.G. Mustafaeva, Candidate of Science (Technical),
 the Senior Lecturer, Managing Sector SIF «Ekofon»

Management questions are observed by technological systems at creation of products and the analysis of methods of their solution is passed. It is shown, that perfection of management by technological system provides creation of products with high parameters

Literature

1. A.V. Andrejchikov. Computer an invention support (methods, systems, application instances) [Text] / Andrejchikov A.V., Andrejchikova O.N. – M: Engineering industry, 1998. – 476 p.
2. K.A. Valiev. Production engineering SBIC. The basic trends of evolution [Text] / K.A. Valiev, A.A. Oriikovskiy // Electronics. – 2000. – №4 – p. 3-14.
3. B.G. Litvak. Administrative solutions [Text] / B.G. Litvak – M: Association of authors and publishers «TANDEM», EKMOС, 1998. – 248 p.
4. G.A. Mustafaev. Film energy converters [Text] / G.A. Mustafaev//Electronic industry. – 1995. – №2. – p. 28-31.

5. G.A. Mustafaev. An estimation of an operating time and an operating mode of elements of devices [Text] / G.A. Mustafaev//The machine engineer. – 1994. – №2. – p. 34-35.
6. G.A. Mustafaev, D.G. Mustafaeva. Stability of the informational systems [Text] / G.A. Mustafaev, D.G. Mustafaeva//ITW. – 2001. – № 3. – p. 17-18.
7. Reliability and efficiency in technics: the directory [Text]: in 10 t. / under the editorship of V.F. Utkin, J.V. Krjuchkova. – M: Engineering industry, 1986 – 1990. T.3: Efficiency of engineering systems – 1988.

Keywords

System approach; modelling; databases; knowledge bases; methodological principles; the statistical analysis; the causal analysis; decision-making; the control; algorithm; a system effectiveness; criterion function; forecasting; stability; expert systems; neural networks; illegible system.