

### 9.3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ

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

*НПП «Экофон»*

Рассмотрены возможности формирования системы управления производственной системой, обеспечивающей эффективное функционирование производства и повышение качества продукции.

Производственный процесс представляет собой совокупность взаимосвязанных технологических процессов, который зависит от специфики и особенностей производимой продукции. Сочетание технологических процессов, которые образует производственный процесс изготовления продукции, обеспечивает его технологическую направленность. Особенности технологических процессов, реализуемых на предприятии, накладывают определенный отпечаток на протекание производственного процесса. Эффективное протекание производственных процессов требует рациональной их организации и оперативного управления. Для эффективного функционирования производства необходимо правильно выстраивать процессы на предприятии. За счет правильной организации процессов можно существенно сократить текущие издержки.

В связи с этим возникает необходимость пересмотра инструментов формирования производственных процессов, что в свою очередь требует преобразования методологии управления процессами, разработки новых подходов к управлению производств и новых решений по всей технологической цепочке для повышения устойчивости работы предприятия. Важнейшим фактором устойчивости работы предприятия становится высокое качество выпускаемой продукции и управления.

Взаимосвязь между технологическими факторами и выходными величинами, определяющими качество изделий, можно описать системами уравнений, которые могут быть решены с использованием современных вычислительных систем. Однако в эти уравнения входят множество эмпирических параметров, которые изменяются в реальном процессе в широких пределах [7]. При этом модель в виде системы уравнений определяет структуру и характер причинно-следственных связей процессов, происходящих при реализации технологии, но не позволяет получить прогноз значений технологических величин и показателей качества изделий, соответствующих реальным данным.

Параметры в этих уравнениях в соответствии с реальной ситуацией можно трактовать как нечеткие величины. В этом случае связи между входными и выходными величинами, а также и сами величины будут адекватно реальности представляться нечеткими. Поэтому, используя совместно возможности детерминированной математической и нечеткой моделей, возможно повышение качества управления производственным процессом. В этом случае нечеткая часть

выполняет функции идентификатора модели процесса, и он использует в качестве входных данных не реально измеряемые значения входных и выходных величин, а их модельные значения, соответствующие определенным качествам технологического процесса.

Существующие производственные системы (ПС) построены на основе моделей процессов, в которых присутствует ряд эмпирических параметров, изменяющихся в реальности в широких пределах. Тогда как системы настроены на некоторые их фиксированные значения, не всегда соответствующие реальным значениям. По-видимому, это является причиной значительных ошибок при формировании управляющих воздействий.

В существующих системах при формировании управления не представляется возможным учесть целый ряд изменяющихся обстоятельств, влияющих на качество изделий [8]. Они играют роль неконтролируемых возмущений, существенно влияющих на характер процесса.

В этих условиях эффективность технологического процесса (ТП) в значительной степени зависит от квалификации операторов. Высококвалифицированные операторы, опираясь на большой опыт практической работы и интуитивные представления о состоянии процесса, могут правильно задать значения управляющих воздействий, при которых достигается требуемое качество изделий.

Учитывая, что значительная часть фигурирующих в моделях входных и выходных величин не может быть измерена и о качестве их значений можно судить по косвенным, интуитивным представлениям технологов, представляется целесообразным вложить описанные модели в систему нечеткого управления [3]. Каждый эксперт, участвующий в формировании базы правил, является специалистом в отдельно взятой ситуации технологического процесса, поэтому построенная система является концентрацией коллективных знаний и представляется более эффективной в управлении.

Проведенный анализ и исследования процесса управления существующей системой управления с участием оператора и системой управления на основе нечеткого управления показали, что применение нечеткого управления позволяет существенно снизить дисперсию процесса по сравнению с существующей технологией управления. Снижение дисперсии процесса обеспечивает повышение качества изделий и соответствие их параметров нормативным требованиям.

Отсутствие достаточно полной математической модели создает определенные и необходимые условия для использования интеллектуальной системы управления [5], в частности, нечеткой экспертной системы, опирающейся на квалификацию операторов.

При этом база знаний содержит коллективные знания, которые являются более объективными, чем знания одного эксперта. Концентрация знаний, а также отсутствия человеческого фактора и наличия автоматического управления, подобные системы управления позволяют повысить качество и оперативность управления.

Совершенствование систем управления возможно использованием методов искусственного интеллекта [1]. Технология искусственного интеллекта включает и нейронные сети. Системы управления на их основе относятся к нелинейным динамическим системам. При этом свойства и качество процессов управления в большей степени зависят от свойств многослойных нелинейных нейронных сетей.

Нейронные сети (НС) выполняют функции адаптивного регулятора нелинейного многосвязного объекта. При этом возможны варианты функционирования нейронной сети – нейронная сеть обучается и одновременно формирует управляющее воздействие на входе исполнительного устройства системы управления. Цели обучения сети и управления объектом совпадают, что отражается в задании единой целевой функции системы.

Выбор конкретного подхода к обучению сети зависит от специфики задачи [2] и определяется алгоритмом обучения сети. В системах, где накоплены массивы данных о поведении исследуемого технического объекта, предпочтительно использование техники обучения с применением генетических алгоритмов, алгоритмов с элементами случайного поиска. Для объектов, технические характеристики которых меняются в процессе эксплуатации, предпочтительно применение алгоритмов настройки сети.

Для целей обучения НС необходимо правильно выбрать алгоритм с учетом решения задач управления динамическими объектами. Так алгоритм Левенберга-Марквардта (LM) является быстродействующим и пригоден для обучения больших нейронных сетей нескольшими сотнями настраиваемых параметров [4]. Этот алгоритм имеет эффективную реализацию и требует памяти для хранения матриц больших размеров.

Искусственные нейронные сети (ИНС) при отсутствии описания объекта управления способны по его входным и выходным сигналам моделировать поведение объекта и решать оптимизационные задачи. Особенностью системы управления с ИНС является то, что знания в ИНС распределены по всей сети в виде связей и характеристик нейронов и представлены в явной форме, она способна работать от сигналов датчиков и с нечеткой информацией.

В случае интеллектуального управления, при неточной информации с высоким уровнем энтропии, вначале строят обобщенную информационную модель более абстрактного характера. Затем на основе информации о реальном поведении объекта стремятся понизить ее энтропию за счет анализа поведения объекта в условиях экспериментальной эксплуатации системы. В этих условиях обобщенная информационная модель конкретизируется и адаптируется, т.е. выстраивается взаимосвязь между выходными и входными переменными объекта.

После этого разрабатываются алгоритмы формирования управляющего воздействия на основе прогнозирования состояния объекта в результате этого воздействия. На основе разработанного алгоритма синтезируется информационная модель, эффективность которого сравнивается с требованиями информативных показателей объекта.

Исходную информацию, описывающую состояние объекта как результат статистического анализа его поведения, представляют в таблично-матричной форме, в которой столбцы отражают состояние объекта, а строки кортеж воздействий на объект.

Элементами матрицы являются частные критерии, отражающие влияние  $i$ -го воздействия на переход объекта в  $j$ -е состояние.

Для определения конкретных значений частных критериев можно использовать семантическую меру целесообразности информации, определенную А.А. Харке-

вичем на основании апостериорного подхода [10], сущность которого заключается в том, что количество информации оценивается по изменению степени целесообразности поведения системы в результате сообщения ей данной информации. Управляющее воздействие является информационным воздействием, т.е. некоторым сообщением.

По оценке величины частного критерия можно судить о степени влияния  $i$ -го воздействия на достижение  $j$ -го состояния.

В многокритериальной постановке задача прогнозирования состояния объекта при оказании на него многофакторного управляющего воздействия сводится к максимизации интегрального критерия, т.е. к выбору такого состояния объекта, для которого интегральный критерий максимален.

Эффективность управления можно оценить, сравнивая информативное содержание заданий на управление и состояния объекта при реакции системы на эти задания.

Для моделирования процесса адаптивного управления сложными системами представляется перспективным применение многокритериального подхода с адаптивным интегральным критерием. Это позволяет обеспечить:

- разработки абстрактных информационных моделей объекта управления и интеллектуального контроллера;
- адаптации и конкретизации абстрактной модели объекта и автономное обучение контроллера на основе информации о реальном поведении объекта;
- расчет влияния управляющих воздействий на переход объекта в различные информационные состояния;
- прогнозирование поведения объекта при конкретном управляющем воздействии

Модель управления должна содержать взаимосвязь между выходными и входными переменными объекта с одной стороны, и возмущающих факторов (воздействий) и состояний объекта, с другой стороны.

Процесс перехода от традиционных методов и средств автоматизации ТП к созданию информационных систем управления ими связан с созданием совокупности средств, методов и алгоритмов, предназначенных для целенаправленного воздействия на технологические процессы. На их основе возможен переход к интеллектуальным системам управления, как отдельным агрегатам, так и производством в целом.

На объект управления (ОУ) и качество продукции влияет множество факторов, как внутренние, обусловленные неполным использованием конструктивных возможностей ОУ и не оптимальностью технологических связей процессов; так и внешние, обусловленные изменениями характеристик сырья, технологических и конструктивных факторов в процессе эксплуатации ОУ.

ОУ являются элементами сложных производственных систем, объединенных посредством интегрированных автоматизированных систем управления (ИАСУ) в единые организованные системы, обеспечивающие работу ОУ в оптимальном режиме.

Наиболее перспективным является интегрированный подход, когда ИАСУ, технологический процесс и ОУ (оборудование) проектируются совместно, что позволяет существенно упростить и улучшить как ИАСУ путем видоизменения уже существующих схем ТП, так и конструктивно улучшить сам объект управления. Интегрированный подход может также применяться при модернизации существующих систем управления путем создания интеллектуальных надстроек.

При совершенствовании системы задача управления ТП решается интеллектуальной надстройкой, вырабатывающей задания на режимные координаты с целью оптимизации критерия управления.

Основные информационно-управляющие функции возлагаются на интеллектуальную надстройку интеллектуальной системы управления, которая формирует вектор заданий для локальных систем управления, работающих в условиях воздействия вектора возмущений на систему в целом.

Структура системы интеллектуального управления определяется целевой функцией управления, которая в свою очередь определяет выбор одного из методов интеллектуализации.

В условиях стохастичности влияния целого ряда возмущений создаются объективные предпосылки для внедрения интеллектуальной системы управления, основанной на применении нейронных сетей.

Формирование прогнозов и решений на основе нейросетевых технологий осуществляется путем применения математических моделей нейронных сетей. Выходной сигнал нейрона определяется нелинейной функцией взвешенной суммы входных сигналов. Входными сигналами всей сети являются параметры текущего производственного процесса.

Результаты моделирования показали, что построенная по такому принципу система, обеспечивает существенное сужение пределов колебаний технологических величин по сравнению с существующей ситуацией. Это в свою очередь обеспечивает повышение качества изделий и экономии расхода ресурсов.

Необходимо отметить, что эффективность функционирования производственной системы существенно зависит от надежной и безаварийной работы производственного оборудования, которая в значительной степени определяется организацией и принятой системой технического обслуживания (ТО). Это обусловлено высокими затратами на ТО и значительным количеством персонала занятого на этой деятельности. Работоспособность производственного оборудования оказывает также значительное влияние на качество выпускаемых изделий [9].

Система ТО является одной из сложных в системе управления производством. Обеспечение достоверной информацией о работе производственного оборудования, выполненных работ по ТО и организации процесса управления ими позволит эффективно управлять производственным процессом.

Решения задач организации и управления системой ТО, направленной на обеспечение высокой надежности оборудования и оптимизацию затрат, возможно на основе создания экспертных систем (ЭС).

ЭС ТО производственного оборудования представляет собой последовательная логическая оценка их состояния на стадии эксплуатации, которая учитывает материальные, трудовые и финансовые ресурсы предприятия.

Необходимым компонентом ЭС является база знаний, которая состоит из базы информации и базы моделей, которые разрабатываются с помощью экспертов в данной предметной области.

База информации содержит постоянную и переменную информацию. Постоянная информация включает:

- классификаторы оборудования; перечень видов и причин отказов, ремонтов;
- указатели трудоемкости работ;
- перечни точек, средств и времени диагностирования;

- справочник ситуаций, характеризующих техническое состояние оборудования;
- множество оценок ситуаций по состоянию оборудования;
- данные о материально-технической обеспеченности для проведения ТО;
- правила разрешения проблемных ситуаций и т.п.

Переменная информация содержит для каждого оборудования сведения о числе отказов по деталям; данные технической диагностики; законы, описывающие изменение технического состояния и т.п.

ЭС включает большое количество алгоритмов, объединенных в вычислительные и логические модели, позволяющие найти решение проблемы. Эти модели составляют содержание базы моделей. В процессе функционирования ЭС базы могут корректироваться и пополняться новой информацией, ранее неизвестными проблемными ситуациями и моделями их разрешения.

ЭС ТО оборудования строится по функциональному принципу и включает блоки: учет, анализ, принятие решения, прогнозирование, контроль и регулирование. Все процессы, происходящие в системе, основаны на учете данных о состоянии объекта управления (ОУ).

ОУ системы ТО выступают оборудованием, характеризующимися показателями надежности (ресурс, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы и т.д.) и учетными данными, а также трудовые, материальные и финансовые ресурсы служб предприятия для поддержания работоспособного состояния оборудования.

Учетными данными в системе ТО оборудования являются:

- число отказов по деталям, причинам и видам отказов, видам ремонта;
- время устранения отказа; вид простоя оборудования;
- численность дежурного и ремонтного персонала;
- число точек диагностирования; наработка на отказ;
- характеристики материала деталей; для цеха – производственная программа;
- технологические нагрузки и т.п.

На основании учетных данных выполняются функции анализа, принятия решений, планирования, прогнозирования, которые образуют контур регулирования. Функция принятия решений предназначена для выбора оптимального решения проблемных ситуаций, связанных с нарушением нормальной работы объекта управления. Реализация предложенных мероприятий осуществляется функцией регулирования. Блок планирования предусматривает расчет ресурсов, необходимых для функционирования системы в целом.

Контрольная функция обеспечивает сравнение плановых и учетных показателей объекта управления и анализ влияния принимаемых решений на состояние системы. Этот блок образует контур контроля. В случае расхождения показателей происходит переход в контур регулирования, и дополнительные рекомендации передаются на ОУ. Наличие контура контроля обеспечивает оперативное управление системой ТО.

Функционирование ЭС основано на постоянном взаимодействии: человека (лица, принимающего решение, – ЛПР), программно-аппаратного комплекса, и ОУ, с которыми связаны задачи по принятию решений [6].

Эффективность решений определяется множеством факторов, влияние которых неоднозначно. Но в целом можно считать, что основными являются компетентность и опыт работы, принимающего решение, степень информированности ЛПР, степень непосредственного участия ЛПР в реализации решений (рис. 1).

Основным критерием эффективности решений может служить отношение полученного в результате его реализации эффекта, выраженного показателем степени достижения цели к затратам его осуществления.

Повышение эффективности управления обусловлено ростом эффективности решений на всех уровнях иерархии. Так как принятие решений представляет собой основной инструмент управляющего воздействия.

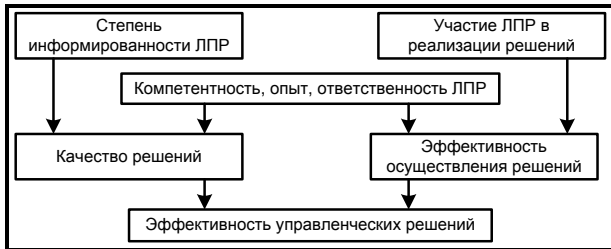


Рис. 1. Факторы повышения эффективности принятия решений

Цикл работы системы начинается с формулировки проблемы, связанной с ОУ. Общение ЛПР и системы осуществляется в диалоговом режиме. Получив составленное ЛПР описание проблемной ситуации, ЭС приступает к автоматическому поиску ее решения.

Выполнение функции принятия решений ЭС можно представить как ряд логических взаимосвязанных шагов, соответствующих задачам, решаемым системой ТО:

- оценка состояния системы ТО оборудования;
- определение целей и критериев эффективности;
- выработка решения;
- принятие решений;
- реализация решений;
- оценка результатов.

Основу ЭС составляет база знаний, в состав которой входят модели учета данных:

- о надежности оборудования, производственной программе;
- ресурсах ремонтной службы;
- расчете экономических показателей;
- выборе решений;
- организации и выполнении диагностических работ;
- планировании ремонтно-профилактических работ;
- организации и проведении технического обслуживания оборудования.

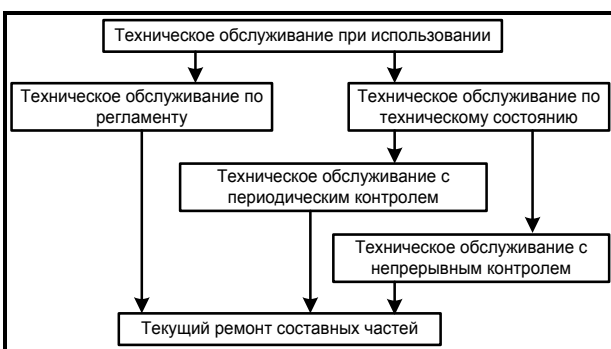


Рис. 2. Модель функционирования системы технического обслуживания

Модель функционирования системы технического обслуживания включает (рис. 2):

- техническое обслуживание при использовании;
- техническое обслуживание по регламенту;
- техническое обслуживание по техническому состоянию;
- техническое обслуживание с периодическим контролем;

- техническое обслуживание с непрерывным контролем;
- текущий ремонт составных частей.

Эффективность системы ТО в значительной степени зависит от эффективности технологического оснащения работ по ТО.

Эффективность и качество работ по техническому обслуживанию в значительной степени зависят от полноты и качества информационной поддержки этих работ. ПС представляют собой функционально сложные системы, для поддержания требуемого уровня готовности, которых необходимы сведения по их проектному исполнению, особенностям конструктивно-технологической реализации, уровню ремонтпригодности составных частей, особенностям технологических процессов контроля их технического состояния и ремонта. Формирование информационных массивов для эффективной информационной поддержки работ по техническому обслуживанию и ремонту представляет собой трудоемкая работа.

Всю совокупность сведений, необходимых для информационной поддержки работ по ТО, можно отнести к информации – знания и данные. Используемые в составе информационных систем системы представляют собой базы знаний и базы данных. База знаний – это база данных, содержащая формализованную и соответствующим образом структурированную информацию о человеческих знаниях и имеющемся опыте в соответствующей предметной области. В свою очередь база данных представляет собой совокупность специальным образом организованных данных, накапливаемых и хранимых в памяти вычислительной системы, отображающих состояние объектов и их взаимосвязей в соответствующей предметной области.

Данные, формируемые и хранящиеся в базе данных в целях информационной поддержки работ по ТО, структурируются в целях удобства их использования для автоматизации управления соответствующими технологическими процессами. В основе структурирования данных лежит архитектура изделия, формализуемая в виде схемы деления данного типа изделия.

Интеллектуализация задач управления позволяет значительно повысить эффективность работы детерминированных систем управления за счет оптимизации алгоритмов управления.

Интеллектуализация интегрированной системы управления (СУ) процессом получения и нанесения тонких пленок сплавов и соединений для преобразователей с использованием динамической ЭС позволяет:

- произвести экспертный анализ исходной технологической информации;
- оценить текущую технологическую ситуацию;
- сформировать необходимое управляющее воздействие.

СУ является иерархической системой, в которой реализация функций системы осуществляется совместно персоналом и комплексом технических средств управления.

Нижний уровень системы – уровень местного контроля и управления технологическими процессами в агрегатах, реализуемый при помощи комплекса местных контрольно-измерительных приборов.

Средний уровень системы – уровень централизованного контроля и управления режимами технологических процессов. Реализуется операторами пунктов управления на базе средств дистанционного контроля путем управления агрегатами с использованием вычислительных устройств.

Верхний уровень системы – уровень оперативно-диспетчерского управления цехом осуществляется руководством цеха и начальниками смен на базе локальной компьютерной сети и средств оперативно-диспетчерского управления.

Это позволяет улучшить показатели экономического состояния предприятия:

- использование оборудования за счет уменьшения простоев, выяснение причин и увеличение загрузки оборудования;
- использование материальных ресурсов за счет эффективного применения их в процессе производства;

Улучшение этих показателей приводит к снижению издержек производства и увеличению прибыли.

Предложенные подходы позволят обеспечить устойчивое развитие предприятия, разработать оптимальную структуру технологических процессов для поддержания устойчивого их функционирования, осуществлять системный подход к управлению процессами, решить задачи увеличения объемов выпускаемой продукции и повышения конкурентоспособности изделий.

Эффективность системы управления определяется через результаты функционирования управляемого объекта, т.е. по степени достижения поставленной цели. При этом оценка уровня управления осуществляется на основе объема производства продукции и уровня рентабельности. Это позволяет находить эффективные решения при прогнозировании качества изделий по завершении ТП, выборе оптимальных технологических параметров установок и т.д.

Система управления обеспечивает оперативный контроль состояния производственного оборудования и координация исполнения планов ТО, что позволяет эффективно функционировать производственной системе предприятия в целом. Система позволяет существенно сократить расходы на ТО производственного оборудования, увеличить его загрузку, оптимизировать затраты, повысить эффективность производства и качество выпускаемых изделий.

## Литература

1. Галушкин А.И. Основы нейроуправления [Текст] / А.И. Галушкин // Информационные технологии (приложение к журналу). – 2002. – №10.
2. Головкин В.А. Нейроинтеллект: теория и применение [Текст] : в 2 кн. / В.А. Головкин. – Брест: БПИ, 1999. Кн. 1 : Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями. – 1999.
3. Горбатов В.А. Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика [Текст] / В.А. Горбатов. – М. : Наука, Физматгиз, 2000.
4. Демиденко Е.З. Оптимизация и регрессии [Текст] / Е.З. Демиденко. – М. : Наука, 1989.
5. Еременко Ю.И. Об интеллектуализации задач управления металлургическими процессами [Текст] / Ю.И. Еременко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2002. – №9. – С. 6-9.
6. Информационные системы в экономике [Текст] / под ред. В.В. Дика. – М. : Финансы и статистика, 1996.
7. Красовский А.А. Динамика непрерывных самонастраивающихся систем [Текст] / А.А. Красовский. – М. : Физматгиз, 1963.
8. Мустафаев М.Г. Повышение качества функционирования технологических объектов и оптимизация производственных процессов [Текст] / М. Мустафаев // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях : межвузовский сб. – Бийск : АлтГТУ, БТИ, 2011. – Вып. 1. – С. 70-72.
9. Мустафаев М.Г. Совершенствование управления технологической системой при производстве изделий [Текст] /

- М. Мустафаев // Электронные средства и системы управления : мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Томск : В-Спектр, 2010. – Ч. 2. – С. 68-72.
10. Харкевич А.А. Избранные труды [Текст] / А.А. Харкевич. – М. : Наука, 1973.

## Ключевые слова

Управление; эффективность; процесс; система; объект; техническое обслуживание; модель; алгоритм; информация; подход; качество.

*Мустафаев Марат Гусейнович*

*Мустафаева Джамия Гусейновна*

## РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность темы. Повышение эффективности функционирования производственной системы является актуальным направлением исследований.

Научная новизна и практическая значимость. В работе рассмотрены различные подходы управления производственной системой. Показана возможность совершенствования производственной системы и обеспечения выпуска продукции высокого качества.

Поставлены и решены задачи формирования эффективной системы управления производственным процессом и функционирования производственной системы в процессе создания продукции. Предлагаемые подходы позволяют оптимизировать затраты при производстве продукции и повысить эффективность производства.

Заключение. Статья отвечает требованиям, предъявляемым к научным публикациям.

Статью рекомендую опубликовать в открытой печати.  
*Козырев Е.Н., д.э.н., профессор зав. кафедрой электронных приборов Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета)*