

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

## **СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

**Составители Е.И. Громаков, А.Ю. Зарницын, А.А. Филипас**

Издательство  
Томского политехнического университета  
2023

УДК 658.5:005.5(075.8)

ББК 65.050я73

С40

С40

**Системы управления процессами** : учебное пособие / сост. Е.И. Громаков, А.Ю. Зарницын, А.А. Филипас ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2023. – 161 с.

В учебном пособии изложены основные идеи, связанные с использованием автоматизированных информационных систем для управления технологическими и производственными процессами. Рассмотрены основные понятия процессного управления и цифровизации производств.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 15.03.04, 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

**УДК 658.5:005.5(075.8)**

**ББК 65.050я73**

*Рецензенты*

Директор общества с ограниченной ответственностью

«Научно-техническая компания АККО»

*В.В. Курганов*

Заместитель главного технолога АО «ТЭМЗ»

*В.А. Фролов*

© Составление. ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2023

© Громаков Е.И., Зарницын А.Ю.,

Филипас А.А., составление 2023

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ПРОЦЕССЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ. ВИДЫ .....	6
2. СИСТЕМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ. АРХИТЕКТУРА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ .....	18
3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ .....	28
4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТИПА MRP .....	39
5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТИПА ERP .....	52
6. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТИПА MES .....	63
7. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	71
8. УПРАВЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОЦЕССОВ.....	81
9. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ .....	89
10. ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА.....	100
11. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ .....	109
12. УПРАВЛЕНИЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.....	120
13. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ АГЕНТОВ .....	133
14. ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	158
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	159

## ВВЕДЕНИЕ

Процессная деятельность – это объективная реальность, в которой работник или группа работников посредством набора действий выполняют работу для достижения установленных целей. При изучении логики процессов особое место занимает автоматизированный подход к их управлению.

Системы автоматизации управления процессами непрерывно развиваются. Сегодня предприятию уже недостаточно одной автоматизированной системы управления (АСУ) технологическим или производственным процессом. Ему нужны дополнительные возможности для оперативного автоматизированного управления предприятием и его производственными процессами с целью повышения эффективности управления, информационной поддержки жизненного цикла продукции производственного процесса. И это можно реализовать на базе автоматизированных технологий ERP, MES, CALS.

Новый уклад промышленного производства, декларируемый как Industry4, ориентируется на глубокую цифровизацию производства. Внедрение современных интегрированных компьютерных систем управления процессами формирует у бизнеса ожидание синергетического экономического эффекта в реализации процессной деятельности. Новые технологии строятся на основе комплексного использования информационных технологий.

Переход от разобщенных технических инфраструктур к экосистемным платформам открывает совершенно новые технологии управления процессами – на основе цифровых двойников, которые формируют перспективный мост между физической сущностью процессов и их продолжением в виртуальном мире, где программные агенты осуществляют управление физическими сущностями с использованием методологий искусственного интеллекта.

Как пишут аналитики компании Gartner, уже в ближайшие годы технологии искусственного интеллекта (AI) будут повсюду. Футурологи предвещают, что уже скоро все рабочие в промышленных цехах будут в отдельном комфортном помещении нажимать на кнопки, удаленно управляя работой плавильных печей, дистанционно добывать нефть и газ и затем транспортировать их заказчику.

Цифровые технологии становятся все менее человекоцентричными. Такие технологии расширяют возможности инфраструктур управления процессами, расширяют производственные пространства, где нет человека, и позволяют ему «умнее» жить и творчески работать. К подобным технологиям относят автономные сенсорные сети, интернет вещей, самонастраивающиеся и самовосстанавливающиеся системы, умная пыль, Big Data, киберфизические системы. Популярность облачных вычислений и многочисленных вариаций этой технологии дают компаниям доступные и почти безграничные вычислительные мощности.

Этот тренд представлен такими новыми технологиями, как 5G-телекоммуникации, нейросетевые вычисления, обработка больших данных.

Авторы пособия выражают признательность всем специалистам, кто предоставил свои публикации и исследования по автоматизированному управлению процессами для открытого использования в Сети.

## 1. ПРОЦЕССЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ. ВИДЫ

Слово «процесс» произошло от латинского слова *processus* и означает:

- ход какого-либо явления, последовательную смену состояний, стадий развития и т. д.;

- совокупность последовательных действий для достижения какого-либо результата.

Таким образом, процесс – это изменение состояния одного или нескольких объектов окружающего мира, например продукции, документов, информации, и последовательность действий одного или нескольких субъектов, направленных на достижение результата [1].

Во второй посылке речь идет о действиях одного или нескольких существей, не обязательно человека, направленных на достижение результата.

Различают:

- *Технологический процесс* – это связанный набор действий, которые изменяют физико-химические свойства материалов, геометрические формы, размеры, относительное положение элементов деталей, качество поверхности, внешний вид объекта производства, преобразуют исходный материал и информацию в выходной продукт (услугу) в соответствии с предварительно установленными регламентами (правилами) [2].

- *Производственный процесс* – это совокупность всех действий, в результате которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовую продукцию (изделия).

- *Бизнес-процесс* – совокупность процессов, порождающих производственный процесс на всем его жизненном цикле, начиная от закупки сырья, привлечения финансов и заканчивая производством, сбытом и утилизацией производственной продукции.

*Управлять процессом* – значит предпринимать определенные усилия, воздействия на процесс для достижения установленных целей производства. Очевидно, что без управления процессы не достигнут установленных целей. Любым процессом, любой деятельностью необходимо управлять.

*Функции процесса* – это действие или набор действий, выполняемых над исходной сущностью процесса с целью получения заданного результата.

*Процедура* – это процесс нижнего уровня, содержащий последовательность конечных (не требующих дополнительной детализации) действий (функций) [3].

*Операция (работа)* – это элементарное действие, выполняемое в рамках рассматриваемого процесса.

*Управление процессами* является целенаправленной деятельностью с обратной связью, которая обеспечивает достижение установленных целей

взаимосвязанных процессов с помощью управляющих воздействий, вырабатываемых некоторым субъектом управления [45].

Системы управления процессами на предприятии (СУП) – это системный подход при проектировании, выполнении, измерении, мониторинге и контроле как автоматизированных, так и неавтоматизированных процессов, обеспечивающих его деятельность.

Различают следующие виды управления (рис. 1.1):

- функциональное,
- процессное,
- киберфизическое.



Рис. 1.1. Функциональный и процессный подходы при управлении деятельностью

**Функциональное управление** процессами рассматривает производство как набор функций (от лат. *functio* – совершение, исполнение). В функциональной модели функция не имеет временной последовательности и связывает между собой выход и вход. Критериальной основой такой модели деятельности

является результативность. Суть функционального управления – строгий контроль «управляющего» за исполнением функций процесса.

Недостатками функционального управления являются [45]:

- трудность поддержания системообразующих взаимосвязей между различными функциональными службами развиваемого производства;
- сниженная ответственность исполнителей за удовлетворение требований потребителя услуги (работы);
- доминирование в работе менеджмента оперативных проблем: «текучка» доминирует над стратегической задачей;
- слабые горизонтальные связи между подразделениями, что ведет к перекладыванию ответственности исполнителями, в частности при решении производственных задач, требующих участия нескольких подразделений;
- недостаточная гибкость и приспособляемость к изменению ситуации;
- формирование большого числа уровней управления между исполнителями и лицами, принимающими решение;
- повышенная зависимость результатов работы от компетенций, личных и деловых качеств менеджеров.

**Процессное управление** – это последовательность действий, выполняемая для получения установленного результата. Процессный подход рассматривает любую деятельность как совокупность взаимосвязанных процессов, выполнение которых направлено на результат, имеющий ценность для потребителя. При процессном управлении предполагается, что каждый исполнитель четко понимает свою работу, что и за какой период он должен сделать для того, чтобы процесс, в котором он участвует, привел к желаемому результату.

Таким образом, формируется четкая прозрачная структура осуществления деятельности, где каждый знает свои функции и их роль в реализации процессов компании, направленных на достижение поставленных целей [5].

Процессное управление обеспечивает децентрализацию в управлении с одновременной централизацией принятия решений менеджментом. При таком подходе ресурсам делегируются полномочия для выполнения конкретных функций или процедур, а информация предоставляется ресурсам централизованно на основании прав, которыми данные ресурсы обладают.

Процессное управление не дееспособно при отсутствии автоматизированных информационных систем. Внедрение процессного подхода должно сопровождаться параллельным внедрением информационных технологий, автоматизирующих выполнение процессов [6].

**Киберфизическое управление.** Для работы умных фабрик требуются самые разные технологии автоматизированного управления деятельностью. Среди них киберфизическая система (CPS) является чрезвычайно



перспективной программно-аппаратной технологией нового промышленного уклада Industry 4.0 и важнейшим компонентом смарт-фабрики.

CPS состоит из сотрудничающих кибернетических и физических объектов. Выполнение процессов осуществляется физической средой, управляемой кибернетическим миром посредством использования интернет-среды.

CPS включает в себя физические системы (такие как оборудование, здания, транспортные средства и медицинские устройства) со встроенными контроллерными средствами, интернет-сервисы, логистические, координационные и управленческие процессы, использующие модельные представления физических объектов.

Киберфизическое управление позволяет построить интеллектуальные фабрики, деятельность которых осуществляется в цифровой информационной среде [7].

Основными аргументами для перехода к процессной структуре и системе управления процессами являются следующие:

- прозрачность выполнения деятельности способствует повышению удовлетворенности потребителей;
- определение границ рассматриваемого процесса, его поставщиков и потребителей позволит обеспечить их лучшее взаимодействие и понимание требований, которые следует удовлетворить;
- при управлении целостным процессом снижается риск субоптимизации.

Системность управления процессами позволяет создать лучшие условия для контроля времени выполнения работ и ресурсов [8].

Под системным подходом к автоматизированному управлению процессами обычно понимают:

- методологию реорганизации и оптимизации процессов, направленную на управление деятельностью путем непрерывной оптимизации процессов через реализацию замкнутого цикла их моделирования, исполнения и анализа;
- модельное описание процесса;
- кибернетический инструментарий, преобразующий модель процесса в исполняемую форму реализации процесса.

Деятельность по моделированию процесса обычно предполагает необходимость его изменения или выявления проблем, подлежащих исправлению. Моделирование процесса направлено на повышения его эффективности и качества. Предназначено для эффективного взаимодействия всех участников процесса и позволяет контролировать выполнение заданий как по времени, так и по качеству в соответствии с заранее определенными критериями, помогая исполнителю процесса преодолеть результаты отклонений, возникающих в ходе его выполнения (рис. 1.2) [4].

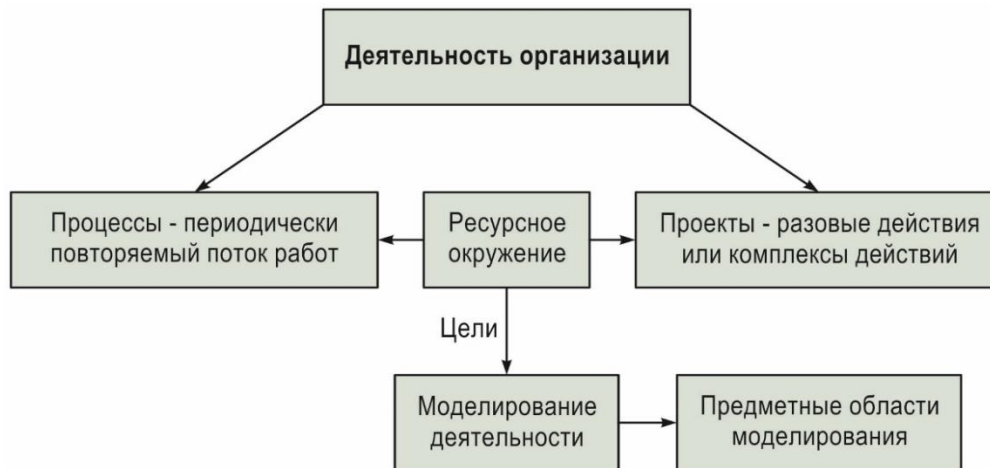


Рис. 1.2. Управление деятельностью организации с использованием ее модели

Можно говорить, что модель процесса дает картину происходящего в реальном мире и система управления процессом строится на основе этой модели [9].

В последующем исполняемая часть процесса должна реализовывать полный и точный алгоритм управления СУП в модельном понимании реальности. Поэтому модель должна отражать все возможные сценарии исполнения процесса.

Управление собственно процессами есть деятельность, направленная на преодоление отклонений, возникших в ходе исполнения процесса. Оно включает выявление отклонений в каждом производственном задании, выяснение причин их возникновения, выработку действий по их корректировке. СУП помогает осуществлять управление на разных уровнях принятия решений: технологическом, производственном и общеорганизационном.

В общем случае СУП можно рассматривать в виде совокупности взаимосвязанных управленческих процессов и объектов. Обобщенной целью автоматизации управления является повышение эффективности использования потенциальных возможностей предприятия в целом.

Различают автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированные системы управления производственными процессами (АСУ ПП) и автоматизированные системы управления бизнес-процессами (АСУ БП), которые в большинстве случаев называют информационными системами управления.

Под АСУ ТП понимается комплекс аппаратных и программных средств, а также персонал, предназначенный для управления различными операциями в рамках технологического процесса.

Важнейшая задача АСУ ТП – повышение эффективности управления технологическим объектом на основе роста производительности труда и

совершенствования методов планирования процесса управления с использованием АСУ ТП.

АСУ ТП обеспечивает:

- предоставление лицу, принимающему решение (ЛПР), релевантных данных для принятия решений;
- ускорение выполнения отдельных операций по сбору и обработке данных;
- снижение количества решений, которые должно принимать ЛПР;
- повышение оперативности управления;
- снижение интеллектуальных затрат ЛПР на выполнение вспомогательных процессов [10].

Современные АСУ ТП представляют собой многоуровневые человеко-машинные системы управления (рис. 1.3).

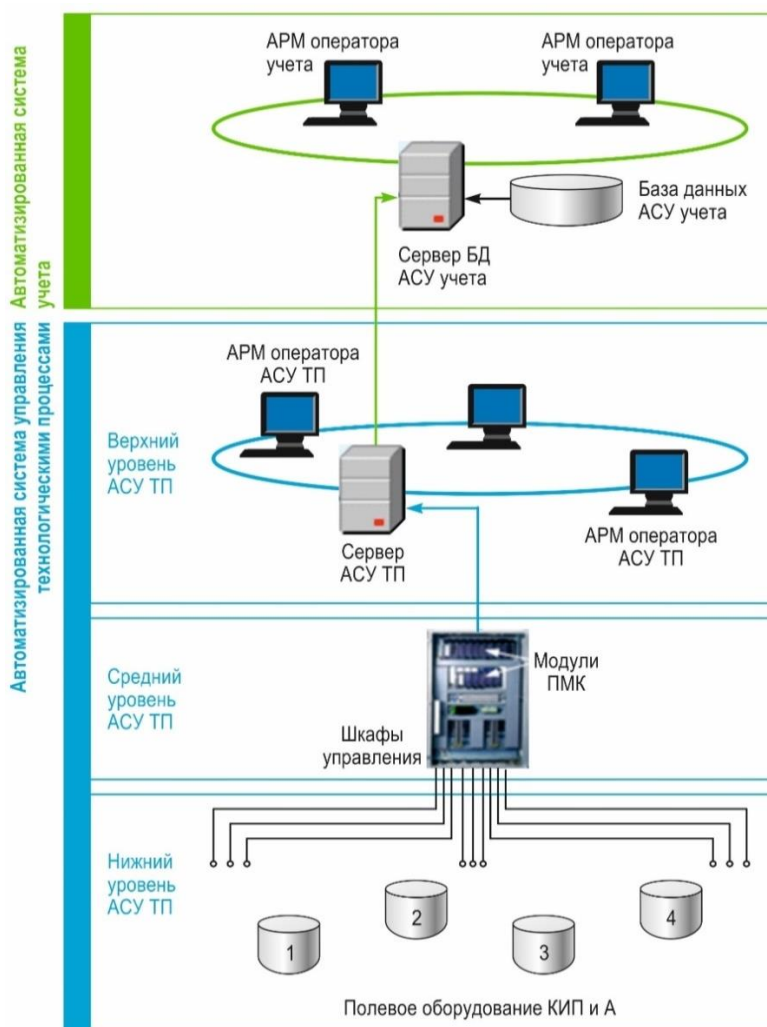


Рис. 1.3. Многоуровневая система управления процессами (АСУ ТП)

Первый (нижний, или полевой) уровень системы автоматизации включает контрольно-измерительные приборы и автоматику (КИПиА), а также

исполнительные устройства управления, пульты сигнализации и местного управления которые расположены на территории терминала.

Второй (средний) уровень состоит из двух подсистем:

- программируемых контроллеров, управляющих в реальном масштабе времени телекоммуникацией данных и технологическим процессом;
- подсистемы противоаварийных защит (ПАЗ).

Для связи с технологическими объектами управления предусмотрены программируемые логические контроллеры (ПЛК). ПЛК монтируются в шкафах автоматики управления и, как правило, размещаются в помещении операторной.

ПЛК обеспечивают:

- сбор информации с полевого оборудования, входящего в АСУ ТП;
- обработку и передачу информации о состоянии объектов на верхний уровень системы;
- автоматическое регулирование и управление технологическим оборудованием и контроль его работы;
- прием информации с верхнего уровня управления и формирование управляющих воздействий на электроприводы исполнительных механизмов.

Третий (верхний) уровень включает:

- автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов на базе персональных компьютеров со SCADA-системой операторского управления;
- серверы различного назначения, если объем автоматизации процессов большой [11].

Управление без участия человека осуществляется системой автоматического управления (САУ). Автоматизированная система управления (АСУ) предполагает участие человека (оператора) в управлении процессом в той или иной мере.

Структурная схема взаимодействия АСУ и САУ отражена на рис. 1.4.

САУ, показанная на рисунке справа, обеспечивает стабилизацию процесса или изменение его параметров по заданному закону. Такой порядок выполнения действий направлен на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта в соответствии с заданной целью управления без непосредственного участия человека.

Автоматическая стабилизация и регулирование процессов представляет собой поддержание некоторой заданной величины, характеризующей процесс, на заданном постоянном уровне путем измерения параметров состояния объекта или действующих на него возмущений и воздействия на регулирующий орган объекта [12].

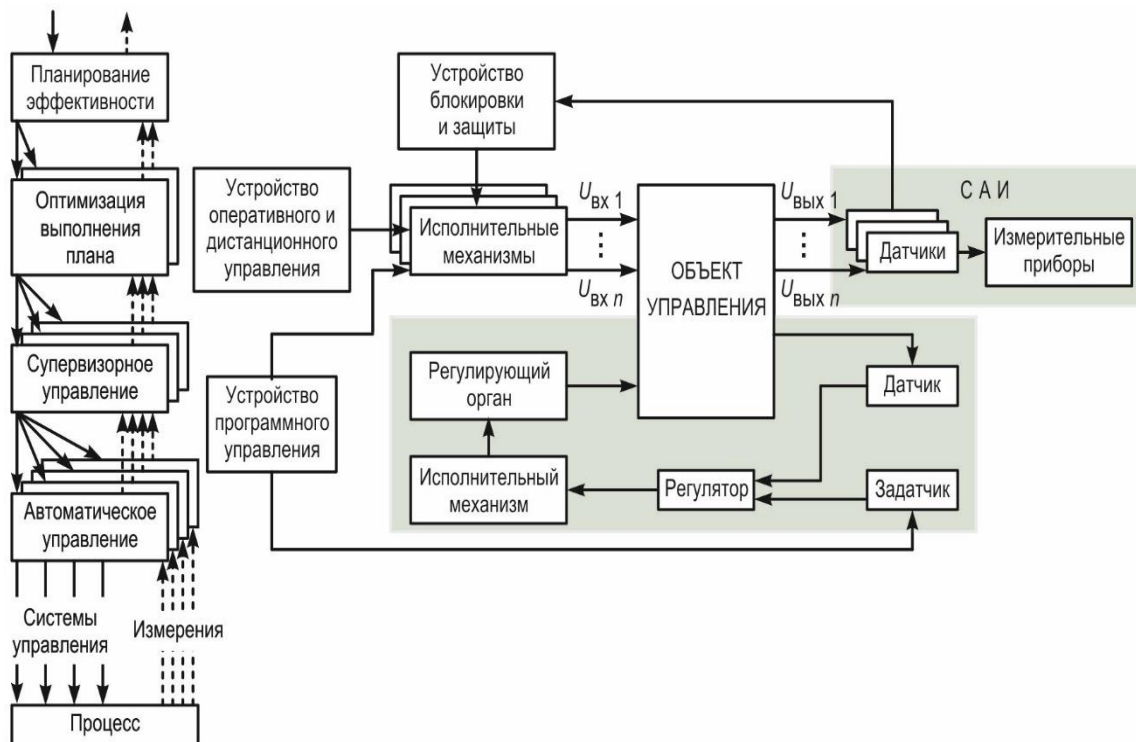


Рис. 1.4. Структурная схема взаимодействия АСУ и САУ

Автоматическое управление процессами широко применяется во многих технических системах для выполнения операций, не осуществимых человеком в связи с необходимостью переработки большого количества информации в ограниченное время, для повышения производительности труда, качества и точности регулирования, освобождения человека от управления системами, функционирующими в условиях относительной недоступности или опасных для здоровья [13].

Такая автоматизация позволяет:

- повысить производительность и качество работы;
- освободить человека от непосредственного участия в управлении процессом;
- управление процессами в недоступных для человека условиях.

В общем случае в состав АСУ ТП входят различные САУ (система автоматического измерения, система автоматической защиты, система автоматического регулирования и др.), то есть возникает иерархическая кибернетическая система управления, где наверху иерархии осуществляется оценка эффективности и определение возможности ее достижения, а внизу – системы автоматического регулирования, которые получают задания от верхнего уровня управления (рис. 1.5).

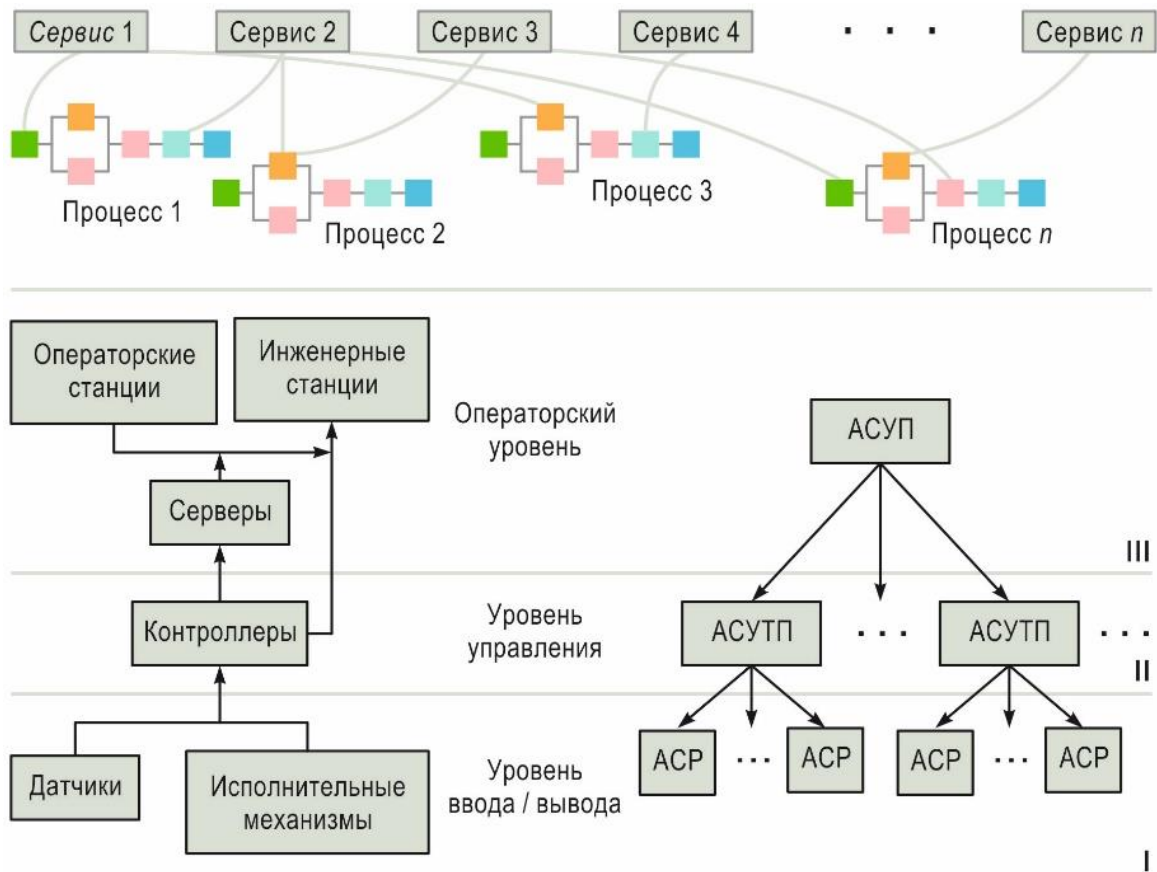


Рис. 1.5. Пример архитектуры СУП

СУП, реализованная в виде централизованной структуры, осуществляет управление процессами из единого центра управления, в который поступает необходимая для управления информация и где на основе ее анализа в соответствии с критериями принятия решений вырабатываются управляющие действия. Ограниченное применение этого класса структур связано с увеличением числа контролируемых, регулируемых и управляемых параметров и, как правило, с территориальной рассредоточенностью объекта управления.

Достоинствами централизованной структуры являются:

- достаточно простая реализация процессов информационного взаимодействия;
- возможность оптимального управления системой в целом;
- достаточно легкая коррекция оперативно изменяемых входных параметров;
- возможность достижения максимальной эксплуатационной эффективности при минимальной избыточности технических средств управления [14].

Распределённая система управления (*Distributed Control System, DCS*) – это система управления технологическим процессом, отличающаяся построением распределённой системы ввода-вывода данных с децентрализацией их

обработки. Такого рода системы характеризуются наличием ряда иерархически, функционально, структурно связанных центров принятия решений.

Распределенная система имеет следующие характеристики, отличающие ее от сосредоточенной:

- большее быстродействие благодаря распределению задач между параллельно работающими процессорами;
- повышенная надежность (отказ одного из контролеров не влияет на работоспособность других);
- устойчивость к сбоям;
- более простое наращивание или реконфигурирование системы;
- упрощенная процедура модернизации;
- сравнительная простота проектирования, настройки, диагностики и обслуживания;
- улучшенная помехоустойчивость и точность благодаря уменьшению длины линий передачи аналоговых сигналов от датчиков к устройствам ввода;
- меньший объем кабельной продукции, пониженные требования к кабелю и более низкая его стоимость;
- меньшие расходы на монтаж и обслуживание кабельного хозяйства [15].

*Иерархическая СУП* представляет собой структуру, где множество устройств и необходимые для управления средства программного обеспечения организованы в виде дерева взаимодействующих процессов.

Иерархический принцип управления заключается в многоступенчатой организации процесса управления, где каждая ступень управления имеет свои объекты и цели управления.

При структурной реализации иерархических СУП, когда связи в дереве принятия решений реализуются с использованием компьютерной сети, иерархическая система управления принимает вид сетевой системы управления.

Сетевые системы управления (*NCS*) – это управление сетевой структурой взаимосвязанных и взаимодействующих процессов предприятия, включающих в себя все виды деятельности, осуществляемой на предприятии. Контуры такого управления замкнуты через телекоммуникационную сеть связи. Отличительной чертой *NCS* является то, что компоненты системы управления обмениваются *сервисами* отдельных активов, составляющих сеть процессов, и сигналами обратной связи через коммуникационную сеть в форме информационных пакетов. Наиболее важной особенностью *NCS* является то, что она соединяет цифровую среду с физической, позволяя выполнять разные задачи удаленно на большом расстоянии. Благодаря эффективному обмену данными между контроллерами и серверами, такие системы могут объединять обширную информацию для принятия интеллектуальных решений в условиях больших физических пространств.

**Тестовые задания (что не предполагает такой вариант, как дополнение перечня! Переформулировать такого типа задания по тексту)**

1. Какие процессы на предприятии подлежат автоматизированному управлению?

- а) повышение рентабельности, контроль качества, управление персоналом;
- б) технологический, производственный процесс, бизнес-деятельность;
- в) лекции по охране труда и пожарной безопасности;
- г) экономия ресурсов, увеличение производительности труда, выполнение должностных инструкций, действия оперативного персонала.

2. Процессный подход управления производством – это...

- а) подход к управлению, основывающийся на концепции, согласно которой управление есть непрерывная серия взаимосвязанных действий или функций;
- б) информационный способ организации и управления деятельностью с целью создания ценности для потребителя и других заинтересованных сторон;
- в) функциональный способ управления деятельностью путем строгого подчинения руководству производства;
- г) киберфизическое управление с целью повышения общей эффективности производства.

3. Что включает первый (полевой) уровень АСУ?

- а) программируемые контроллеры, управляющие в реальном масштабе времени технологическим процессом;
- б) контрольно-измерительные приборы и автоматику (КИПиА), а также исполнительные устройства управления, пульта сигнализации и местного управления, которые расположены на территории терминала;
- в) автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов на базе персональных компьютеров со SCADA-системой операторского управления и сервера ввода/вывода;
- г) подсистему противоаварийных защит (ПАЗ, сервер баз данных (БД), обслуживающий каналы контроля).

4. Что включает второй уровень АСУ?

- а) программируемые контроллеры, управляющие в реальном масштабе времени технологическим процессом. Подсистему противоаварийных защит;
- б) контрольно-измерительные приборы и автоматизацию (КИПиА), а также исполнительные устройства управления, пульта сигнализации и местного управления;
- в) автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов на базе персональных компьютеров со SCADA-системой операторского управления и сервера ввода/вывода;
- г) корпоративный информационный сервер и сервер баз данных (БД).



5. Что включает третий уровень АСУ?

а) программируемые контроллеры, управляющие в реальном масштабе времени технологическим процессом;

б) подсистему противоаварийных защит (ПАЗ);

в) контрольно-измерительные приборы и автоматизацию (КИПиА), а также исполнительные устройства управления, пульты сигнализации и местного управления которые расположены на территории терминала;

г) сервер баз данных (БД), автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов на базе персональных компьютеров со SCADA-системой операторского управления и сервера ввода/вывод.

## 2. СИСТЕМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ. АРХИТЕКТУРА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Производство – это объективная реальность, где осуществляется процессная деятельность для достижения общих целей. Существует множество логик управленческих действий с процессами. При проектировании таких логик особое место занимает системный подход к управлению процессами. При этом ряд ведущих специалистов отмечают природную «податливость» производственных процессов на управляющие действия менеджеров и системных интеграторов.

Как только, исходя из логики принятого способа управления процессом, начинается его расчленение с использованием СУП и реконструирование, как только реализуется модельное описание и выполняются управленческие действия над физической реальностью процесса, в нем немедленно создается нечто новое, отражающее решение задач менеджмента.

Физическая реальность как бы услужливо прогибается, решая поставленные задачи. «Она напоминает Душечку из одноименного рассказа Чехова или мыслящий океан Солярис» [49]. Это наводит на мысль о возможном «ментальном сотрудничестве» людей и физической, процессной реальности при использовании наиболее эффективных процессных технологий.

Проектирование автоматизации промышленного производства как системы управления, решающей установленные задачи, обеспечивает рост конкурентоспособности предприятия. Очень часто предприятия разрушаются именно в силу отсутствия СУП. Для системного управления процессами, прежде всего, необходимо правильно представлять структурную совокупность процессов предприятия.

Процессная структура предприятия объединяет множество бизнес-процессов, участниками которых являются структурные подразделения, технологии, должностные лица иерархической организационной структуры предприятия, взаимодействующие между собой в общей информационно среде. Если представлять производство в виде набора взаимосвязанных процессных структур, то через правильное процессное управление ими будет осуществляться эффективное управление предприятием в целом.

В основу системного представления организаций обычно ставится целостное модельное описание (миссия, архитектура, стратегия и т. д.). Концепция архитектуры предприятия включает в себя такие составляющие, как бизнес-архитектура, архитектура информации, архитектура прикладных систем, технологическая архитектура, и является основой объединения и синхронизации функциональных и бизнес-потребностей организаций с возможностями

информационных технологий в условиях их процессной сложности производства [20]. Эта концепция становится основой процессной организации деятельности предприятия. Процессной деятельностью современного предприятия управляют информационные системы с использованием информационных технологий.

Результатом обобщения опыта разработки архитектуры информационных систем предприятия является матрица Захмана.

Дж. Захман определил архитектуру предприятия как модель, набор описательных представлений, которые применимы для описания предприятия в соответствии с требованиями его менеджмента и которые могут развиваться в течение его жизненного цикла.

Воспользовавшись понятием «архитектура», Дж. Захман в своей работе «Фреймворк для архитектуры информационных систем» показал системную логическую связь внутренней структуры абстрактного предприятия с информационным обеспечением, управляющим им, которую он описал в виде матрицы [46].

Матрица Захмана в применении к информационному обеспечению предприятия представляет собой архитектурное структурирование информационного обеспечения процессов предприятия. Такое системное структурирование выполняется по архитектурным осям (рис. 2.1): ось архитектурных составляющих процессов предприятия соответствует столбцам матрицы Захмана; ось представлений и развертывания информационного обеспечения соответствует строкам матрицы Захмана; ось этапов развития информационной архитектуры предприятия соответствует жизненному циклу информационного обеспечения предприятия».

Обычно этого числа архитектурных осей достаточно для описания архитектуры информационного обеспечения предприятия.

Модель Захмана позволяет достичь двух целей – выполнить логическое разбиение описания архитектуры СУП на отдельные разделы, что позволяет упростить формирование и восприятие информационного обеспечения процессов предприятия, с другой стороны – обеспечить представление архитектуры с выделенных точек зрения и ее составляющих уровней развертывания СУП на предприятии.

Основная полезность такого представления заключается в том, чтобы обеспечить возможность последовательного описания каждой составляющей системы в координации со всеми остальными [28].

Точка зрения/аспект	Цели, мотивы	Данные, объекты	Функции, процессы	Люди (субъекты)	Сеть, инфраструктура	Время
<i>Миссия и стратегия предприятия (заказчик)</i>	Цели высшего руководства	Перечень важных для бизнеса аспектов	Перечень бизнес-процессов	Руководители и структурные подразделения	Перечень систем, сопровождающих бизнес	Основные вехи развития
<i>Концептуальная бизнес-модель</i>	Цели основных субъектов системы	Диаграмма классов	Иерархия функций, модель бизнес-процесса	Владельцы бизнес-процессов и исполнители	Логистические цепочки	Синхронизация бизнес-процессов
<i>Системная модель</i>	Цели в привязке к ролям	Модель данных	Функциональная диаграмма	Архитектура пользовательского интерфейса	Структурная схема системы	Планы-графики развития
<i>Технологическая модель</i>	Цели в привязке к ролям по техпроцессу	Модель документооборота, логистики	Интерфейс пользователя, технологическая карта	Роли в технологическом процессе	Топология сети, планировка участка	Планы-графики деятельности
<i>Детальное представление</i>	Спецификации правил работы	Структура баз данных, спецификация оборудования...	Схема автоматизации, программная документация, код...	Спецификации ролей и прав доступа	Таблицы соединений и подключений, адреса, протоколы...	Системное время
<i>Функционирующая система</i>	Стратегии и тактики предприятия	Актуальные данные, инвентаризационная ведомость...	Исполняемые функции	Структура предприятия	Коммуникации между субъектами и объектами	Реальное время

*Рис. 2.1. Матрица архитектуры информационного обеспечения процессов предприятия*

«Модель, имеющая пять строк и шесть столбцов, представленная в виде матрицы, может использоваться как средство для описания архитектур информационных систем любого типа. Шестая строка соответствует уже не уровню описания архитектуры, а уровню работающей СУП» [46].

Первая строка матрицы соответствует стратегическому уровню планирования процессной деятельности предприятия в целом. На этом уровне вводятся основные понятия, а также формулируется его бизнес-стратегия.

Вторая строка определяет концептуальную модель СУП в терминах процессной структуры предприятия, включающей как производственные, так и вспомогательные процессы.

Третья строка соответствует представлению СУП предприятия в виде логической модели. На этом уровне представления информационного обеспечения СУП процессы описываются в терминах компьютерных систем с использованием различных типов данных и правил их преобразования и обработки.

Четвертая строка – это привязка ИТ-данных и операций над ними к выбранным технологиям реализации СУП. Например, здесь может быть определен выбор типа СУБД.

Пятая строка соответствует детальному представлению СУП, включая конкретные программно-технические средства, топологию сети, поставщика и версию СУБД, инструментальные средства разработки и собственно готовый программный код.

*Первая колонка* таблицы служит для определения задач информационных систем для управления процессами. Исходными являются стратегические задачи деятельности предприятия, которые затем последовательно преобразуются сначала в бизнес-планы, а затем в правила и соответствующие информационные приложения, необходимые для включения в состав информационных систем.

*Во второй колонке* указываются используемые в СУП данные. На верхних уровнях представления СУП выполняется объединение этих данных об объектах с процессами предприятия в модель данных, которые затем объединяются в модель данных и обычно описываются в виде диаграммы «сущности–связи» с отражением наиболее существенных бизнес-ограничений процессов.

*В третьей колонке* детализируется описание функционала СУП и описывается, как реализуется процессная деятельность на уровне отдельных операций. Сначала в этой колонке осуществляется перечисление бизнес-процессов, затем разрабатывается модель бизнес-процессов, которая впоследствии детализируется в операции над данными.

*В четвертой колонке* матрицы устанавливается ответственность работников, выполняющих те или иные задачи. Здесь может быть представлен список уполномоченных СУП и подразделений предприятия и перечислены выполняемые ими функции.

*В пятой колонке* матрицы отражается пространственная инфраструктура СУП, ее сетевая организация и компоненты системы. На верхних уровнях инфраструктуры СУП она представляется как топология всех производственных объектов. Ее объекты объединяются в модель распределенной системы со связями, характеризующими взаимодействие между собой, и осуществляется привязка компонентов информационной системы к узлам сети.

*В шестой колонке* указываются временные характеристики бизнес-процессов и работы системы. Здесь сначала определяются события, вызывающие изменение состояния информационных объектов и инициацию операций над ними. Затем на нижних строках эти события преобразуются в программные вызовы или передаваемые сообщения.

Такое последовательное модельное описание СУП предприятия удобно применять:

- для представления всей информации, описывающей деятельность предприятия и информационные (автоматизированные) системы, необходимые для управления процессами;
- для сравнения различных вариантов реализации архитектур СУП предприятия.

Таким образом, матрица Захмана становится удобным средством при проектировании СУП.

С помощью СУП можно сформировать как стратегию предприятия, так и тактические и оперативные решения по его управлению (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Виды управления в СУП

Стратегическое управление осуществляется на базе принятой предприятием стратегии и установленных соответствующих стратегических целей. Это означает, что сначала на основе анализа и прогноза изменения факторов внешней и внутренней среды разрабатывается стратегия бизнеса предприятия, устанавливаются горизонт планирования стратегии и желаемые стратегические цели, а затем разрабатываются стратегические планы в корпоративном, логистическом, производственном, финансовом, кадровом, экономическом функционалах.

Особенностью стратегического управления является нацеленность производства на перспективу. Планирование стратегических целей устанавливает

использование значительных финансовых, материальных и трудовых ресурсов, поэтому предусматривается поэтапное движение к поставленным целям через систему текущего планирования.

Текущее тактическое управление представляет собой совокупность решений (заданий), направленных на достижение стратегических целей в период годовой, иногда двухлетней деятельности предприятия. С помощью текущего управления процессами обеспечивается последовательное продвижение к намеченным стратегическим характеристикам. По мере поэтапного продвижения к целям учитываются реальные результаты и осуществляется корректировка стратегических целей или их количественных показателей.

В процессе тактического планирования конкретизируются промежуточные цели на очередной плановый период с учетом уже действующих обстоятельств внешней и внутренней среды предприятия, что снижает риск неопределенности стратегического планирования.

Для упорядочения, обеспечения целенаправленности повседневной процессной деятельности предприятия используют оперативное планирование.

Оперативное управление направлено на достижение промежуточных целевых установок процессов, составленных на короткий период (как правило, до месяца). В процессе оперативного управления контролируются дневные, недельные, подекадные и месячные задания и проводится ежедневная диспетчеризация выполнения этих заданий. С помощью оперативных совещаний осуществляются контроль и регулирование деятельности всех работников (или служб) предприятия.

Обеспечивающие подсистемы СУП являются общими независимо от конкретных функциональных подсистем, в которых применяются те или иные виды обеспечения. К ним относятся функциональная структура, информационное, математическое (алгоритмическое и программное), техническое и организационное обеспечение, а также обеспечение трудовыми ресурсами. В таком представлении СУП реализуется в виде замкнутого обратной связью контура управления и может быть описана функциональной структурой, программным и информационным обеспечением. Поведение человека в контуре управления характеризует организационное обеспечение. Автоматизация в контуре управления СУП выполняется математическим и техническим обеспечением.

Функциональная структура СУП представляет собой перечень реализуемых ею функций (задач) и отражает их соподчиненность. Под функцией СУП понимается круг действий, направленных на достижение частной цели управления. Функции СУП реализуются информационным и управляющим обеспечением. Информационные функции, в свою очередь, включают в себя функции централизованного контроля, вычислительных и логических операций (рис. 2.3).

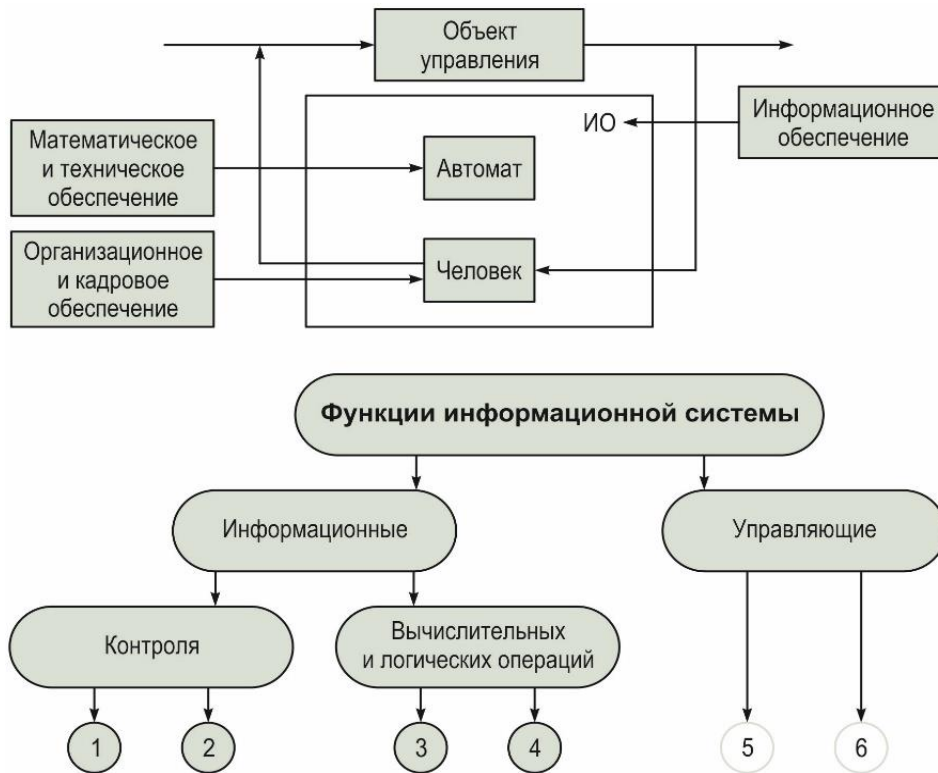


Рис. 2.3. Функциональная структура СУП

Информационное обеспечение СУП – это совокупность средств и методов построения информационной базы данных. Оно определяет способы и формы отображения состояния объекта управления в виде данных внутри информационной системы, документов, графиков и внешних сигналов. Внешнее информационное обеспечение включает в себя: правила классификации и кодирования информации, нормативно-справочную информацию, оперативную информацию, методические и инструктивные материалы. Внутреннее информационное обеспечение предусматривает описание: входных сигналов и данных, промежуточных информационных массивов, выходных сигналов и документов.

В число управляющих функций, в частности, входят: функции поиска и расчета рациональной логики управления; реализации заданных режимов управления.

Основой математического обеспечения СУП являются алгоритмы. Алгоритм – это точное предписание, которое определяет процесс, ведущий от исходных данных к требуемому конечному результату.

Применительно к СУП алгоритм определяет вычислительный процесс, начинающийся с обработки некоторой совокупности возможных исходных данных и направленный на получение определенных этими исходными данными результатов.



Алгоритм подготовки и принятия решений строится по следующей схеме [44]:

- получение исходной информации от управляемого объекта;
- анализ информации;
- выявление проблемной ситуации;
- формирование целей;
- построение модели системы;
- формирование критерия и (или) предпочтения;
- поиск процедуры решения задач;
- выбор решения;
- корректировка решения;
- реализация решения.

*Алгоритмы обнаружения событий.* Поступающую в СУП информацию о событиях, характеризующих функционирование объекта управления, обрабатывают по различным алгоритмам, зависящим от типа входных сигналов: «бинарные сигналы»; «больше или равно эталону»; «меньше или равно эталону»; «зона»; «количественная оценка события». Эти алгоритмы позволяют контролировать состояние процессов.

*Алгоритмы анализа ситуаций* обеспечивают распознавание и классификацию ситуаций, возникающих в процессе, и выявляют соответствующие классы допустимых управляющих воздействий. При этом вырабатываются рекомендации по ликвидации нарушений в ходе процесса и выделяются параметры, по которым в данной ситуации следует оптимизировать производство.

Основой алгоритмов анализа ситуаций являются обычные и временные булевы (логические) функции вида  $f(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$ , где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – логические переменные, полученные в результате анализа состояния [44].

*Алгоритмы подготовки советов и рекомендаций* отвечают за переработку информации и ее интерпретирование. При использовании системы автоматизации в режиме «советчика» совет СУП формируется в виде рекомендаций оператору для обслуживания процесса. Однако он может этими рекомендациями пренебречь и поступать по своему усмотрению. Управление процессом осуществляется с помощью различных программно-аппаратных средств (кнопок, манипуляторов, переключателей и т. п.) с использованием как пультов управления, входящих в состав, например, АСУ ТП, так и экранных форм человеко-машинного интерфейса.

*Расчет технико-экономических показателей в СУП* предназначен:

- для представления оперативному и эксплуатационному персоналу информации об эффективности производственного процесса и его оборудования, что позволяет проводить коррекцию их режимов работы;

- для измерения энергопотребления процессами производства, а также для автоматизации распределения электрических и других нагрузок между параллельно работающими процессами.

### **Тестовые задания**

1. Архитектура информационных систем предприятия – это...

а) набор модельных представлений, которые используются для описания предприятия в соответствии с требованиями его менеджмента и которые могут развиваться в течение его жизненного цикла;

б) информационная модель планирования производственной деятельности с учетом целевых показателей;

в) общее программно-информационное обеспечение на уровнях стратегии, тактики и оперативного управления;

г) информационная система распределения задач по уровням управления с целью повышения управляемости производства.

2. Модель Захмана – это...

а) набор описательных представлений (моделей), которые применимы для описания информационных систем предприятия в соответствии с требованиями управленческого и исполнительного персонала и которые могут развиваться в течение определенного периода;

б) сведения о предприятии в виде структуры его информационных ресурсов, используемых для его управления;

в) архитектура как представление информационной системы с точки зрения каждого из заинтересованных лиц (заказчика, проектировщика, разработчика);

г) представление структуры СУП исходя из возможностей существующей системы управления с разбиением ее на подсистемы.

3. Дополните. Преимущества построения СУП на основе модели Захмана:

а) является универсальным средством описания архитектурных систем любого типа и сложности, что определяется размерами матрицы;

б) является достаточно простой и в то же время предоставляет полноту понимания процессов как техническим, так и нетехническим специалистам;

в) ...

г) ...

3. Выбрать правильные ответы. Архитектура Захмана это ...

а) архитектура бизнеса;

б) архитектура приложений;

в) архитектура данных;

г) технологическая структура производственной деятельности.

4. Что определяет информационное обеспечение СУП?

а) способы и формы отображения состояния объекта управления в виде данных внутри информационной системы СУП, документов, графиков и внешних сигналов;

б) функции управления, объемы, точности и количество представления данных в системе управления;

в) исключительно внутреннюю информацию, необходимую для структурирования данных о производственном процессе;

г) исключительно внешнюю информацию, правила классификации и кодирование информации, нормативно-справочную информацию, оперативную информацию, методические и инструктивные материалы.

5. Выберите продолжение фразы: ИТ-стратегия производственной деятельности определяет...

а) способы и действия, направленные на достижение установленных целей.

б) ресурсы достижения целевого состояния процесса.

в) потребительские качества конечного продукта.

г) спрос на продукт.

6. Дополните. Алгоритм разработки СУП включает:

а) получение исходной информации от управляемого объекта;

б) анализ информации;

в) выявление проблемной ситуации;

г) ...

д) ...

### 3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

Жизненный цикл производственного изделия – это совокупность процессов. Согласно ГОСТ Р 50.1.031–2001 «Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1: Стадии жизненного цикла продукции» жизненный цикл изделия (ЖЦИ) включает ряд этапов развития (рис. 3.1):

- исследование потребности в нем рынка;
- разработка технического задания на изготовление;
- проектирование изделия;
- технологическая подготовка производства;
- изготовление изделия;
- продажа и поставка его заказчику;
- эксплуатация изделия купившим его клиентом;
- техническое обслуживание и ремонт;
- утилизация после исчерпания его ресурсов работы.



Рис. 3.1. Этапы жизненного цикла изделия

Целью исследования потребности рынка в изделии является анализ, прогнозирование спроса на изделие в соответствии с установленными для него техническими характеристиками. Решаемой задачей на этом этапе является определение потребительских требований к изделию.

Затем на основании проведенных исследований и экспертиз, установленных требований к изделию разрабатывается техническое задание, где указываются желаемые характеристики изделия, условия его эксплуатации, область применения, сроки выполнения.

Техническое задание является обязательным документом для выполнения работ по изделию. На этом этапе разрабатывается конструкторская и рабочая документация, выполняются расчеты и модельные исследования. Для испытаний создаются опытные образцы. Целью испытаний является подтверждение установленных ТЗ характеристик изделия.

На этапе процесса подготовки производства осуществляются разработка технологического процесса изготовления изделия, монтаж технологического оборудования и опытный запуск процесса изготовления. На этом этапе подтверждается полная технологическая готовность предприятия к производству нового изделия, устанавливается готовность ресурсного обеспечения производства, рассчитывается себестоимость изделия, подтверждается экономическая выгода продажи изделия после изготовления.

Процесс изготовления изделия – это строгое исполнение установленных регламентов производства, организация необходимой логистики, эффективное использование ресурсов, автоматизация управления и средств производства, направленных на изготовление продукции.

В процессе продажи изделия оно поступает на рынок, где превращается в товар. После поставки изделия клиенту жизненный цикл изделия начинается в условиях его эксплуатации. Понятие «эксплуатация» определяется ГОСТ 25866-83 «как стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество. Эксплуатация изделия включает в себя в общем случае использование по назначению, транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт».

Снятие с эксплуатации, согласно ГОСТ 25866-83, – это «событие, фиксирующее невозможность или нецелесообразность дальнейшего использования по назначению и ремонта изделия и документально оформленное в установленном порядке». На этом этапе выполняется его утилизация с оформлением всех разрешительных документов.

Управление перечисленными процессами можно выполнять с использованием автоматизированной системы CALS.

Первая часть аббревиатуры CALS – Continuous Acquisition [Support] (непрерывный сбор данных) – означает непрерывность информационного взаимодействия процессов подготовки производства изделия, формирования заказа, проектирования, изготовления и т. д.

Вторая часть – Life Cycle Support (поддержка жизненного цикла) – означает информационную (автоматизированную) поддержку всех процессов жизненного цикла изделия (ЖЦИ): процессов эксплуатации, обслуживания,

ремонта и утилизации изделия. Основой построения таких систем могут служить рекомендации стандарта ИСО 15288 и руководства по его применению ИСО 19760 [42].

CALS-технологии – это современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия, обеспечивающая информационные средства управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала (рис. 3.2). Эта технология реализуется в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих правила ЖЦИ – взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [42].



Рис. 3.2. Базовые этапы управления CALS

В результате применения CALS-технологии в СУП повышается качество изготавливаемых изделий за счет более полного учета имеющейся информации при принятии управленческих решений. В силу того, что реализуется единое информационное пространство управления ЖЦИ, упрощается доступ к любой информации об изделии, а также её использование в различных приложениях СУП. Становится проще оптимизировать весь процесс производства. Исключаются согласования при выполнении задач производства на различных этапах жизненного цикла изделия. Сокращаются материальные и временные затраты на производство изделий. В частности, применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объем работ, так как проектная документация ранее выполненных разработок хранится в базах данных сетевых серверов, доступных для новых проектов. Снижаются затраты на эксплуатацию изделия, благодаря передаче клиенту информационного обеспечения, подробной технической и эксплуатационной документации. Облегчается решение проблем технического

обслуживания и ремонта изделия, его адаптация к меняющимся условиям эксплуатации и т. п. Регулярный обзор статистических данных по эксплуатации позволяет непрерывно совершенствовать изделие.

CALS является удачной технологией внедрения современной цифровизации производства [40]. Она обеспечивает:

- представление, обработку, обмен и управление данными в процессах производства и эксплуатации в электронном виде;
- многократное использование информации о ЖЦИ для его совершенствования;
- снижение затрат на его производство и эксплуатацию за счет объединения информации о ЖЦИ, унификации представления, обработки и передачи данных об изделии;
- снижение требований к квалификации работников на всех этапах ЖЦИ.

Ключевая идея автоматизации процессов на основе CALS заключается в создании единой информационной модели разрабатываемого изделия (рис. 3.3). В этой модели каждый участник технологических и производственных процессов ЖЦИ взаимодействует с информацией об изделии, начиная с момента выявления потребности рынка в изделии и заканчивая утилизацией после окончания срока его эксплуатации.



*Рис. 3.3. Информационное пространство управления жизненным циклом изделия*

Терминологический словарь определяет единое информационное пространство (ЕИП) CALS как совокупность распределенных баз данных,

содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, обеспечивающая корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем субъектам производственно-хозяйственной деятельности, участвующим в осуществлении жизненного цикла изделия, кому это необходимо и разрешено [42].

ЕИП CALS, в соответствии с этой концепцией, представляет собой модульную систему, в которой реализуются следующие базовые характеристики CALS:

- прикладные программные средства отделены от данных;
- структуры данных и интерфейс доступа к ним стандартизованы;
- данные об изделии, процессах и ресурсах не дублируются, число ошибок в них минимизируется, обеспечивается полнота и целостность информации.

Прикладные средства работы с данными ЕИП «заточены», как правило, под коммерческие решения производства, что дает возможность дальнейшего совершенствования изделия.

Типовыми этапами создания единого информационного пространства являются:

- автоматизация отдельных процессов ЖЦ;
- интеграция автоматизированных процессов в рамках ЕИП с использованием автоматизированных систем CAE, CAD, CAMB, PDM, MRP, ERP;
- электронное представление информации в процессах производства с возможностью применимости ответственности за счет электронно-цифровой подписи.

Все процессы информационного обмена посредством ЕИП имеют своей целью максимально возможное исключение из деловой практики управления процессами традиционных бумажных документов и переход к прямому безбумажному обмену данными. Преимущества и технико-экономическая эффективность такого перехода очевидны. Это одна из центральных задач современной цифровизации предприятий.

Электронная информация может быть оформлена как в виде базы данных, так и форме электронного документа, задаваемой стандартами электронного обмена.

Однако обе формы представления информации – CALS-база данных (внутреннее представление информации в компьютерной системе) и электронный CALS-документ – не пригодны для восприятия человеком и требуют специальных программных средств визуализации и преобразования данных либо в бумажный документ, либо в экранную форму [47].

Поэтому для исполнения служебных функций работником CALS-информация выводится на экран отдельными файлами и таблицами (при использовании объектно ориентированной СУБД).



Информация в виде электронных документов используется для разработки конструкторской документации, подготовки отчетов, установленных регламентом СУП. Такие документы представляют собой совокупность электронных конструкторских документов и компьютерных моделей (данных и программ для ПК), необходимых для проектирования (разработки), изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации, ремонта, модернизации, утилизации изделия.

Электронный документ используется в качестве формы представления результатов работы, предназначенной для передачи из одной автоматизированной системы ЕИП в другую или для последующей визуализации.

В ЕИП CALS-технологии ключевой задачей является управление данными об изделии (Product Data Management – PDM) (рис. 3.4).

Все данные об изделии в течение его жизненного цикла сохраняются в электронном виде и представляют собой систематизированную информацию о составе и структуре изделия, его проектно-конструкторские решения, задания на проектирование изделия и процессов производства, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, отчетные документы с анализом, корреспонденцию электронной почты, производственные сведения о партиях и отдельных экземплярах изделия и многое другое. Эти описания порождают информационные потоки в СУП.

Совокупность информационных потоков порождает собой документооборот, происходящий в течение ЖЦИ. Такой документооборот, управляемый PDM-системой, называется электронным документооборотом [41].

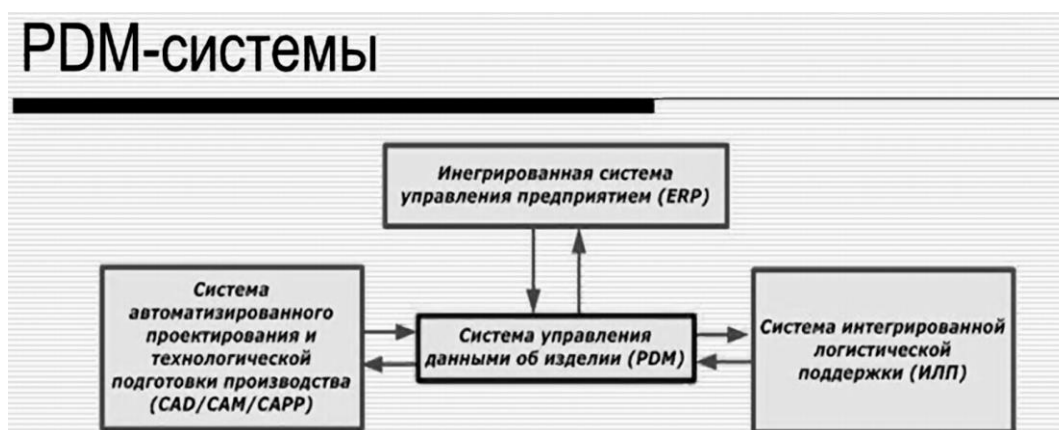


Рис. 3.4. Структурная схема PDM-системы

При решении основных задач CALS по повышению эффективности управления производством и эксплуатации изделия принципиальной является роль PDM-технологии в обеспечении прозрачности и управляемости информационных процессов СУП. При применении PDM-технологии это реализуется путем повышения доступности данных всем участникам ЖЦИ, благодаря

интеграции данных об изделии в логически единую информационную модель производства [41].

Существует много производственных задач, решаемых с помощью PDM-технологии, среди которых можно выделить:

- создание ЕИП для всех подразделений предприятия;
- автоматизация управления конфигурацией изделия;
- построение системы качества продукции на предприятии согласно международным стандартам серии ISO 9000.

Для реализации PDM-технологии используются специализированные программные средства, называемые системами управления данными об изделии. Основным преимуществом использования PDM-системы на предприятии является сокращение времени разработки изделия, то есть выхода изделия на рынок, и повышение его качества. Сокращение времени достигается, в частности, за счет повышения эффективности как процесса проектирования изделия, так и процесса технологической подготовки производства путем [45]:

- избавления разработчика проекта от непроизводительных затрат своего времени, связанных с поиском, копированием и архивированием проектных данных;
- улучшения и углубления информационного взаимодействия между конструкторами, технологами и другими участниками проектных работ, что приводит к сокращению количества проектных поправок;
- значительного сокращения срока внесения изменений в конструкцию изделия или технологию его производства благодаря непрерывному контролю качества;
- увеличения доли заимствованных или слегка измененных компонентов в проектах за счет предоставления нужной проектно-конструкторской информации в короткие сроки.

В системах PDM используются различные типы проектных данных, которое поддерживается их систематизацией, классификацией и соответствующим выделением групп с характерными множествами атрибутов. Такие группы данных появляются за счет описания технических характеристик изделий, их состава и структуры, используемых материалов, нормативных документов, расчетов и результатов анализов, различной электронной корреспонденции и других сведений в зависимости от требований конкретного производственного процесса.

С помощью систем PDM поддерживаются информационные связи не только внутри систем проектирования, но и с производственной и маркетинговой документацией, а также доступ к данным по различным атрибутам навигации в иерархической структуре информации об изделии.

Системное управление ЖЦИ – это управление, которое применяет согласованный набор бизнес-решений по поддержке коллективного процесса

разработки, непрерывного контроля, передачи и использования информации об изделии от концепции до утилизации, которое осуществляется с использованием программных модулей Product Lifecycle Management (PLM). Такое управление обеспечивается в едином информационном пространстве на протяжении всего жизненного цикла изделия, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации.

PLM-управление включает в себя:

- программные и аппаратные средства;
- подготовленный персонал;
- модель данных и документов, описывающих производство, его продукцию и технологии ее изготовления;
- модель производственных процессов ЖЦИ;
- нормативно-справочную документацию.

PLM устанавливает новый подход к управлению стратегическим ресурсом предприятия – информацией. Этот подход основан на применении интегрированных моделей данных об изделии и процессах ЖЦИ. PLM использует специальные методы работы с информацией об изделии, позволяя тесно увязать его с процессами, обеспечивая одновременный доступ к данным ЖЦИ сотрудникам различных категорий, позволяя им в полной мере реализовать принципы параллельного управления процессами.

PLM совместно с PDM позволяет:

- сократить временные издержки за счет сокращения времени на поиск информации и внесение изменений;
- повысить производительность труда работников за счет возможности повторного использования компонентов изделия;
- повысить качество продукции за счет использования информации ЕИП в соответствии с требованиями стандартов серии ISO 9000;
- ослабить угрозы информационной безопасности за счет организации защищенного хранения данных в ЕИП и регламентации доступа к ним.

Примерами коммерческих PLM-систем являются: PTC Windchill, Dassault Systems, IBM PLM Solution, SAP PLM. Эти программные комплексы показали себя эффективными при применении в СУП.

Полученное в результате взаимодействия PDM и PLM единое информационное пространство становится основой интеграции информационных систем предприятия, успешного комплексного функционирования автоматизации всего производства в целом (рис. 3.5).

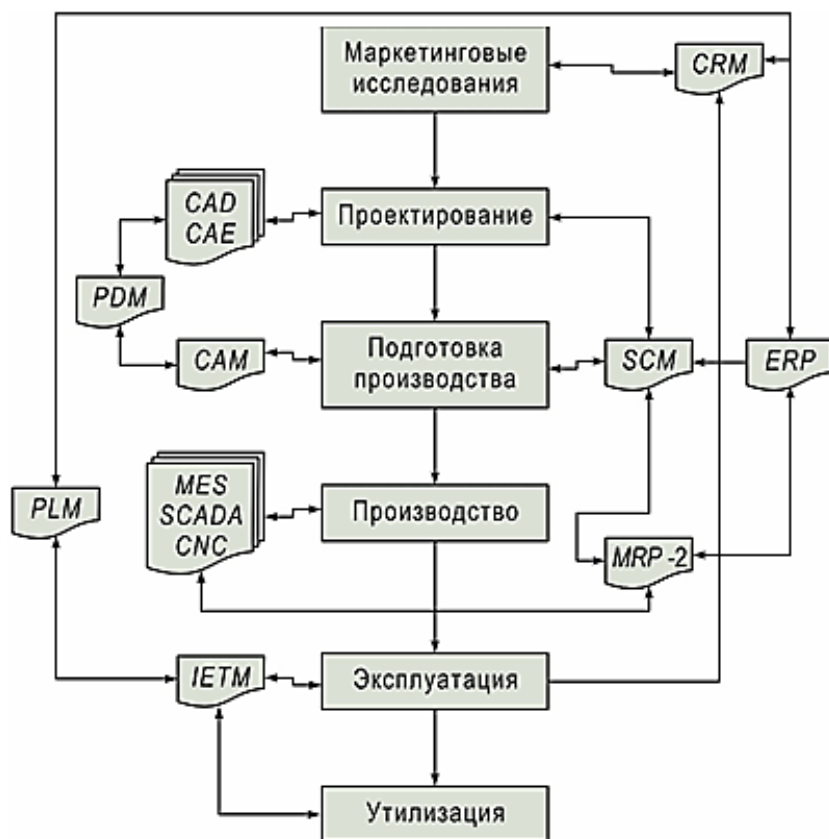


Рис. 3.5. Интеграция информационных систем предприятия на основе CALS

Применение PDM- и PLM-систем способствует повышению роста конкурентоспособности выпускаемой продукции и эффективности производства, позволяет повысить производительность труда, качество производственного процесса и сократить издержки производства.

CALS-среда рассматривается как комплексная системная стратегия повышения эффективности всех процессов жизненного цикла промышленной продукции, непосредственно влияющая на ее конкурентоспособность. Применение стратегии CALS является условием выживания предприятий в условиях растущей конкуренции. Она позволяет [42]:

- расширить области деятельности предприятий (рынки сбыта) за счет кооперации с другими предприятиями. Новые возможности информационного взаимодействия в сети Интернет позволяют строить кооперацию в форме виртуальных предприятий, действующих в течение ЖЦ продукта. Такая кооперация становится возможной не только на уровне готовых компонентов, но и на уровне отдельных этапов и задач: в процессах проектирования, производства и эксплуатации обеспечивается стандартизацией представления информации на разных стадиях и этапах жизненного цикла. Благодаря современным телекоммуникациям, становится не принципиальным географическое положение и государственная принадлежность партнеров;

- обеспечить сокращение затрат на документооборот, повторный ввод и обработку информации, возможность изменения состава участников ЖЦИ без потери уже достигнутых результатов и преемственность результатов работы в комплексных проектах;
- повысить «прозрачность» и управляемость бизнес-процессов путем использования проверенных практикой интегрированных моделей изделия;
- сократить затраты в бизнес-процессах за счет лучшей сбалансированности работы всех участников;
- повысить привлекательность и конкурентоспособность изделий, спроектированных и изготовленных в отлаженной интегрированной среде с использованием современных компьютерных технологий;
- обеспечить высокое качество продукции путем непрерывного менеджмента качества в цикле Деминга;
- сократить время создания изделия, его модернизации и увеличить его реальный срок эксплуатации и работоспособности за счет синергетики ЕИП.

### **Тестовые задания**

1. Жизненный цикл изделия (жизненный цикл продукции) – это...

а) совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта;

б) совокупность явлений и процессов, повторяющихся с периодичностью, определяемой временем физического существования типовой конструкции изделия, от изготовления до утилизации;

в) совокупность этапов или последовательность процессов сопровождения изделия после его изготовления – поставка, эксплуатация, утилизация;

г) совокупность этапов или последовательность процессов сопровождения изделия в процессе его изготовления, эксплуатации и утилизации.

2. Выбрать правильные ответы. CALS – это...

а) непрерывный сбор данных и информационная поддержка на всех этапах ЖЦИ;

б) сбор определенного объема, содержания и качества информации для совершенствования всех этапов производства изделия;

в) сбор, представление, обработка, обмен и управление данными в процессах производства и эксплуатации в электронном виде;

г) информационная поддержка процессов производства и проектирования изделий.

2. Каков базовый принцип построения CALS-систем?

а) формирование информационного пространства, сегментированного на функциональные или производственные кластеры;

б) безбумажное представление информации об изделии с применением электронно-цифровых подписей на чертежных документах;

в) формирование единого информационного пространства, технологии управления данными и процессами на всех этапах ЖЦИ;

г) выполнение работ, направленных на улучшение показателей производства, повышение его эффективности.

4. Технология управления данными об изделии (Product Data Management – PDM) в CALS – это...

а) управление всеми данными об изделии и информационными процессами ЖЦ изделия;

б) управление документооборотом предприятия;

в) минимизация и ограничение применяемых типов данных;

г) агрегирование данных о качестве изделий.

5. PLM (Product Lifecycle Management) – это...

а) модель производственных процессов создания продукции;

б) модель данных и документов, описывающих предприятие, его продукцию и технологии ее изготовления;

в) технология управления жизненным циклом изделий, организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия его с эксплуатации;

г) программные и аппаратные средства поддержки жизненного цикла изделия.

## 4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТИПА MRP

Управление процессами на предприятии, ввиду их сложности, большого информационного объема, типа и структуры данных, требует максимальной автоматизации не только рутинных вычислительных процедур, структурирования, систематизации и хранения данных, но и решений различных задач анализа данных. К ним относятся оценка информации по принятым критериям функционирования (с учетом различного вида ограничений) и вариантов решения задач информационной поддержки и управления. Особенностью автоматизированных систем управления процессами на предприятии становится функционирование в условиях постоянных изменений параметров и переменных, потоков и процессов и т. д.

Информационная (автоматизированная) система управления – это комплекс программно-аппаратных средств, управляющих процессом. В зависимости от доли участия человека при управлении процессами информационные системы управления процессами можно разделить на два класса: системы с полностью автоматическим принятием решений (без участия человека) и системы с непосредственным участием человека в их управлении.

К информационным системам управления с участием работников в принятии решений, наряду с CALS, относят:

- Enterprise Resource Planning (ERP) – автоматизированные системы планирования ресурсов и управляющие бизнес-процессами предприятия;
- Manufacturing Execution System (MES) – автоматизированные системы управления производственными процессами цехового уровня предприятия.

Назначение систем этого вида – это управление бизнесом и процессами, в том числе производственными. Автоматизированные системы условно можно разделить по доли в них функций информационной поддержки и управления разных степеней автоматизации.

Причем чаще всего информационные системы отличаются от автоматических в частичной передаче функций человеку (например, функций, не поддающихся автоматизации).

Наиболее перспективными направлениями повышения экономической эффективности процессов и производств на предприятии являются процессы управления, поскольку позволяют при минимальных затратах существенно улучшить показатели экономической эффективности.

С точки зрения теории управления возможность достижения наилучших (практически близких к желаемым) показателей функционирования объекта или процесса повышается при увеличении объема и информативности данных.

Самым лучшим вариантом информационной поддержки автоматизированной системы управления является система с получением и использованием

всеобъемлющей информации о процессах предприятия. В этом случае возможно эффективное управление его ресурсами для достижения установленных стратегических целей.

Основными направлениями развития автоматизированных систем управления на предприятии, в современных условиях, является увеличение «глубины» информационного обеспечения и повышение степени автоматизации. В этой связи предпринимались попытки оцифровать продукцию при управлении ее жизненным циклом (CALC), сформировать потоки стоимости для ERP, управлять цеховым производственным процессом (MES) и т. д.

Современный подход к управлению процессами на предприятии однозначно связан с использованием автоматизированных информационно-управляющих систем, и это является центральным направлением повышения эффективности процессов производств (рис. 4.1). Для системно обеспеченного автоматизированного управления процессами используется сбалансированное множество стандартов [17].

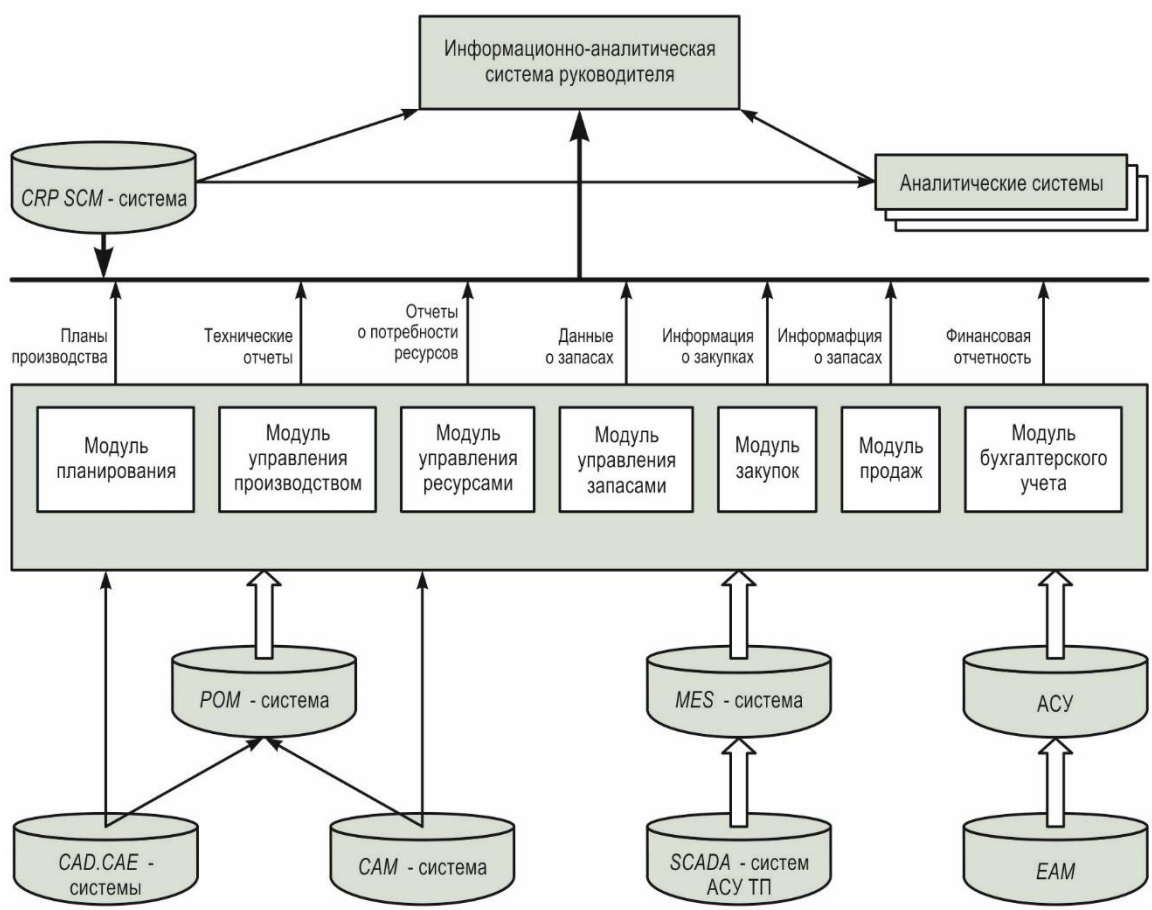


Рис. 4.1. Автоматизация управления предприятием. В конце XX века были сформулированы принципы управления одним из ресурсов предприятия – материальными запасами, были разработаны системы стандартов MRP, MRP II. Это повлекло за собой создание автоматизированных систем управления класса MRP



(Material Requirement Planning) – планирования материальных потребностей. Принципы, заложенные в основу этих систем, позволяли на основе модельного прогнозирования решать задачи календарного планирования производства и ресурсного (материального) обеспечения. Иными словами, появилась возможность прогнозирования и планирования производства по принципам управления одного из видов ресурсного обеспечения – материальных запасов. Система, кроме этого, позволяет предварительно просчитать затраты на производство при определенном (заданном) сроке выполнения заказа. Появились и дополнительные возможности внесения в расчеты ограничений по ресурсам (например учёт текущей загрузки производства) и времени. В начале разработки АСУ бизнесом во главу угла ставился принцип календарно-объемного планирования, причем отправной точкой планирования являлся календарный план продаж. Этот подход предполагал «обратное» планирование и позволял достаточно точно прогнозировать и планировать производство на основе принципа управления материальными запасами. Основными недостатками такого подхода являются фиксированный план продаж, трудности, связанные с учетом временных сбоев поставок, специализация производства, а также «сшивки» многооперационных сборок.

Современное усложнение процессов и производств (проблемы передовых техники и технологий) на предприятиях привело к тому, что проблемы управления запасами стали намного сложнее. Переход на производство высокотехнологической продукции резко усложнило технологические карты, повысило требования к автоматизации производства не только в обеспечении установленных технологических параметров, но и в управлении полуфабрикатной продукцией. Кроме того, наличие специальных требований к цеховому хранению полуфабрикатов и условиям хранения «незавершенки» на всех этапах производства приводит к необходимости приобретения дополнительного технологического оборудования или специализированных технологий. Особые трудности вызывает учет интервалов и «сращивание» календарных периодов на производство сборок и полуфабрикатов. И это еще не говоря об учете технических и технологических сбоев и срыва сроков субподряда.

В целях решения задач повышения эффективности управления производством MRP-системы различных конкурирующих между собой поставщиков решают все большее число задач планирования производств. Решение этих задач обеспечивают глубокую автоматизацию планирования и формирование заказа на всех этапах производства, исходя из объемно-календарного плана, который, в свою очередь, ориентирован на план продаж.



Рис. 4.2. Вход-выходная структура MRP

MRP-система представляет из себя многокомпонентную программу (рис. 4.2), в которой можно выделить отдельные модули:

- *Описание состояния материалов.* В этом модуле приводится максимально подробная информация обо всех составных частях изделия и материалах, необходимых для производства конечного продукта, даются характеристики, отражаются особенности каждого материала, приводятся сведения о его наличии на складе, планы закупок и поставок на всех этапах производственного цикла, сведения о локализации изделия, цены комплектации и риски, связанные с возможными задержками поставок, реквизиты поставщиков. Вся информация структурируется с максимальной детализацией по каждому материалу, необходимому для производственного процесса.

- *Программа производства* – это предварительно обработанный, с учетом стратегических целей производства, временной график по производству каждой партии конечной продукции в текущем плановом периоде или по всему диапазону периодов. Если полученная в ходе планирования программа производства осуществима, программный модуль автоматически создает производственный план, он и становится входным элементом MRP-системы.

- *Перечень составляющих конечного продукта* – это список исходного сырья и компонентов с указанием их количества и особенностей, который необходим для производства конечного продукта с учётом технологических особенностей производства. Следует отметить, что каждый конечный продукт имеет свой перечень составляющих, возможно выделение составляющих для промежуточных продуктов с целью уточнения планирования подборок.

Кроме того, в перечне есть описание структуры конечного продукта, т. е. он интегрирует всю информацию по технологии производства. Важной особенностью следует считать точность всех сведений и своевременную коррекцию при изменениях в структуре и/или технологии производства.

Все входные элементы представляют собой файлы данных, которые в MRP-программе являются источниками информации. Аппаратная часть MRP-систем на современном этапе развития не ограничивается стандартными средствами, а использует самые разнообразные аппаратные платформы в самых разнообразных конфигурациях.

Формальными результатами работы MRP-программы могут быть самые разнообразные виды и типы производственного документооборота, например: план заказов и изменения к нему; исполнительные и промежуточные отчеты; отчеты о выявлении «узких мест» и планы корректирующих мероприятий; отчеты по прогнозам и т. д. (рис. 4.3). Применение MRP-системы позволяет оптимизировать планирование производства, исходя из стратегических задач предприятия. Основными результатами такого планирования является снижение складских издержек и облегчение производственного учета.

Практическое использование MRP-систем первого поколения показало, что простое формирование плана заказов на определенный период при использовании утвержденной производственной программы не учитывало многие факторы реального производственного процесса, что приводило к необходимости практически постоянной корректировки планов. Кроме того, потребность планирования производств развивалась с продвижением новых производственных технологий, и это меняло принципы планирования ресурсов.

Для увеличения эффективности планирования наряду с базовыми функциями в MRP-системах назрела необходимость в дополнительных функциях, учитывающих такие реальные производственные факторы, как:

- контроль соответствия количества произведенной продукции количеству использованных в процессе сборки комплектующих;
- составление регулярных отчетов о задержках заказов, об объемах и динамике продаж продукции, о поставщиках и т. д.

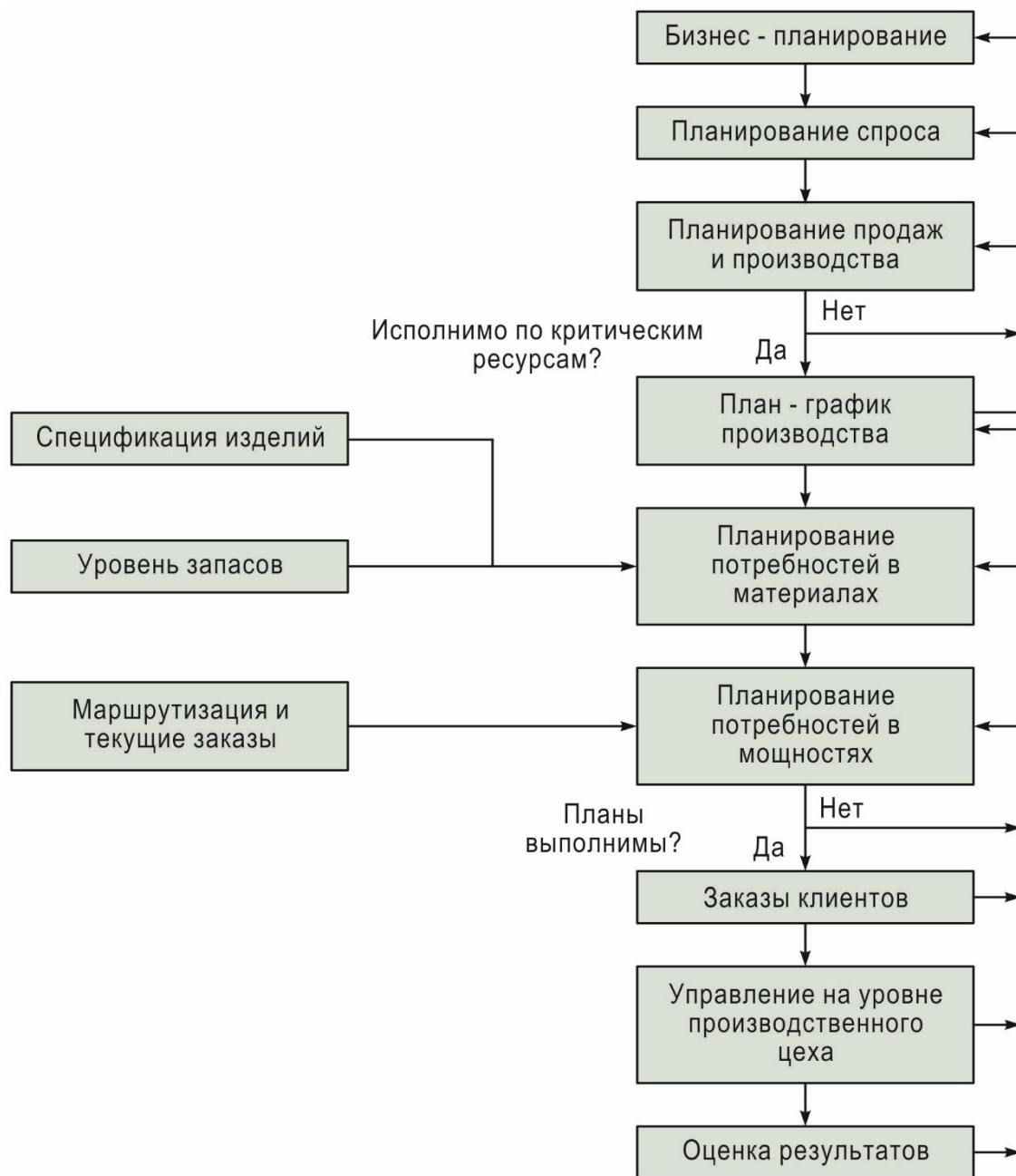


Рис. 4.3. Результаты планирования работ MRP

В результате получился «замкнутый цикл» планирования. Этот цикл отражает основную особенность модифицированной системы планирования ресурсов, заключающуюся в том, что созданные в процессе ее работы отчеты анализируются и учитываются на дальнейших этапах планирования, изменяя, при необходимости, программу производства, а следовательно, и план заказов. Другими словами, дополнительные функции осуществляют обратную связь в системе, обеспечивающую гибкость планирования по отношению к внешним факторам, таким как уровень спроса, состояние дел у поставщиков и т. п.

Развитие системы MRP привело к расширению и списка программ. В результате в системе планирования второго поколения MRP II появились дополнительные функции и соответствующие им модули:

- планирование производственных мощностей;
- планирование производства;
- планирование потребностей в сырье и материалах;
- планирование продаж;
- планирование развития бизнеса;
- выполнение плана производства;
- контроль выполнения плана потребности в материалах.

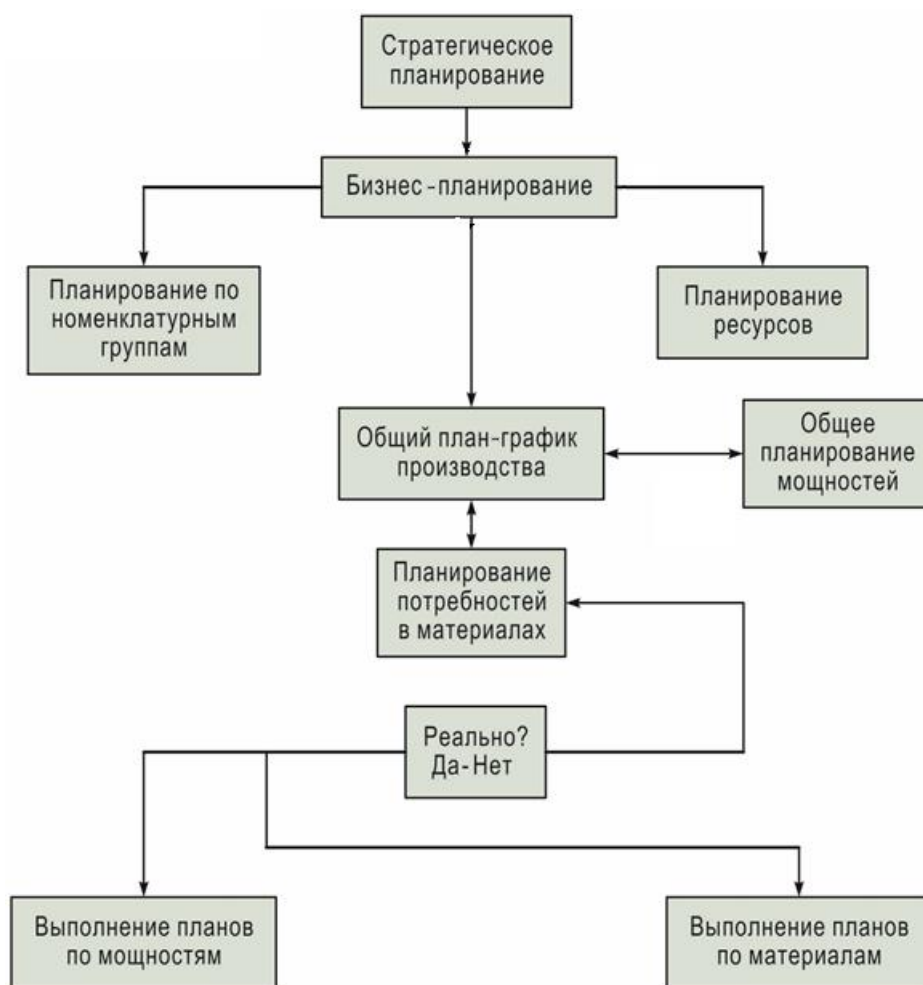


Рис. 4.4. Структурная схема разработки планов в MRP

Алгоритм работы системы MRP II нацелен на использование внутренней модели, описывающей все области деятельности предприятия (рис. 4.4). Основная идея – построение модели производственного процесса с максимальной полнотой представления всех коммерческих и внутрипроизводственных событий и процессов, с учетом текущего состояния и планов производственной деятельности. Все изменения, связанные с появлением производственного брака,

коррекцией производственной программы или технологических карт и т. п., вызывают немедленное реагирование системы MRP II с проведением анализа ситуации, проблем и определением необходимых изменений производственного плана для минимизации нежелательных последствий.

Полная компенсация отрицательных эффектов не всегда возможна и не всегда необходима, так как в этом случае оцениваются не только последствия, но и ресурсы, время и определяется экономическая целесообразность корректирующих мероприятий. Очень важной особенностью систем второго поколения является возможность их прогнозного применения, что резко снижает риски развития нежелательных последствий до момента их возникновения.

Отличительной особенностью информационных систем класса MRP II стало оптимальное формирование потоков, это касается всех видов материальных запасов – материалов (сырья), полуфабрикатов (в том числе находящихся в производстве), готовых изделий и т. д.

В системах MRP II еще большее развитие получила иерархическая структура построения планов и, что особенно важно, их взаимодействие (планы нижних уровней зависят от планов более высоких, т. е. план высшего уровня предоставляет входные данные, намечаемые показатели и/или какие-то ограничительные рамки для планов низшего уровня). Кроме того, эти планы связаны между собой таким образом, что результаты планов нижнего уровня оказывают обратное воздействие на планы высшего уровня. Иными словами, все планы находятся в постоянной динамической связи в процессе функционирования информационной

системы MRP II. В результате информационные системы второго поколения стали решать задачи планирования не только складских запасов, но и задачи оптимизации планирования производственных и материальных потоков путем сокращения затрат на производство и материальных ресурсов на складах, контролировать выполнение планов по всему производственному циклу, начиная со стратегии предприятия, закупки сырья до отгрузки товара потребителю [30]. Такая функциональность MRP II была расширена за счет использования дополнительных программных модулей:

- *Стратегическое планирование* – это долгосрочное планирование. Обычно составляется на срок от одного до пяти лет и основано на макроэкономических показателях, таких как тенденции развития экономики, изменение технологий, состояние рынка и конкуренции. Стратегическое планирование обычно декомпозируется по годам пятилетнего плана и интегрирует в себе макропоказатели (цели) высшего уровня.

- *Бизнес-планирование* – это обычно план на год, который также составляется на ежегодной основе. Чаще всего этот динамичный план может неоднократно меняться и корректироваться в течение года. Как правило, он представляется результатом балансировки планов различных уровней с учетом

стратегического планирования (планы продаж, инвестиций, развития основных средств, потребности в капитале, бюджетирование и т. д.). Часто эта информация представляется в денежном выражении с привязкой к календарному графику. Бизнес-план объединяет плановые показатели других планов низшего уровня [30].

- *Планирование объемов продаж и производства.* Если бизнес-план предоставляет итоговые данные по объемам продаж ежемесячно (в денежном выражении), то план объемов продаж и производства представляет структуру товарного производства, например по ассортиментным группам. В результате получают рабочий план производства, который ежемесячно пересматривается, принимая во внимание план предыдущего месяца, реальные результаты и данные бизнес-плана [30].

- *Планирование объемов продаж и производства* обычно включает следующие элементы: объем продаж, производства, запасы, незавершенный объем производства, отгрузка. В этих элементах объем продаж и отгрузка – это прогнозы, так как это внешние данные, которые прямому контролю не поддаются. Объем производства планируется, это внутренний показатель, поддающийся прямому контролю. Планы по объемам запасов и незавершенного производства контролируются косвенно, манипулируя данными прогнозов объема продаж, отгрузки и/или плана объемов производства [30].

- *Планирование ресурсов.* План производства будет нереален, если не будет обеспечено наличие необходимого объема ресурсов. Планирование ресурсов – это долгосрочное планирование, которое позволяет оценить необходимый (для выполнения плана производства) и наличный объем ключевых ресурсов, таких как люди, оборудование, здания и сооружения.

- *Проектирование главного план-графика производства (ГПП)* – это план производства, наложенный на шкалу времени. ГПП показывает, что будет производиться, когда и в каких объемах. В зависимости от типа и объема выпускаемой продукции ГПП можно разбить на недельные, дневные и даже сменные планы [30].

- *Общее планирование потребных мощностей.* Оно, как и планирование ресурсов мощностей, является долгосрочным и ведется по ключевым ресурсам. Этот процесс использует данные ГПП, а не производственного плана. Так, если ГПП выражен в объемных и временных характеристиках, то общее планирование мощностей используется для создания более детализированного плана, который может быть очень полезен при оценке средних потребностей компании в целом [30].

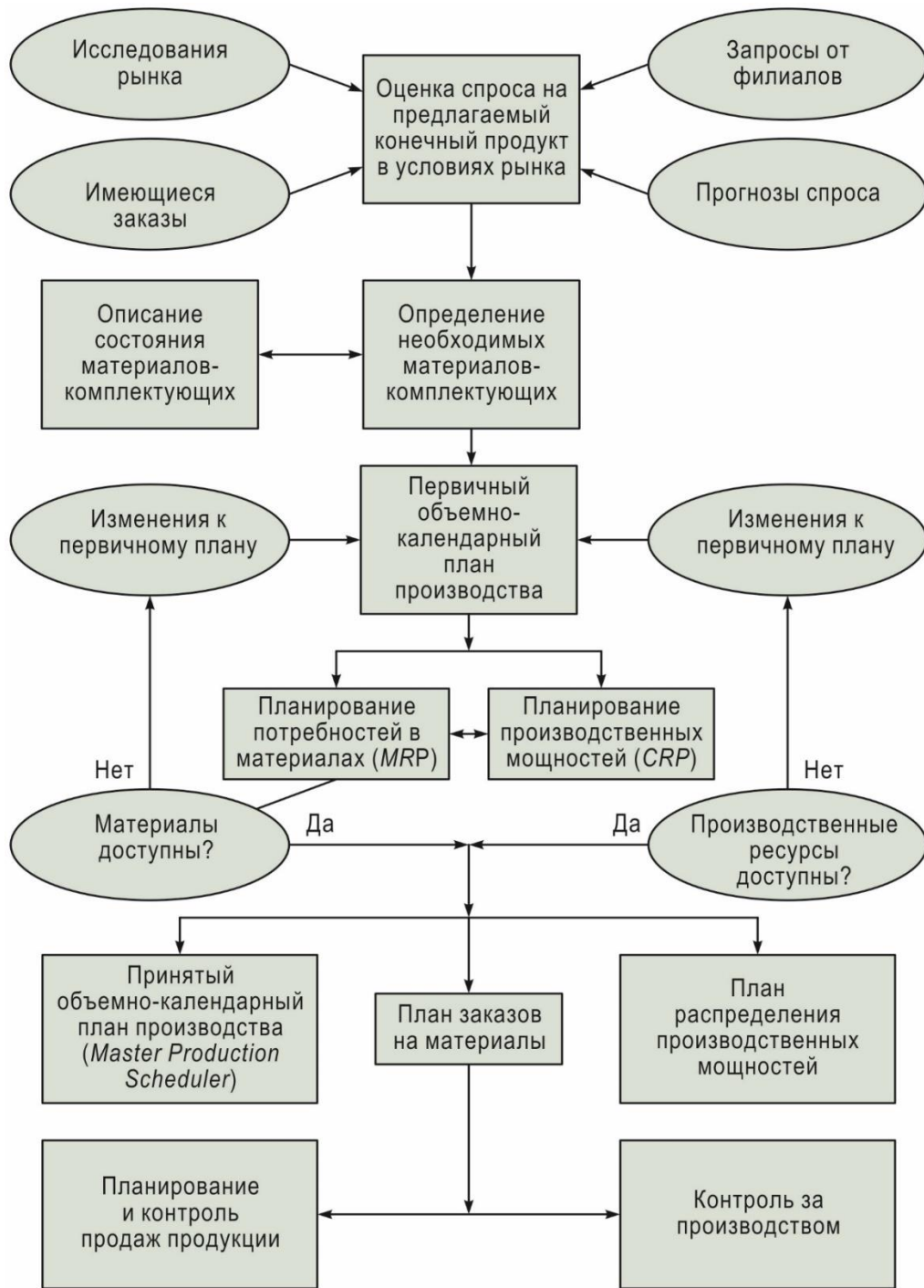


Рис. 4.5. Блок-схема решения задач в ИС MRP

Основными этапами управления предприятием с использованием системы MRP II (рис. 4.5) стали:

- формирование плана производства на основании портфеля заказов и прогнозирования сбыта готовой продукции по периодам;



- предварительная оценка выполнимости плана производства по ключевым ресурсам предприятия (станкам, рабочим, материалам, электроэнергии и т. д.);
- корректировка плана производства, если он не проходит по ресурсам, или пополнение ресурсов – закупка оборудования, наем рабочих нужной специальности, сверхурочные, субподряд и т. д.;
- формирование плана-графика выпуска партий деталей, полуфабрикатов, готовых изделий собственного изготовления на основании плана;
- формирование плана-графика закупки материалов и комплектующих; договоров на поставку;
- выполнение специальных процедур расчета чистых потребностей и заказов, включая расчет размеров партий деталей, полуфабрикатов, сборочных единиц и готовых изделий вместе со сроками их выпуска;
- оценка выполнимости плана-графика по производственным ресурсам;
- корректировка плана производства и производственных нормативов (размеров партий, длительностей циклов, технологических маршрутов и т. д.), если ресурсов не хватает или пополнение ресурсов на оперативном уровне;
- формирование бюджетов производственных хозрасчетных подразделений;
- укомплектование и запуск в производство партий деталей, сборочных единиц собственного изготовления, диспетчеризация хода производства, диспетчеризация хода поставок материалов и комплектующих, учет выполнения производства и поставок;
- формирование сбытовых договоров, поставок и отгрузки потребителям готовой продукции;
- расчет нормативных и фактических затрат на производство, расчет нормативной и фактической себестоимости продукции, анализ отклонений в затратах и себестоимости, анализ выполнения бюджетов подразделений;
- оперативный расчет бухгалтерского баланса и получение экономических и финансовых показателей деятельности предприятия;
- решение задач оптимизации производственных и материальных потоков;
- реальное сокращение материальных ресурсов на складах;
- эффективный контроль за всем циклом производства с возможностью влияния на него в целях достижения оптимальной эффективности в использовании производственных мощностей, всех видов ресурсов и удовлетворения потребностей заказчиков;
- финансовое отражение деятельности предприятия в целом;
- значительное сокращение непроизводственных затрат;

- возможность поэтапного внедрения системы, с учетом инвестиционной политики конкретного предприятия.

### **Тестовые задания**

1. Основными задачами MRP-системы автоматизированного управления являются:

- а) формирование плана производства (все виды ресурсов) на основании портфеля заказов и прогнозирования сбыта готовой продукции по периодам;
- б) непрерывное управление бюджетным планом для выполнения стратегической цели предприятия – снижение производственных затрат;
- в) непрерывное управление людскими ресурсами производственных процессов;
- г) управление ресурсами и незавершенными изделиями на всех этапах производства.

2. В соответствии с рекомендациями «MRP II Standard System» продолжите перечень выходных документов информационной MRP-системы:

- а) план производства;
- б) перечень составляющих конечного продукта;
- в) ...
- г) ...

2. Стандарт MRP II поддерживает

- а) производственное планирование;
- б) бизнес-планирование;
- в) стратегическое планирование;
- г) ни один из перечисленных видов планирования.

3. Что является результатом планирования работ в MRP-системе?

- а) план-график производства;
- б) план материальных запасов;
- в) план потребностей в мощностях;
- г) всё перечисленное.

4. К основным целям MRP-систем следует отнести

- а) удовлетворение потребности в материалах;
- б) разработку спецификации оборудования;
- в) поддержку уровней запасов.

5. Какие из приведенных ниже записей следует отнести к функциям ИС стандарта MRP II?

- а) материально-техническое снабжение;
- б) планирование распределения ресурсов;
- в) планирование и контроль производственных операций.

3. Продолжите перечень. Преимущества использования информационной системы MRP II:

а) получение оперативной информации о текущих результатах деятельности предприятия как в целом, так и с полной детализацией по отдельным заказам, видам ресурсов, выполнению планов;

б) долгосрочное оперативное и детальное планирование деятельности предприятия с возможностью корректировки плановых данных на основе оперативной информации;

в) ...

г) ...

## 5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТИПА ERP

Базовыми информационными системами, осуществляющими планирование и управление ресурсами, управление деятельностью предприятия в настоящее время являются ERP-системы. Они имеют сложную многоуровневую интегрированную структуру и включают в себя отдельные модули управления процессами продажи изделий, закупок исходных материалов и комплектующих, управления складскими запасами, персоналом, бюджетом и бухгалтерским учетом (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Информационная система управления ERP

Наряду с получением дополнительных сервисных возможностей такая интеграция позволяет осуществлять общую информационную поддержку управления деятельностью предприятия. Система предоставляет руководству предприятия информацию, сформированную в виде запросов или специальных показателей, о заказах, о закупках, о запасах, численности работников, о заработной плате, а также технические отчеты, планы, календари, финансовую отчетность.

ERP-системы таким образом управляют всей финансовой и хозяйственной деятельностью предприятий. Это «верхний уровень» автоматизации СУП, затрагивающий ключевые задачи его производственной и коммерческой деятельности: управление кадрами, производство продукции, бухгалтерию, планирование, материально-техническое снабжение, финансы и сбыт. Эти системы предоставляют руководству взвешенные варианты управленческих решений, используются для создания электронного документооборота внутри и вне предприятия.

Исторически системы ERP развивались из систем планирования материальных и производственных ресурсов (MRP – MRP II) с добавлением финансового управления и управления персоналом [34].

В некоторой степени ERP является методологией, которая лежит в основе системного управления всеми доступными ресурсами предприятия и их распределения, обеспечивая необходимую логистику производства и работу с поставщиками и потребителями его продукции (рис. 5.1).

ERP-система автоматизирует процедуры, образующие бизнес-процессы, например выполнение заказа клиента. Когда менеджер вводит заказ клиента в ERP-систему, у него появляется автоматический доступ ко всей информации, необходимой для того, чтобы запустить заказ на выполнение, к информации о наличии продукции в складском модуле и о графике отгрузки товаров из модуля логистики, доступ к истории заказов клиента, к финансовому модулю и другим атрибутам логистики заказа [18, 35].

Работники разных подразделений имеют единую информацию и могут использовать в реальном времени обновления в рамках своей ответственности. Когда одно подразделение завершает работу над заказом, заказ автоматически переадресовывается другому для продолжения работы по заказу. Чтобы узнать в каком состоянии находится заказ в каждый момент времени, необходимо только войти в систему и сделать запрос в рамках своей ответственности. В результате процесс выполнения заказа становится прозрачным, заказы клиентов выполняются быстрее и с меньшим числом ошибок. То же происходит с финансовыми процессами: созданием бухгалтерских отчетов, начислением зарплаты и т. д.

Благодаря использованию возможностей ERP-системы, в СУП создается единое хранилище информации о деятельности предприятия, в котором собирается вся информация, используемая разными подразделениями, увеличивается скорость обработки данных, снижается число ошибок, связанных с человеческим фактором, и возникающие производственные проблемы устраняются значительно быстрее.

Существует некоторое условное разделение «функциональных сфер» ответственности информационных систем, входящих в СУП:

- ERP – это информационная система, отвечающая за документооборот, финансовую отчетность, учет и управление персоналом и т. п.;
- MES – система управления производством продукции;
- SCADA – это управление технологическими режимами производства, распределением и потреблением тепловой и электрической энергии, эксплуатацией разнообразного оборудования в реальном масштабе времени.

Основными функциями MES-системы являются: оперативное планирование / перепланирование; оптимизация производственных графиков; оперативное управление процессом производства; управление сроками поставок

готовой продукции; контроль качества продукции в реальном масштабе времени и т. п.

Потоки информации (данных) в ERP-системах, как правило, направлены от систем нижнего уровня:

- PDM (Product Data Management – система управления данными об изделии), обеспечивающая управление всей информацией об изделии;
- MES (Manufacturing Execution System) – система управления производственными процессами;
- SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – система сбора данных и оперативного контроля;
- EAM (Enterprise Asset Management System) – система управления основными фондами предприятия.

Все информационные системы представляют набор программных приложений в едином информационном пространстве СУП и поддерживают все виды учета, все основные аспекты управленческой деятельности предприятий: планирование ресурсов (финансовых, человеческих, материальных) для производства товаров (услуг), оперативное управление выполнением планов (включая снабжение, сбыт, ведение договоров) (рис. 5.2).

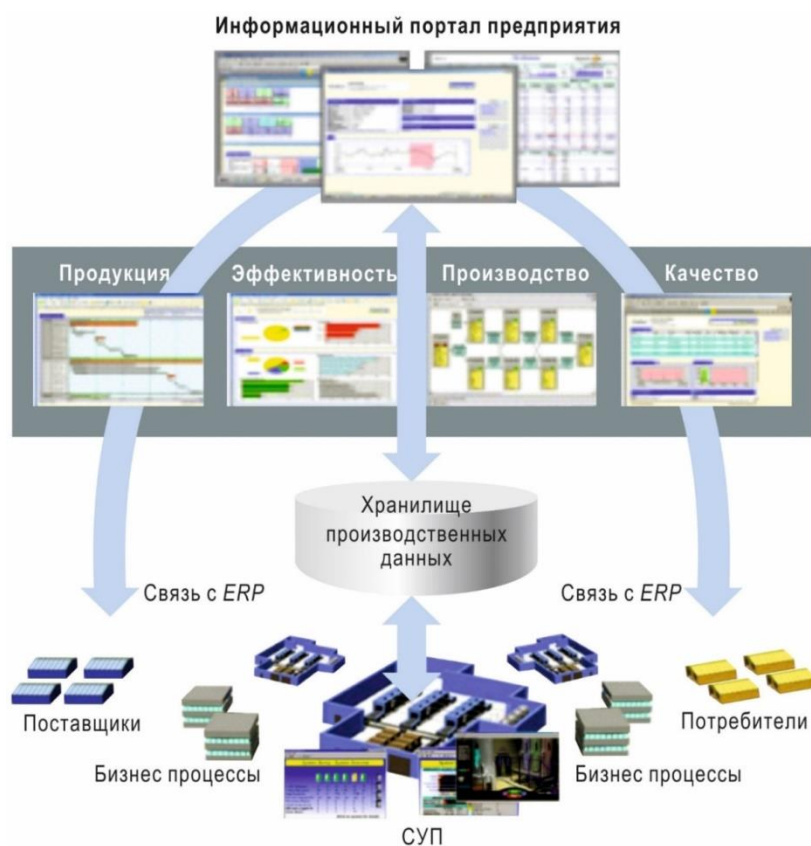


Рис. 5.2. Корпоративная информационная система управления деятельностью предприятия

Нижним уровнем взаимодействия этих информационных систем является корпоративное хранилище данных, в котором содержится как интеллектуальная собственность предприятия, так и различные регламенты, правила, стандарты, технические условия, регламентирующие документы, описание процессов и производств, любая информация, необходимая для функционирования и развития предприятия.

Напрямую к корпоративному хранилищу данных подключается система управления знаниями. Она и формирует информационное окружение предприятия, необходимое для СУП. Особой задачей в области управления корпоративными знаниями является регламентация обмена информацией между подсистемами структуры предприятия, а также обмен данными с внешними системами.

После предварительного преобразования, структурирования и анализа информация от указанных систем передается в информационные базы данных ERP-системы с возможностью широкого использования для АСУ бизнесом, процессами и производствами различных уровней.

Поскольку ERP-системы охватывают все виды деятельности предприятия и содержат критическую информацию по финансово-хозяйственной и производственной деятельности предприятия, к ним предъявляются особые требования, наиболее важными из которых являются [34]:

- централизация в единой базе всех видов и типов данных;
- режим работы в реальном времени или приближенный к нему;
- общая модель управления для предприятий различных отраслей;
- возможность работы в территориально распределенных системах;
- использование различных аппаратно-программных средств и СУБД при исполнении заказа.

Структура ERP автоматизированной системы управления процессами показана на рис. 5.3. Она включает в себя следующие программные модули:

- *Модуль управления проектами и программами.* Для изготовления сложной продукции требуется большая длительность цикла производства в его взаимосвязи с предприятиями-смежниками. В результате возможны изменения проектных решений. Поэтому оперативное управление проектами и программами производства в целом востребовано на предприятии.

- *Модуль формирования информации о продукции.* Обеспечивает менеджмент предприятия требуемой информацией о продукции, исходных материалах, ее качестве и проблемах. Его используют при планировании потребностей в материальных ресурсах [30].

*Модуль прогнозирования.* Это автоматизированная оценка будущего состояния внешней среды и производственного процесса. Важной задачей данного модуля является снижение неопределенности в деятельности

предприятия [34].

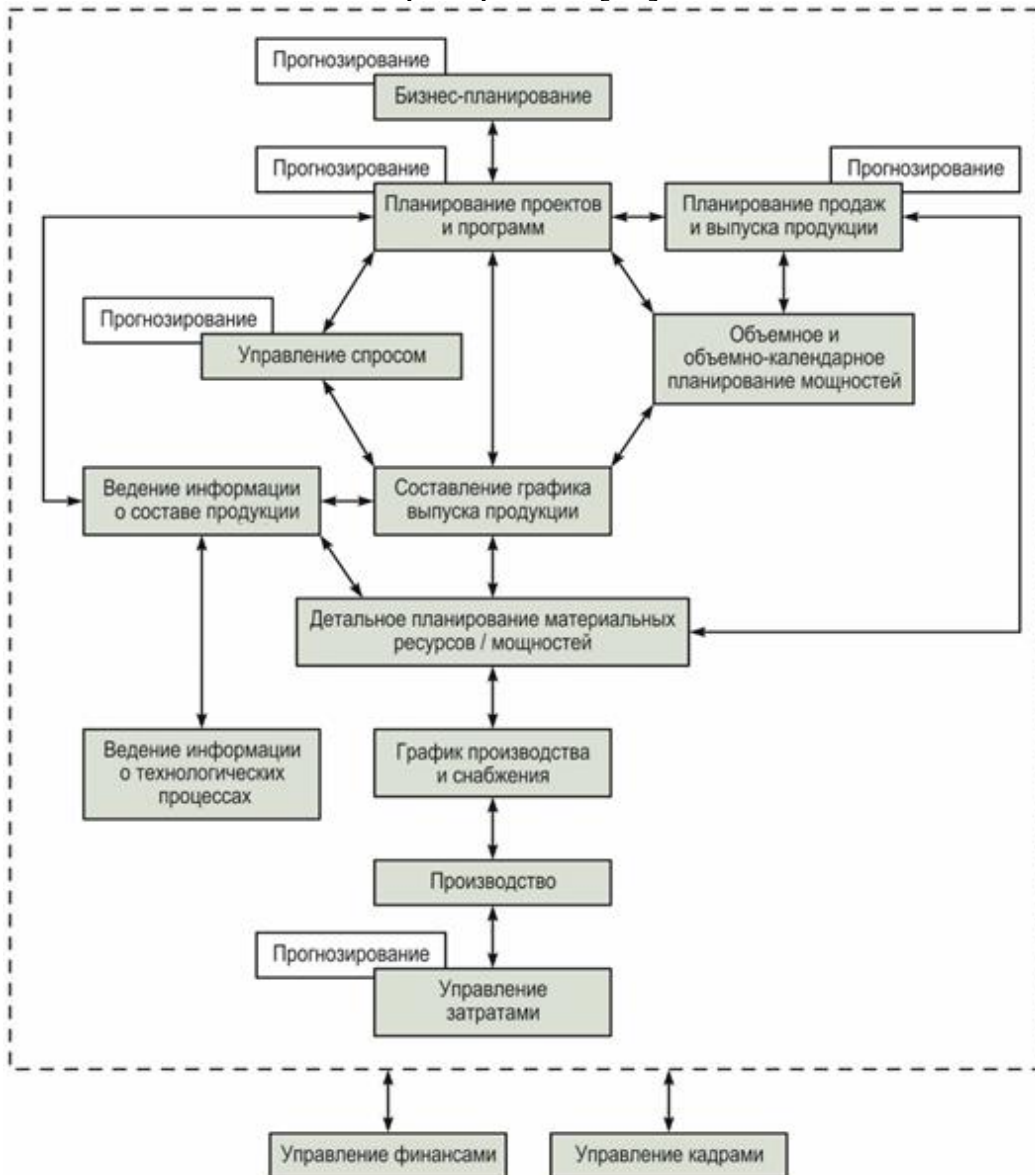


Рис. 5.3. Структурная схема управления предприятием

- *Модуль формирования информации о технологических маршрутах.* Предназначен для решения задач оперативного управления производством, так как для эффективного управления необходимы дорожная карта операций, входящих в технологические маршруты, оценка длительности операций на рабочих местах и сценарии технологического обслуживания.

- *Модуль управления затратами.* Оценивает работу производственных и других подразделений с точки зрения учета затрат и выработки управляющих решений, оптимизирующих экономические показатели предприятия. Основная задача этого модуля – обеспечить связь между управлением производством и управлением финансовой деятельностью путем решения задач учета,



контроля и управления затратами. Эти задачи решаются в различных разрезах: по подразделениям, производствам, по видам продукции и т. п.

- *Модуль управления кадрами.* Решает задачи управления кадрами предприятия, связанные с набором, штатным расписанием, повышением квалификации, карьерным ростом, оплатой и т. п.

- *Модуль управления финансами.* Практически во всех системах в него входят такие субмодули, как «Главная бухгалтерская книга», «Расчеты с заказчиками», «Расчеты с поставщиками», «Управление основными средствами». Этот модуль позволяет усилить финансовый контроль путем обобщения всей финансовой деятельности [34].

Автоматизация управления финансами на предприятии позволяет:

- улучшить оборот денежных средств;
- оптимизировать управление денежными средствами путем автоматизации расчетов с поставщиками;
- максимизировать отдачу от капитальных вложений путем обеспечения более эффективного управления основными средствами.

В ERP-системах реализуются следующие функциональные блоки [34]:

- *Планирование продаж и производства.* Используется для разработки плана производства основных видов продукции.

- *Управление спросом.* Данный блок предназначен для прогноза будущего спроса на продукцию, определения объема заказов, который можно предложить клиенту в конкретный момент времени, определения спроса дистрибьюторов, спроса в рамках предприятия и др.

- *Укрупненное планирование мощностей.* Этот блок используется для конкретизации планов производства и определения степени их выполнимости.

- *Основной план производства* (план-график выпуска продукции). Позволяет определять объемы продукции в конечных единицах (изделиях) со сроками изготовления и количеством.

- *Планирование потребностей в материалах.* Определяет виды материальных ресурсов (сборных узлов, готовых агрегатов, покупных изделий, исходного сырья, полуфабрикатов и др.) и конкретные сроки их поставки для выполнения плана.

- *Спецификация изделий.* Определяет состав конечного изделия, материальные ресурсы, необходимые для его изготовления, и др. Фактически этот модуль является связующим звеном между основным планом производства и планом потребностей в материалах.

- *Планирование потребностей в мощностях.* С использованием этого блока более детально, чем на предыдущих уровнях, определяются производственные мощности.

- *Маршрутизация / рабочие центры.* С помощью данного блока конкретизируются как производственные мощности различного уровня, так и маршруты, в соответствии с которыми выпускаются изделия.

- *Проверка и корректировка цеховых планов по мощностям.*

- *Управление закупками, запасами, продажами.*

- *Управление финансами* (ведение Главной книги, расчеты с дебиторами и кредиторами, учет основных средств, управление наличными средствами, планирование финансовой деятельности и др.).

- *Управление затратами* (учет всех затрат предприятия и калькуляция себестоимости готовой продукции или услуг).

- *Управление проектами/программами.*

ERP-системы совершенствуются новыми функциональными модулями, расширяющими их возможности в части прогнозирования спроса, управления затратами и составом продукции, ведения технологической информации. В них прямо или через системы обмена данными встраиваются модули управления кадрами и финансовой деятельностью предприятия [29].

Для решения задач управления процессами в ERP-системах применяется расширенный набор инструментов автоматизации [34]:

- *Автоматизация документооборота.* Выполняется, чтобы быстро оформлять счета, накладные, отчеты и другую документацию, обеспечивать удобный доступ к ней, использовать ее содержание для формирования сводных отчетов. Ведение документооборота в электронном виде делает отчетность прозрачной и более точной, упрощает оперативное получение данных, помогает организовать информационный обмен и взаимодействие между подразделениями, службами, командами сотрудников.

- *Инструменты планирования.* Используются программными модулями для планирования поставок, производственных объемов и отгрузок, работы склада, деятельности служб, подразделений, осуществления платежей, сезонного изменения спроса и т. п. Позволяют управлять предприятием, разрабатывать стратегию работы с привязкой к календарным датам, проводить планфактный анализ для повышения эффективности, «диагностики» проблемных участков на производстве.

- *Сохранение и преобразование данных.* Программа регистрирует проводимые операции, объемы производства, контакты с контрагентами, объемы отгрузок и складских запасов, собирает эти данные и представляет их в прозрачном, удобном виде. Собранная информация объединяется в общую сеть данных, позволяющую отслеживать отдельные процессы или задачи, работу на заданных уровнях (закупка сырья, поставка, организация производства и т. п.), общие показатели деятельности предприятия. Для управления данными используется отдельный набор инструментов, который обеспечивает формирование баз или массивов данных, отобранных по определенным критериям, с

ведением архива документов, отчетов и т. п., и разделением прав доступа для разных категорий пользователей.

- *Ведение кадрового учета.* Управление персоналом на производстве реализуется на нескольких уровнях. Один из них – обязательный, предполагает ведение регламентированного учета, формирование стандартной отчетности. Дополнительно кадровый учет предполагает контроль эффективности расходования рабочего времени, контроль исполнительской дисциплины, распределение задач, составление индивидуальных графиков работы, общего штатного расписания, управление мотивацией сотрудников, их квалификацией, карьерным ростом, обучением и т. п.

- *Работа с контрагентами.* Позволяет автоматизировать работу с клиентами, поставщиками, партнерами. Особенно важен учет данных по клиентам. Он предполагает сохранение данных по уже совершенным сделкам, по дебиторской задолженности, оформленным заявкам и т. п. Автоматизация такого учета позволяет прогнозировать уровень спроса, поступление заявок от отдельных клиентов, стимулировать обращения, планировать производительность с учетом предполагаемого уровня спроса. Автоматизация работы с поставщиками упрощает взаимодействие с контрагентами. Система ERP может использоваться для хранения информационной базы по контрагентам, формирования запросов на поставку сырья или комплектующих, проведения расчетов, оформления необходимых документов с автоматическим заполнением реквизитов.

- *Планирование ремонтов.* С помощью отдельной подсистемы можно контролировать амортизацию, износ, техническое состояние оборудования (конвейерных линий, автотранспорта, инструмента, инвентаря и т. п.), планировать его сервисное обслуживание, ремонт, замену отдельных комплектующих, прогнозировать объем затрат, связанных с сервисным обслуживанием техники, срок ее службы и т. п.

Все ERP-системы, независимо от того, кто их разработчик, объединяет общая архитектура, которая состоит из следующих элементов (рис. 5.4):

1. *Платформа* – среда для работы модулей и компонентов СУП. Потребные изменения в платформу вносят только разработчики системы. Пользователи и специалисты по внедрению компонентов СУП не имеют доступа к ее программному коду. В состав платформы входят:

- ядро – программная среда, в которой производится конфигурирование СУП, выполняются надстройки в виде функциональных модулей;

- базовый функционал – программный модуль, формирующий перечень справочников и функций процессов предприятия, справочник клиентов, справочник товаров/услуг и т. д. Этот функционал встроен в платформу. В отличие от программных модулей, он не может отключаться.

2. *Управление данными* – программно-аппаратные средства управления хранилищем данных на сервере, которые выполняют их отправку в программные модули СУП для интерпретации, обработки данных.

3. *Отдельные модули СУП* – компоненты, которые подключаются к платформе по мере необходимости. Все они работают с единой базой данных и применяют базовый функционал.

Модули делятся на несколько типов:

- Модули внутреннего использования – подключаемые программные блоки СУП, такие как управление складом, производство, бухгалтерия и пр. Эти блоки можно подключать, отключать, настраивать силами специалистов по внедрению. В стандартный набор обычно входят MRP- и ERP-модули работы с внешними пользователями. Они содержат в себе модули, необходимые для взаимодействия с внешними пользователями (партнерами, пользователями продукции, поставщиками и покупателями).

- Коннекторы – готовые решения для связи со сторонними приложениями. Они позволяют интегрировать телекоммуникацию, настроить обмен данными с интернет-сайтом или любыми программными продуктами и системами.



Рис. 5.4. Взаимодействие модулей управления деятельностью на единой платформе

Коннекторы, предназначенные для обмена данными, обычно используются:

- для обмена данными с системами управления контентом;

- средств автоматизированного проектирования;
- оперативной аналитической обработки данных;
- процессов последовательного преобразования данных в информацию, информацию в понимание, понимание в знание и др.

Коннекторы позволяют подключать и объединять СУП с внешними по отношению к ней полезными для управления процессами и информационными системами.

Используя ERP в качестве основы управления процессами предприятия, можно выполнять настройку СУП на целевое применение. Например, обработка заказов на продукцию может начинаться с определения перспектив продажи.

Процесс обработки заказов протекает следующим образом. Поставщик продукции может больше не ждать заказов и находить потенциального покупателя самостоятельно. Определив потребности клиента, он может помочь в онлайн-режиме правильно сформировать заказ.

Такая технология конфигурирования заказов позволяет проверить их выполнимость до того, как заказ будет принят в производство. Таким образом появляется объективная информация о рыночной перспективности планируемой продукции в CALS-системе управления ЖЦИ.

Благодаря такой цифровизации производства программные модули поддержки покупателей становятся центрами продаж и поддержки пользователей. Планирование производства и всей деятельности предприятия переопределяется и становится в СУП планированием заказов покупателей, что в свою очередь повышает эффективность производства.

Совершенствование производственного планирования позволяет предприятию выполнять в реальном времени оценку сроков изготовления продукции и обеспечивать ее поставку заказчику в согласованный срок.

Усовершенствованное планирование позволяет оптимизировать производственные операции на основе фактических покупательских заказов, а не на прогнозах или оценках. Изменения пожеланий покупателя ведут автоматическим к изменениям в заказах, уменьшая объемы работы менеджеров.

### **Тестовые задания**

1. Enterprise resource planning (ERP) – это...

а) набор интегрированных приложений или модулей для управления основными бизнес-процессами компании, включая финансы и бухгалтерский учет, цепочку поставок, управление персоналом, закупки, продажи, управление запасами и многое другое;

б) система автоматизированного управления деятельностью предприятия в течение его производственного цикла (день, неделя, месяц);

в) организационная стратегия автоматизации производства на основе автоматизированного управления трудовым ресурсом, финансовым

менеджментом и активами, ориентированного на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия посредством покупного прикладного программного пакета

г) планирование и контроль производственных операций.

2. База данных ERP-системы – это...

а) программная платформа, управление данными;

б) корпоративное хранилище интеллектуальной собственности предприятия;

в) отдельные программные модули управления корпоративной информацией;

г) любая информация, производственная документация, различные регламенты, правила и программное обеспечение, необходимые для функционирования и развития предприятия.

3. Платформа ERP – это...

а) операционная среда для работы модулей и компонентов СУП;

б) операционная среда, в которой производится конфигурирование СУП, выполняются отдельные программные модули, обеспечивающие управление деятельностью предприятия;

в) программно-аппаратное обеспечение СУП;

г) средство конфигурирования СУП.

4. Коннекторы в системной платформе ERP – это...

а) готовые решения для связи ERP со сторонними приложениями;

б) подключаемые программные модули СУП, такие как управление складом, производство, бухгалтерия;

в) компоненты, которые подключаются к платформе по мере необходимости;

г) модули, формирующие перечень справочников и функций процессов предприятия, справочник клиентов, справочник товаров/услуг.

5. ERP-системы, как правило, строятся на базе:

а) модульного принципа (множество модулей);

б) монолитной структуры (одного большего программного блока).

## 6. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТИПА MES

MES-система – это автоматизированная система оперативного управления производством (рис. 6.1). Такое управление позволяет решать текущие задачи оперативного планирования, учета и контроля производственных процессов.



*Рис. 6.1. Управление процессами производства*

Цель оперативного управления – установка нужного порядка выполнения работы, вверенной руководству службы, согласование этой работы с другими подразделениями предприятия. На многих предприятиях оперативное управление сопровождается авральными решениями, что ведет к значительному снижению эффективности производства.

Сегодня теория и практика выработали большое разнообразие методов и средств оперативного управления производством, ключевыми из которых являются автоматизированные системы управления.

Автоматизированное оперативное управление реализуется посредством следующих функций:

1. Оперативное планирование:

- составление плана с установлением ответственности и конкретных результатов;
- поиск способов повышения эффективности работ;
- балансовое согласование взаимодействия участников выполнения работ;
- установление критериев для оценки результативности выполнения оперативного плана.

2. Оперативный мониторинг управления:

- использование автоматизированных систем учета результатов выполнения намеченного плана;
- тщательное распределение функциональных обязанностей исполнителей работ;
- использование автоматизации документооборота.

3. Оперативный контроль управления:

- организация регулярности отчетности исполнителей работ;
- автоматизированный контроль эффективности исполнения выполненной работы.

Тактическое управление – это управление ресурсами: временем, финансами, людьми, сырьем и материалами при выполнении установленных оперативным управлением работ.

Тактическое управление необходимо на этапе внедрения ключевых идей, когда необходимо установление способов и методов достижения цели работы.

В настоящее время наиболее рекомендуемым инструментом на производственном уровне выполнения управленческих работ является MES-система.

MES – это специализированная программная система, предназначенная для решения задач как оперативного планирования и управления производством, так и эффективного мониторинга его KPI-показателей. Она позволяет решать задачи анализа, синхронизации, координации и оптимизации выпуска продукции, в частности в рамках цехового производства. Применение MES-системы управления производством позволяет значительно повысить эффективность производственных процессов и увеличить его прибыльность даже в условиях отсутствия дополнительного финансирования реинжиниринга производства.

Основными функциями MES-системы являются:

- управление производственными процессами в реальном масштабе времени;
- оперативность и детальность планирования производства;
- диспетчеризация производства;



- анализ производительности;
- контроль и учет распределения ресурсов;
- контроль состояния ресурсов;
- управление техническим обслуживанием и ремонтом;
- контроль исторических трендов продукции;
- управление документами;
- управление персоналом;
- управление качеством продукции.

Основными функциями, определяющими оперативное управление производством, являются оперативно-календарное планирование и диспетчеризация производственных процессов в цеху.

Диспетчеризация производственных процессов (рис. 6.2) выполняется оперативным менеджментом в реальном масштабе времени с использованием программно-аппаратных средств MES-системы



Рис. 6.2. Функции MES

Хотя алгоритмы выполнения этих функций строятся на эвристике, они могут быть сложными при реализации. Действительно, MES-алгоритм оперативно-календарного планирования должен найти необходимое решение только при учете всех ограничений производства (причем такие ограничения всегда специфичны для конкретного производства и его состояния). Только после этого, на этапе оптимизации, происходит поиск подходящего расписания. Затем, после получения MES-системой заданного ERP-системой объема работ, она формирует более точные расписания для оборудования и контролирует их выполнение в оперативном режиме. Оперативный контроль сопровождается непрерывной оценкой экономических показателей выполняемого объема производства.

Такие алгоритмы сложны и специфичны и требуют исполнения большого числа функций, которые в настоящее время регламентированы международными стандартами. Согласно стандартам MESA, различают две модели

управления производством, реализуемые на основе 11 и 8 базовых функций [23, 26]. MES-система на основе одиннадцати базовых функций (рис. 6.3) выполняет следующие функции:

- Управление процессами производства (PM) – функция управления процессами, мониторинг их состояния, оперативная оценка отдельных показателей. Она обеспечивает поддержку принятия управленческих решений по производству диспетчером на основе заданных бизнес-правил.

- Оперативное/детальное планирование (ODS) – функция расчета расписаний производства продукции.

- Диспетчеризация производства (DPU) – функция контроля выполнения технологических операций с отслеживанием изготовления и перемещения продукции в режиме реального времени.



Рис. 6.3. Одиннадцать функций, реализуемых MES

- Контроль состояния и распределения ресурсов (RAS) – функция отслеживания состояния и контроля трендов ресурсов запущенных операций, ведение исторической базы данных о состоянии оборудования.

- Анализ эффективности (РА) – функция, позволяющая менеджменту производства получать аналитическую информацию в виде отчетов, графиков, экранных форм.

- Управление исторической информацией о производстве (РТГ) – функция управления БД о выполненных технологических операциях, плановых и фактических показателях использования сырья и материалов.

- Управление техобслуживанием и ремонтом (ММ) – функция автоматизированного управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования производства.

- Сбор и хранение данных (DCA) – функция ведения базы данных о процессах, ресурсах, материалах.

- Управление персоналом (LM) – функция ведения справочника работников производства с указанием их квалификации, сертификатов повышения квалификации, кадровой траектории роста.

- Управление качеством продукции (QM) – функция статистического контроля качества, выявление и предупреждение трендов изменений состояния оборудования, качества сырья, материалов и готовой продукции.

- Управление документами (DOC) – функция автоматизации внутрицехового документооборота.

В настоящее время 11-функциональная модель управления производством пересмотрена: базовые функции, относящиеся к составлению производственных расписаний (ODS), управлению техническим состоянием и ремонтами (ММ), а также цеховому документообороту (DOC), были исключены из базовой модели MESA-11, и таким образом в настоящее время модель MES включает только 8 функций: RAS, DPU, DCA, LUM, QM, PM, RTG, RA.

Разработка новой модели была вызвана тем фактом, что при управлении процессными производствами и цепочками поставок надёжный обмен информацией в производстве необходим гораздо больше, чем обмен между несколькими уровнями одной системы.

#### ***Пример применения оперативного управления на основе MES-системы***

Пусть СУП получает задание на некоторый горизонт планирования либо в виде объема продукции, которую цех должен выполнить за определенное время, либо этот же объем представляется в виде готового расписания для цеха (рис. 6.4). В обоих случаях могут быть указаны сроки выхода продукции из цеха [29].

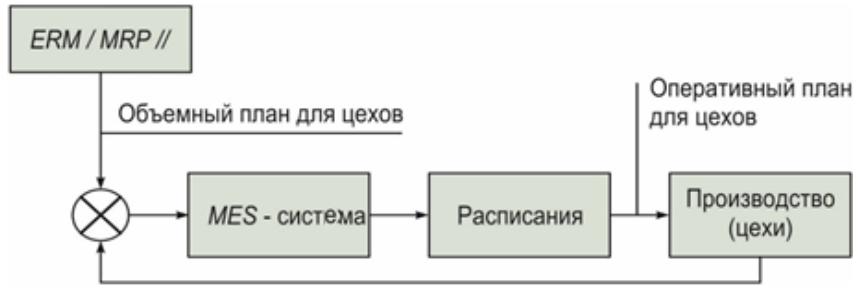


Рис. 6.4. Структурная схема MES управления производством

В первом случае MES-система получает задание от ERP-системы, во втором случае она может получить задание от системы планирования, например APS (Усовершенствованная система планирования). По получении задания MES-система производит анализ планов по следующим показателям: выполнимость планируемого объема продукции по оборудованию, технологии, ресурсам и др.; исходные материалы, оснастка и др.; необходимость изготовления специального инструмента и оснастки; приоритетность изготовления деталей и узлов. При анализе всех входных данных MES-система использует различные базы данных: БД технологических процессов, БД оборудования (основного и вспомогательного), БД персонала, БД материалов, справочно-нормативную информацию (рис. 6.5) [29].

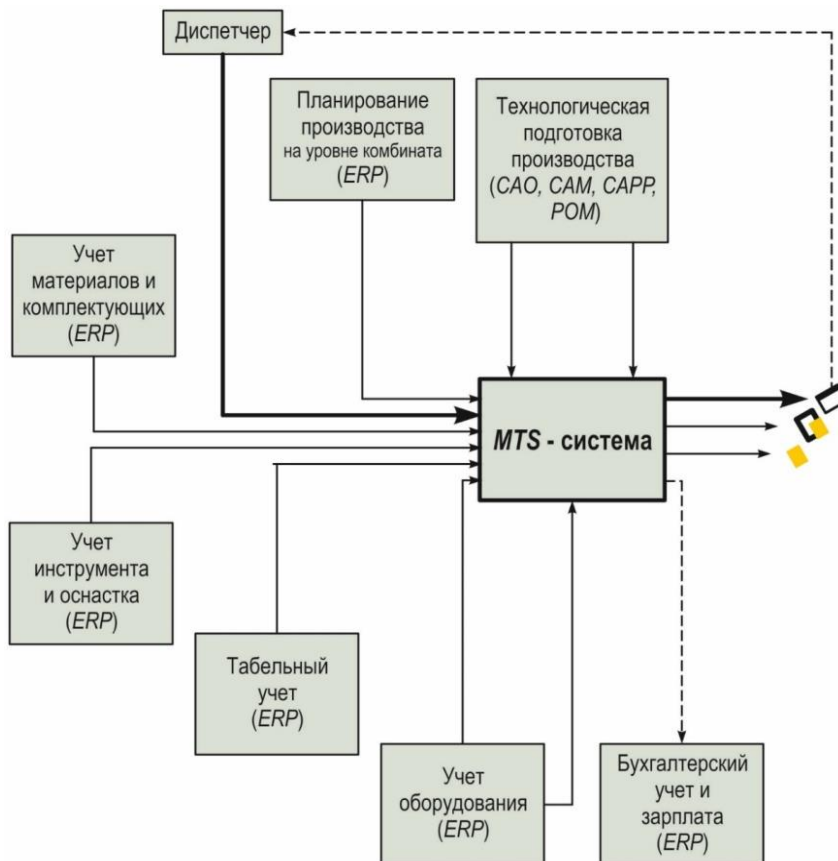


Рис. 6.5. Производственное управление на основе MES-системы

В соответствии с поступившим планом выпуска продукции диспетчер цеха запускает в MES-системе алгоритм планирования. Для запуска выбранного алгоритма он задает тип модели планирования (имитационная, численная и др.), критерии оптимизации, определяет текущее состояние производственных мощностей, необходимость ремонта оборудования и производственные ограничения на момент планирования. После построения модели MES-системой производится расчет оперативного план-графика работы в цеху. При этом формируются следующие плановые производственные документы: наряд-заказы; объем и периодичность контроля качества выходной продукции; отчеты об использовании оборудования и материалов; расписание работы персонала; расписание работы основных и вспомогательных единиц оборудования; расписание планово-предупредительных и оперативных ремонтов оборудования. Вся дальнейшая работа производства теперь подчиняется данным текущим плановым документам, пока не будет выполнен план либо не поступит новое задание. Диспетчер, пользуясь оперативной информацией ответственных за производство, контролирует ход выполнения работ. При этом контролируются такие события, как запаздывание или опережение при изготовлении продукции, отсутствие материалов или оснастки, отказы оборудования, брак при изготовлении пр. Таким образом MES-система в СУП оперативно с учетом возможных отклонений может регулярно пересчитывать исходное расписание и определять сроки выполнения заданного объема работ с учетом объема работ (заказов), которые могут быть выполнены с нарушением сроков выпуска, и др.

Диспетчер может обратиться к ERP или APS-системам с запросом, если обнаружится, что изначальный объем задания невозможно выполнить при существующих производственных ограничениях.

Уровень управления технологией обеспечивается системами АСУ ТП. Данные с уровня АСУ ТП собираются в одном месте, анализируются и передаются для систем уровня MES и ERP.

Именно для этих целей в рамках построения MES-системы реализуется интеграционный уровень, позволяющий отделить вопросы обмена, хранения, обработки и консолидации данных с разнородных источников (SCADA, OPC, реляционные БД) от решения высокоуровневых проблем управления производством и предприятием, делая архитектуру системы простой и наглядной.

Во всех этих случаях MES-система контролирует и выполняет управление производственным процессом в режиме реального времени, постоянно корректируя план-график работы цеха и оперативно отслеживая поступление новых заданий. Все это обеспечивает MES-системам устойчивость выполнения заданий при возмущенном характере производственной среды.

### **Тестовые задания**

1. Manufacturing execution system (MES) – это...

а) специализированная программная система, предназначенная для решения задач как оперативного планирования и управления производством, так и эффективного мониторинга его КРІ-показателей;

б) система реального времени автоматизированного управления деятельностью производства в диапазоне оперативного управления производственным процессом;

в) диспетчерская система управления технологическим процессом в оперативном диапазоне времени принятия решения;

г) автоматизированная система быстрого реагирования на изменения производственных задач.

2. Задачами MES- планирования производства являются:

а) расчет сроков выполнения заказов с учетом текущей загрузки оборудования;

б) автоматическое определение требуемого количества ресурсов;

в) расчет плановой себестоимости изделия;

г) визуализация процесса производства по заказам.

3. Основные функции MES-системы– это...

а) следить за состоянием и распределением ресурсов;

б) управлять качеством продукции;

в) управлять технологическими процессами;

г) управлять техническим обслуживанием и ремонтом;

д) анализировать производительность технологического оборудования;

е) начислять заработную плату работникам за выполненную работу,

4. Какие базовые функции исключены из 11 функций в модели MES-управления производством?

а) составление производственных расписаний;

б) управление техническим состоянием и ремонтами;

в) цеховой документооборот;

г) все перечисленные.

5. Что содержит план-график цеховой работы?

а) сведения по использованию оборудования и материалов, о планируемых параметрах качества, расписание работы персонала;

б) расписание работы основных и вспомогательных единиц оборудования;

в) расписание планово-предупредительных и оперативных ремонтов оборудования;

г) все вышеперечисленное.

## 7. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

MES-система на основе сложного анализа производственных бизнес-процессов оперативно выбирает наиболее оптимальный вариант управления производством, выдает задания на производство работ и отслеживает их выполнение. В процессе производства она является интеллектуальным помощником при принятии оперативных решений.

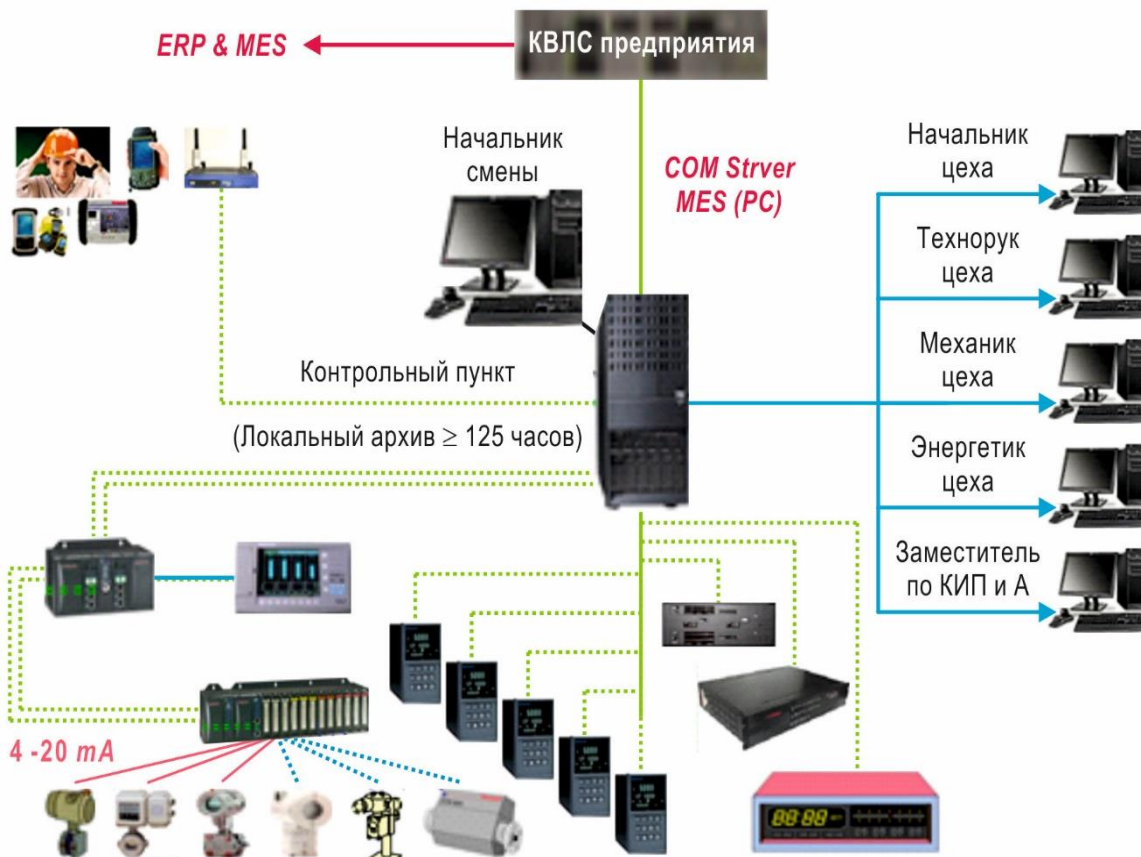


Рис. 7.1. Архитектура автоматизированного управления цехом производства

Примером такого интеллектуального помощника является компьютерная система управления Matrix (рис. 7.1). Она предназначена для построения:

- систем управления производством продукции цехами или предприятиями;
- систем управления технологическими процессами цехов или предприятий.

АСУ Matrix выполняет задачи сбора, анализа информации и управления производством. Новые технологии, заложенные в интеллектуальную систему, позволяют формировать высокий потенциал эффективности управления предприятиями с использованием модульных подсистем.

## Функции (модули) MATRIX MES

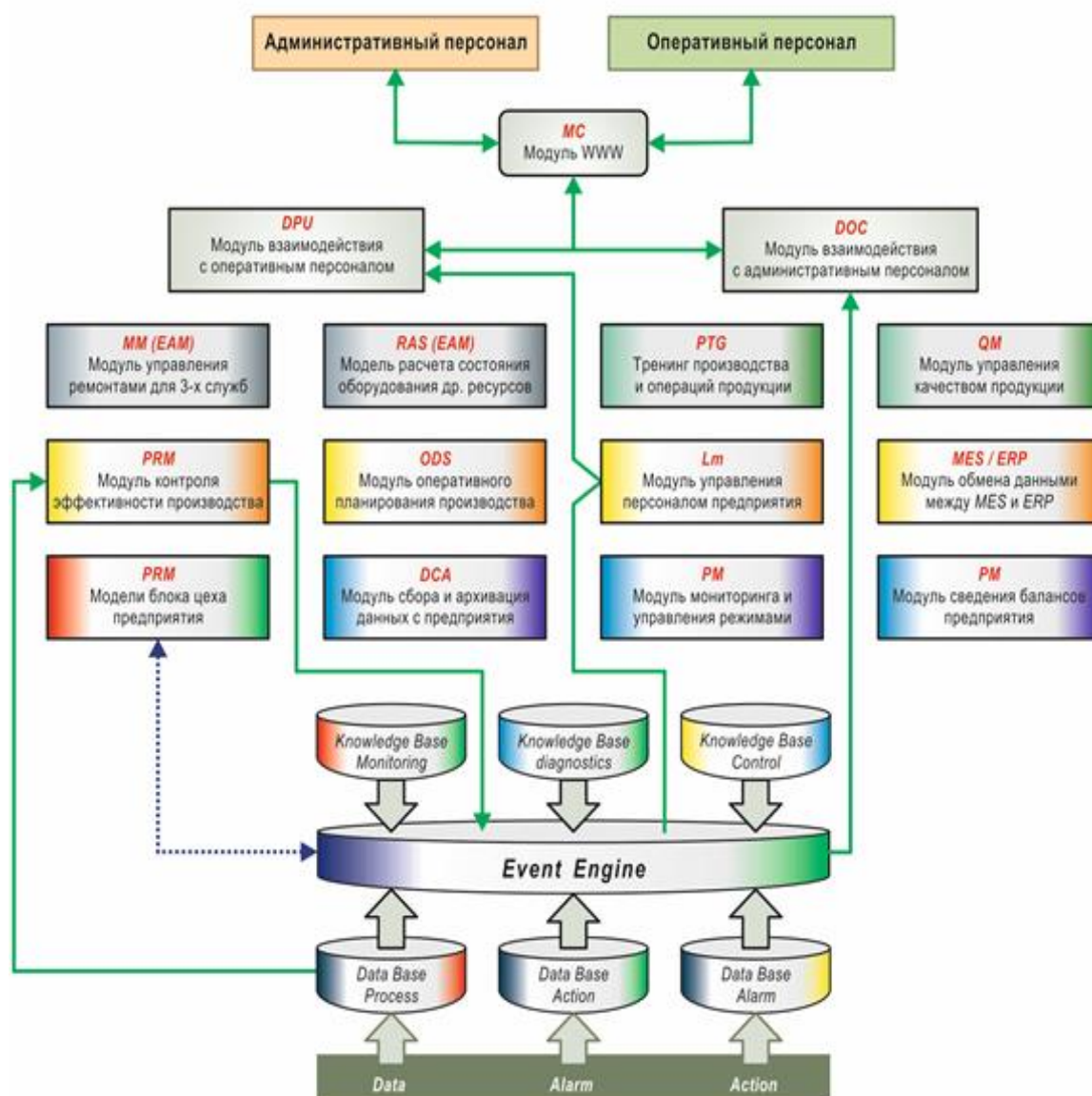


Рис. 7.2. Основные модули интеллектуальной MES-системы управления

Для работников цеха интеллектуальная система управления обеспечивает в режиме реального времени выполнение следующих функций (рис. 7.2) [23, 26]:

- мониторинг текущих изменений параметров технологического процесса и выпуска продукции [DCA];
- оперативный обмен информацией между работниками по разделам: процессы, оборудование, персонал в зоне их ответственности DPU, MC];



- мониторинг, диагностика и управление технологическим процессом в различных режимах его работы [PRM, PTG, PM];
- мониторинг, диагностика и архивация аварийных режимов работы [PRM, PM];
- мониторинг, диагностика ключевых показателей производства, загрузки узлов и агрегатов [PA, PRM];
- мониторинг, диагностика, учет и архивация информации по переводу остановленного оборудования в нормальный режим работы, контроль состояния деблокировочных ключей [PRM, PA];
- перераспределение материальных потоков по производству [PRM, PB];
- мониторинг и управление качеством выпускаемой продукции [PRM, QM];
- мониторинг, диагностика и управление выпуском продукции в целом и по каждому производству отдельно [ODS, PRM];
- мониторинг, учет, диагностика и архивация режимов и состояний каждой единицы технологического оборудования [PRM, RAS];
- мониторинг, учет, управление и архивация выполнения ремонтных работ по каждому оборудованию подразделений механиков, энергетиков и специалистов АСУ [PRM, MM];
- оперативный обмен информацией и данными системы и ERP [ERP/MES].

Ведение рабочих журналов на рабочих местах системы по разделам: оборудование, процессы, персонал [PRM, LM].

С использованием показанных на рис. 7.2 программно-аппаратных модулей MES-системы СУП обеспечивает непрерывную (в реальном масштабе времени) поддержку решений оперативного персонала.

*DCA (Сбор и хранение данных).* С помощью данного модуля в системе выполняется проверка на достоверность поступающей информации по косвенным и дублирующим параметрам. Он выполняет функцию восстановления данных, обеспечивая стабильность работы СУП при сбоях сетевых сервисов между цехами и вычислительным центром.

*DPU (Диспетчеризация производства).* Модуль предназначен для обеспечения эффективного взаимодействия работников цеха (рис. 7.3). С его помощью осуществляется необходимая выборка и адресная передача данных и сообщений с учетом профессиональной подчиненности пользователя системы. Пользователями DPU являются диспетчер цеха или предприятия в целом, оперативный и административный персонал предприятий и холдингов.

*PA (Анализ производительности).* Этот модуль предназначен для оперативного мониторинга и анализа хода выполнения плановых заданий и отклонений при выпуске продукции. С помощью этого модуля может выполняться

корректировка технологического режима с целью приведения производства продукции в соответствие с плановыми заданиями.

*PM (Управление производственным процессом)* использует модели производства, событийные модели управления. Он позволяет управлять процессами производства не только в нормальном режиме работы, но и при пусковых, и остановочных процессах производства.

*ODS (Оперативное / Детальное планирование)* предназначен для оперативного планирования выпуска продукции. Он позволяет оптимизировать производство продукции по заданным критериям (например, минимизации энергетических и материальных затрат).

*PTG (Отслеживание истории продукта)* предназначен для мониторинга потока сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Отслеживает в автоматическом режиме перемещения, обработку, позволяет корректировать операции и технологические режимы с целью получения конечного продукта заданного качества.

*LM (Управление персоналом)* создает в системе иерархическую модель организации предприятия, с формированием зон ответственности по каждому работнику. Использование этого программно-аппаратного модуля повышает производительность работы.

*QM (Управление качеством продукции)* предназначен для комплексного контроля качества выпускаемой продукции. Данные лабораторных измерений в автоматическом режиме передаются оперативному персоналу. Действия по исправлению отклонений по качеству контролируются и регистрируются системой.

*RAS (Контроль состояния ресурсов)* является программно-аппаратным модулем управления техническим обслуживанием и ремонтом и предназначен для контроля состояния технологического оборудования и ИКСУ.

*MM (Управление техобслуживанием и ремонтом)*. Этот модуль с использованием *RAS* позволяет оперативно выполнять техническое обслуживание и ремонт активов производства, что повышает производительность цехов и производств и уменьшает потери от поломок и остановов.

Оперативное управление (*DPU*) осуществляется как менеджерами цехов и производств, так и менеджерами активов и специалистами программно-технического комплекса (рис. 7.3).

Диспетчеры производства контролируют работу оборудования и персонала и управляют им в рамках рабочих смен, добиваясь установленных планом производства ключевых показателей эффективности процессов производства.

**DPU** диспетчеризация производства

## DOC - УПРАВЛЕНИЕ ДОКУМЕНТАМИ И СООБЩЕНИЯМИ

### Режимы обслуживания запросов:

- уровень 1 - оперативный персонал;
- уровень 2 - руководители технических служб предприятия и главные специалисты;
- уровень 3 - дирекция предприятия и их службы;
- уровень 4 - техническая дирекция управляющей компании и главные специалисты

### Непрерывный мониторинг и управление производством

#### Отслеживание:

- выполнения операций;
- занятости оборудования и персонала;
- выполнения объемов и заказов;



#### Контроль выполнения работ

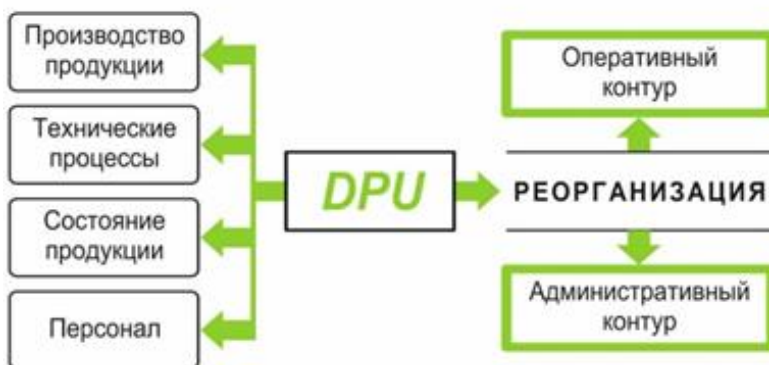


Рис. 7.3. DPU-диспетчеризация производства

В свою очередь, оперативный технолог предприятия при помощи подсистемы DPU, входящей в состав АСУ, получает инструмент контроля и принятия мер для выполнения:

- технологических режимов по производствам предприятия и норм расходования материалов и полуфабрикатов;
- безопасности производства;
- экологических режимов работы цехов и предприятия;
- производственных заданий.

В рамках своей ответственности оперативный технолог входит в категорию административно-технического персонала предприятия и является руководителем диспетчеров производства.

*DOC (управление документами и сообщениями).* Этот модуль обеспечивает передачу и сохранение данных, документов по службам технологов, механиков, энергетиков и специалистов СУП предприятия. Все сообщения, сформированные в автоматическом режиме другими подсистемами СУП, введенные в систему указания для персонала предприятия всех уровней направляются в подсистему DOC.

Работникам всех производств предоставляется вся необходимая информация в соответствии с политикой информационной безопасности:

- документы приема/сдачи смены работниками;
- паспорт оперативного мониторинга технологического режима с привязкой по сменам;
- отчеты о состоянии оборудования, журнал производственного контроля с привязкой по сменам;
- журнал действий оперативного персонала;
- отчет о соответствии производства продукции плановым заданиям по сменам с указанием причин отклонений; отчет о соответствии расходных норм плановым заданиям;
- отчет о пуске-остановке технологического оборудования и выполненных операциях по управлению производством.

Форма и содержимое указанных документов разрабатываются в соответствии с требованиями предприятия.

Для контроля состояния производства используются дополнительные программные модули. Так, модуль мониторинга событий (Event Monitoring) регистрирует и сообщает о всех событиях, происходящих на производстве. Это приложение автоматически выделяет нештатный режим работы и уведомляет технический персонал о происшедшем событии.

Мониторинг событий является основой интеллектуального управления состоянием активов производства СУП. В режиме реального времени рассчитываются ключевые показатели работы установки, отслеживаются отклонения, осуществляется автоматическое уведомление о событиях по электронной почте и определяются причины возникновения событий.

Архивация событий дает возможность сравнить текущие события с событиями, происшедшими в прошлом.

Event Monitoring помогает технологическому персоналу отслеживать все рабочие события и даже те, которые обычно не вызывают срабатывания сигнализации на уровне системы управления. Примерами таких событий являются:

- паспортные отклонения продукции, особенно когда необходимы сложные вычисления или лабораторные данные;
- алармы (предупреждения) об экономической неэффективности, снижении качества или большом энергопотреблении.

Это приложение позволяет выбрать из базы аварийная события, периоды времени, когда они происходили, время их устранения и др. для формирования аналитических данных.

Каждое зафиксированное событие сопоставляется с технологической установкой и связанным с ним множеством контролируемых показателей. Информация рапортов включает среднее, минимальное и максимальное значения

во время события для каждого параметра из их множества. Эта функциональная возможность позволяет быстро оценить, произошло ли событие и когда, и установить состояние процесса во время события и ключевые показатели эффективности (рис. 7.4).

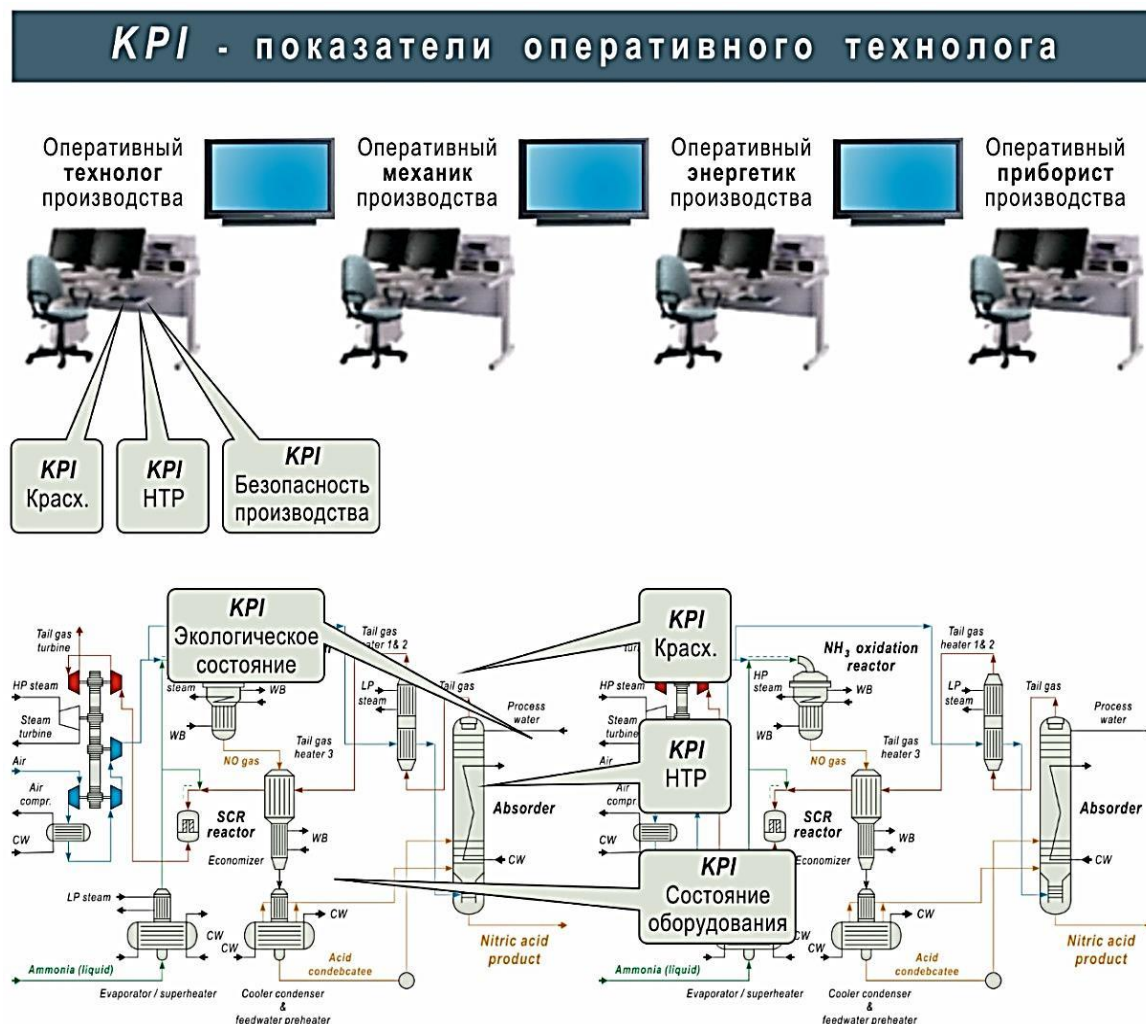


Рис. 7.4. Диспетчеризация ключевых показателей эффективности производства

Модуль Event Monitoring в соответствии с заданиями производит оповещение работников о зафиксированном событии путем отправки электронных уведомлений для скорейшего разрешения проблем.

Настройка приложения обеспечивает:

- конфигурирование контролируемых событий;
- установку периода регистрации;
- продолжительность хранения данных по истории событий;
- настройку электронной почты и шаблонов отчетов;
- настройку комплексной обработки события.

Анализ событий может выполняться с использованием Microsoft Excel с доступом ко всей истории событий, а также к соответствующим данным параметров процесса и качества.

Еще одним дополнительным модулем, расширяющим возможности системы, является дополнительный модуль балансировки материальных потоков производства.

Модуль анализа производительности производственного процесса в зависимости от выбранных при конфигурации опций обеспечивает контроль производительности технологического оборудования служб механиков и энергетиков. РА получает данные о процессах в каждой службе, вычисляет производительность и оперативно управляет производительностью оборудования и персонала.

Стандартная процедура на большинстве предприятий при контроле выполнения плана – это непрерывное сравнение фактической и плановой производительности. Однако при этом возникает проблема: формат данных, используемых, например, для бухгалтерского учета, отличается от представления, необходимого для планирования, и попытка «согласования» двух этих представлений создает значительное количество вычислений.

Отсутствие необходимого времени для согласования приводит к задержке принятия решений. Выходом из этой проблемы является решение этой задачи в СУП в автоматизированном режиме с использованием процедур балансировки материальных потоков.

Для необходимых вычислений используется единая база данных *RHD*. Расчет материальных балансов становится основой производственного учета, а данные, полученные в результате выполненного расчета, становятся основой для статистической корректировки измеряемых производственных параметров материальных потоков с приемлемой степенью достоверности.

Автоматизированный расчет материальных балансов возможен как по предприятию в целом, так и по отдельным производственным установкам. Он позволяет выявлять места возникновения потерь продукта, определять нарушения технологических параметров производства, выявлять неисправное оборудование и т. п.

Используя современные быстродействующие алгоритмы, материальная балансировка согласовывает все доступные показатели процессов, принимая во внимание точность и достоверность измеряемого показателя.

В качестве источников информации для выполнения анализа производительности и расчета себестоимости служат единая база данных *RHD*, референтная модель предприятия *Plant Reference Model*, данные о балансах приложения *Production Balance*, данные о производственных планах приложения *Production Scheduler*, а также средства базы знаний и аналитики ИИ.

Техническое обеспечение коммуникационной части MES-системы СУП включает следующие компоненты: серверы баз данных, комплекс телекоммуникационных средств, автоматизированные рабочие места специалистов, коммутаторы вычислительной сети.

В свою очередь вычислительный центр СУП с использованием кластера серверов обеспечивает сервисное сопровождение информационных потоков производства.

Комплекс технических средств всех уровней СУП выполняет информационный обмен по каналам связи, хранение и обработку данных в соответствии с требованиями менеджмента предприятия.

СУП таким образом объединяет:

- АСУТП;
- автоматизированные системы и узлы технического и коммерческого учета; автоматизированные системы энергоучета;
- автоматизированные системы лабораторного анализа и другие системы качества;
- автоматизированные системы пожарной и газовой сигнализации;
- автоматизированные системы мониторинга окружающей среды и контроля углеродного следа производства;
- автоматизированные системы видеонаблюдения и охранной сигнализации.

Для подключения этих систем используются стандартные физические и программные протоколы и интерфейсы, такие как OPC, Modbus, RS-485, Ethernet и др.

### **Тестовые задания**

1. Какие мониторинг-функции не приписаны к системам интеллектуального управления производством?

а) мониторинг текущих изменений параметров технологического процесса и выпуска продукции;

б) мониторинг, диагностика ключевых показателей производства, загрузки узлов и агрегатов;

в) мониторинг, диагностика и управление технологическим процессом с использованием средств искусственного интеллекта;

г) мониторинг КРІ предприятия по категориям и номенклатуре продукции.

2. Какие модули используются в интеллектуальной системе управления для обеспечения контроля состояния активов производства и управления техобслуживанием?

а) RAS (Контроль состояния ресурсов);

б) MM (Управление техобслуживанием и ремонтом);

- в) LM (Управление персоналом);
- г) PM (Управление производственным процессом).

3. Выберите наиболее значимые документы цехового уровня (с учетом политики безопасности):

- а) документ приема/сдачи смены работником;
- б) паспорт оперативного мониторинга технологического режима с привязкой по сменам;
- в) журнал проверок и учета о состоянии оборудования с привязкой по сменам;
- г) табель учета рабочего времени.

4. Как на цеховом уровне (Event Monitoring) реализуется мониторинг событий?

- а) заполнение специальных форм по виду и классу события;
- б) автоматический поиск и выявление нештатных ситуаций в информационной системе;
- в) диспетчерский мониторинг с составлением соответствующих документированных процедур;
- г) автоматическое оповещение с указанием признаков события и определением причин.

5. Особенности интеллектуальных систем управления производством являются:

- а) архитектура СУП на основе настраиваемой и расширяемой платформы;
- б) стандартизованная интеграция информационных систем управления предприятия в целом;
- в) стандартизованные модели базы данных и базы знаний о производстве;
- г) способность собирать, обобщать, анализировать и реагировать на производственные события в реальном времени с использованием средств ИИ.



## 8. УПРАВЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОЦЕССОВ

Известно, что одним из ключевых факторов успеха любого производства является то, насколько внедренные процессы соответствуют predetermined показателям производства и выполняются ли они в соответствии с заданными правилами [24].

Для решения этих задач в СУП применяется система мониторинга ключевых показателей производства, основанная на сборе, систематизации и анализе сведений о выполняемых процессах в проекциях системы сбалансированных показателей. Применение такой системы мониторинга обеспечивает прозрачность результатов, выполняемых процессов и дает объективную картину для лиц, принимающих решения.

В рамках цикла управления СУП и непрерывного совершенствования процессов менеджмента предприятия контролируются такие их параметры, как объемы потребления энергии, выполняемые показатели качества продукции, ее объемы и др. На основе анализа этих и других параметров принимаются решения о совершенствовании структуры процесса, например, перенастройка регуляторов технологических процессов, перераспределение полномочий участников, совершенствование IT-обеспечения процесса и т. д. [43].

Объективность принимаемых решений возможна только при контроле КРІ. В основе управления производственными процессами по показателям КРІ лежит концепция отсроченных и опережающих ключевых показателей эффективности.

Оценки отсроченных и опережающих КРІ могут быть использованы в терминах как оперативного, так и стратегического управления процессами. На этапе оперативного планирования опережающие показатели эффективности оцениваются в рамках задаваемого системой СУП периода операционных циклов.

Отсроченные (лаговые) КРІ носят исторический (взятый из архивов) характер и используются для оценки уже произошедших в прошлом событий. К ним относится большинство финансовых показателей. Система управления процессами лишь опосредованно управляет такими показателями, поскольку контроль отсроченных показателей осуществляется с периодической оценкой надзорных подразделений. Поэтому отсроченные КРІ становятся результатом оценки системой в целом и они обычно появляются в управленческой отчетности не чаще одного раза в месяц [43].

Для решения задач управления производством используются специальные программно-аппаратные средства, которые позволяют операторам выполнять функции мониторинга основных направлений деятельности предприятия (бизнес-процессов и технологических процессов) путем оперативной оценки их эффективности посредством специальных индикаторов (рис. 8.1).

## ИНДИКАТОРЫ ПРОЦЕССОВ

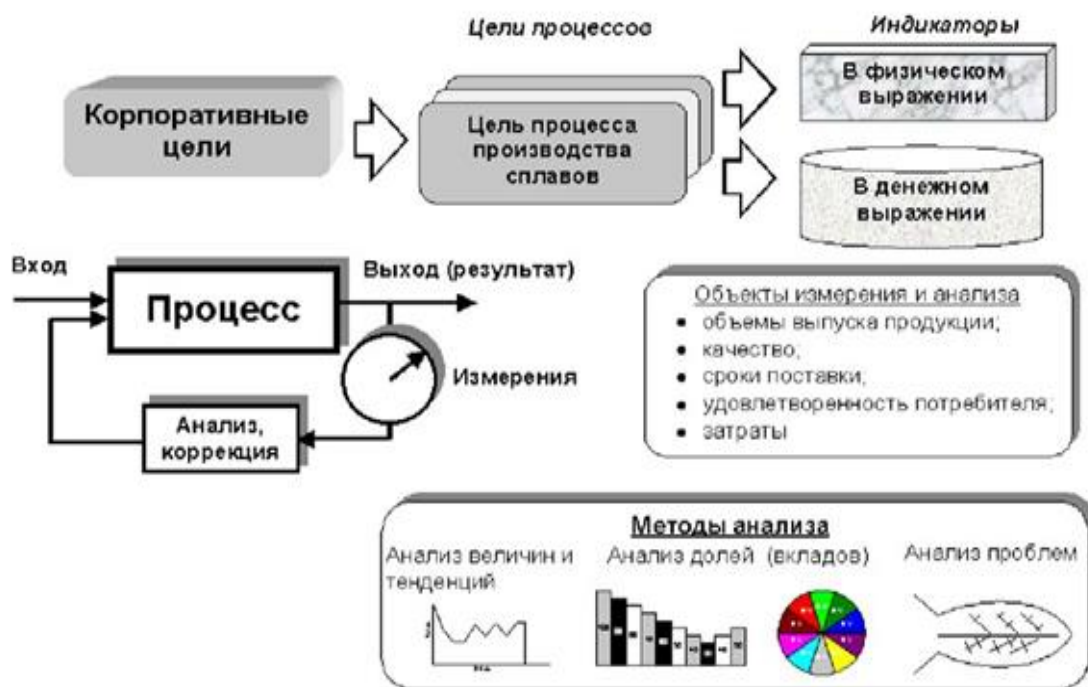


Рис. 8.1. Индикаторы процессов

Применение этих инструментов значительно расширяет «область наблюдения» процессов руководством и автоматизирует решение следующих задач СУП:

- мониторинг выполнения наиболее важных процессов;
- определение результативности и эффективности бизнеса и технологических процессов;
- определение эффективности использования ресурсов;
- выявление и прогнозирование тенденций по ключевым показателям. Как правило, работник предприятия контролирует свой сектор ответственности с помощью АСУ, которая в режиме реального времени процессов обеспечивает пользователя подготовленной параметрической и аналитической информацией о результативности процессов.

Для контроля технологических процессов применяются DPI (Detailed Process Indicator) приборные измерения, показывающие параметры процесса и KPI (Key Performance Indicator), ключевые показатели эффективности, агрегированные показатели процесса (рис. 8.2).

Для измерения ключевых показателей эффективности используются как шкальные индикаторы, так и мягкие оценки с заданными зонами неопределенности между оценками «планового» и «минимально приемлемого» показателя эффективности [43]. Шкальные индикаторы процессов реализуются путем использования измерений КИПиА (рис. 8.2).

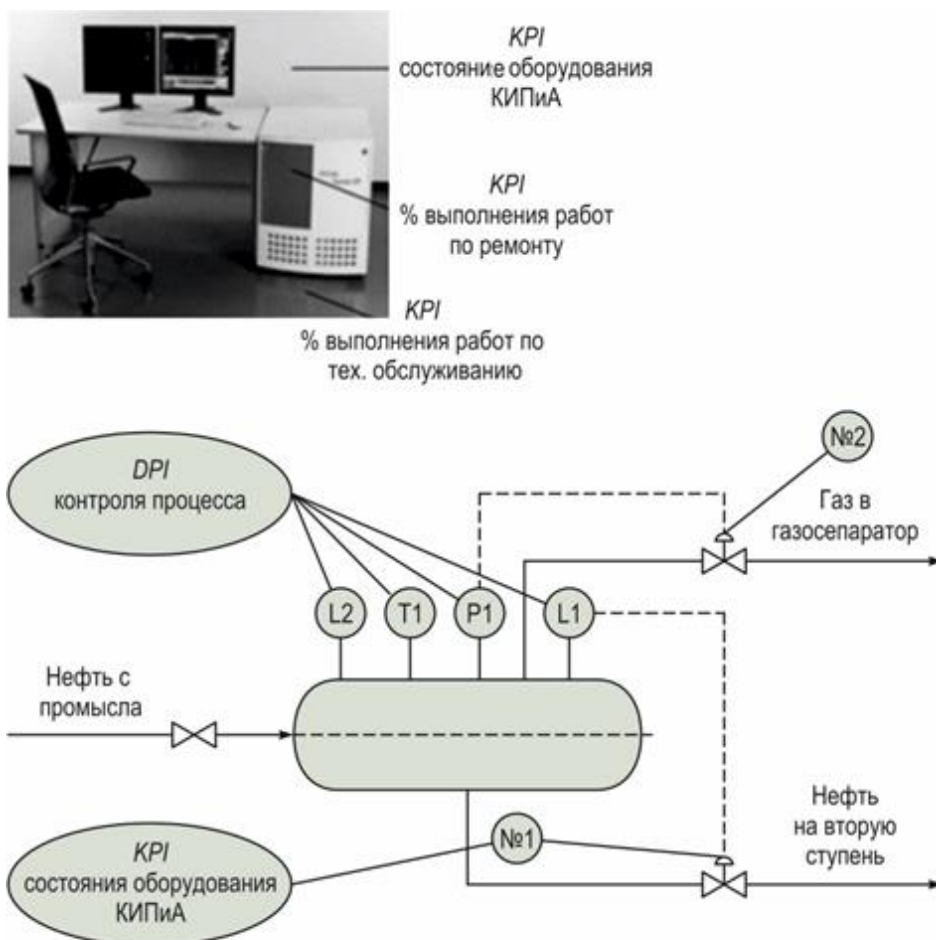


Рис. 8.2. Мониторинг показателей DPI и KPI

Мягкие оценки процессов на предприятии применяются потому, что достижение точности, определенности и строгости результатов оценки показателей требует полного учета всех его операционных составляющих, а это в большинстве случаев приводит к большим ресурсным и финансовым затратам и иногда в принципе невозможно [43].

Примерами мягких оценок являются контекстные, порядковые, абсолютные, интегральные оценки, которые используют как шкалы отношений, так и шкалы разностей.

При выполнении мониторинга KPI показателей бизнес-процессов уделяется внимание не только финансовым и объемным результатам деятельности, но и операционной эффективности внутренних процессов.

Это обеспечивает своевременную выявляемость потенциальных проблем в производственных процессах и принятие правильных управленческих решений.

Продолжительность операционных циклов бизнес-процессов обычно составляет от недели до месяца, в то время как операционные циклы управления

технологическими процессами выполняются в реальном времени. Значительное различие периодов оценки показателей бизнес-процессов и технологических процессов становится серьезной проблемой их комплексного использования в СУП [43].

Мониторинг ключевых показателей процессов включает следующие функции:

- отслеживание текущих значений показателей и степени достижения плановых значений в контролируемые периоды времени (если они есть);
- разносторонний анализ зависимости значений показателей от их аналитического окружения (например, причин несоблюдения плановых заданий выполнения процессов);
- анализ результативности бизнес-процессов или подразделений в соответствии с параметрами выборки (по процессам заданного типа, по показателям заданной категории и т. п.).

По результатам мониторинга процессов принимаются различные управленческие решения, такие как перераспределение ресурсов по процессам, пересмотр плановых объемов работ по процессам и др. При систематическом невыполнении планов и бюджетов по процессу принимаются решения об оптимизации структуры таких процессов.

Мониторинг ключевых показателей DPI и KPI является основой принятия решений по управлению процессами и обеспечивает необходимую объективность при задании ежедневных работ и планировании производства.

В режиме реального времени вычисляются ключевые показатели работы установки и систематически отслеживаются их отклонения от заданий. Специальное программное приложение СУП обеспечивает мониторинг показателей DPI и KPI и обнаруживает, регистрирует, сообщает о текущих событиях, происходящих с процессами производства. Это приложение может отслеживать также такие текущие события, которые не фиксируются методами и средствами традиционной сигнализации системы диспетчерского управления.

Информация о нештатном режиме работы процесса сообщается техническому персоналу на экраны компьютерных мониторов в виде предупреждающих сигналов: события, тревожные сообщения.

Все события и тревоги, сформированные в СУП, обрабатываются в соответствии с присвоенным им приоритетом. Для обслуживания событий устанавливается следующая шкала приоритетов событий:

- тревога, которая не требует принятия каких-либо оперативных действий;
- аларм, связанный с переключением оборудования по инициативе автоматических систем управления;
- событие, связанное с переключением оборудования по инициативе автоматизированных систем;

- аларм, связанный с нарушением основных параметров технологического режима, которое может привести к снижению качества или производительности производства;
- аварийное событие, связанное с отказом, поломкой оборудования, приборов, устройств и/или аварийным нарушением технологического режима;
- событие, связанное с грубым нарушением технологического режима, поломкой основного оборудования, которое привело к останову производства;
- аварийное событие, связанное с грубым нарушением технологического режима или работы оборудования, которое привело к аварийному развитию событий, поломке оборудования и потере продукции;
- событие, связанное с аварийным остановом производства или поломкой основного оборудования и значительными потерями продукции;
- авария, связанная с аварийным остановом и/или поломкой оборудования, что создает угрозу для работников предприятия или жителей населенных пунктов.

Мониторинг событий предоставляет следующие основные преимущества, которые расширяют возможности по совершенствованию эксплуатации установок:

- формирование тревожных сигналов, соответствующих их приоритету;
- автоматическое уведомление о произошедшем событии по электронной почте;
- автоматическое определение причины возникновения событий путем оценки приоритетности их устранения;
- возможность сравнивать текущие события с событиями, произошедшими в прошлом.

Подсистема мониторинга технического состояния активов в циклах опроса в подсистеме DCA СУП обеспечивает наблюдение и контроль состояния оборудования и формирует в общем случае отчетность со следующим содержанием:

- параметры, отображающие срок эксплуатации оборудования;
- параметры, отображающие текущее состояние оборудования;
- условия эксплуатации оборудования;
- дефекты оборудования.

Результаты мониторинга оборудования формируются как оперативная информация по каждой единице оборудования и одновременно как комплексный показатель (KPI) для каждой единицы оборудования.

Ключевые показатели эффективности задаются менеджментом на верхнем уровне управления. Они являются основными показателями, с помощью которых вышестоящий уровень управления контролирует работу нижестоящего уровня управления. Для обеспечения целостности СУП совокупность индикативных и контрольных показателей должна быть определена заранее

для всей вертикали управления. Подобная технология является основой принципа управления по целям (Management by objectives – MBO), при котором нижестоящий уровень управления вовлечен в процесс целеполагания на языке ключевых показателей эффективности, что наилучшим образом влияет на достижимость стратегических целей компании.

В последние годы появился целый класс специализированных IT-решений, предназначенных для анализа больших объемов информации, в частности технология обработки неструктурированной информации Big Data. Они нужны тогда, когда традиционных технологий для обработки данных недостаточно.

Примерами реализованных IT-инструментов для обработки данных являются: SAP Business Intelligence Platform, ERWin, Process Modeler, Plan Business Intelligent, ARIS, Process Performance Manager.

Инструменты этого типа позволяют строить модели бизнес-процессов (модели сквозных бизнес-процессов), формировать с использованием ERP-систем статистику о выполненных операциях и выполнять анализ результативности процессов (рис. 8.3) [43].



Рис. 8.3. Балансировка потоков продукции

Эти инструменты встраиваются в порталные IT-системы компании и позволяют оперативно оценивать показатели деятельности предприятия с использованием математических выражений.

Графическое представление показателей эффективности в СУП включает в себя: имя показателя, значение, текущий период, индикатор, тренд, предупреждающий символ, а также ссылки на план действий.

В СУП можно просматривать и изменять показатели, а также информационные элементы и присоединенные показатели других элементов.

Каждый КРІ-показатель представлен на экране компьютера определенным цветом индикатора:

- зеленый цвет индикатора означает, что фактическое значение показателя за выбранный период достигло или превысило плановое значение;
- желтый цвет означает, что фактическое значение показателя не достигло планового значения, но находится в допустимых пределах;
- красный цвет индикатора означает, что фактическое значение показателя имеет значение менее допустимого и возникла критическая ситуация [43].

Технологические показатели вычисляются либо с использованием системы SCADA, либо посредством применения виртуальных анализаторов. В свою очередь целевые значения контрольных показателей задаются для выполнения системами автоматизированного управления процессами либо непосредственно СУП, либо оператором.

Задача же технологического уровня управления СУП – сформировать текущие значения индикативных показателей и затем управлять процессом таким образом, чтобы способствовать достижению контрольных показателей. При этом для обеспечения целостности системы управления совокупность индикативных и контрольных показателей должна быть задана для всей вертикали управления.

Таким образом, с помощью КРІ решаются следующие задачи:

- реализуется общее понимание производственной ситуации, в которой находятся участники;
- устанавливается динамика ситуационного развития процесса за определенный период деятельности и выявляются тенденции ее изменения;
- определяются наиболее эффективные подходы к реализации процессов с использованием лучших практик;
- осуществляется подготовка необходимой информации для обоснования решений и выполнения непосредственных действий;
- определяется возможность достижения целей при проведении планируемых действий на активах процессов.

### ***Тестовые задания***

1. Ключевой показатель эффективности – это...

- а) числовой показатель деятельности, который помогает измерить степень достижения целей или оптимальности процесса;
- б) количественно измеримый индикатор фактически достигнутых результатов;
- в) продолжительность простоев и их классификация;
- г) качественный показатель эффективности работы системы управления производством;

д) все вышеперечисленное.

2. Основными функциями автоматизированного мониторинга КРІ являются:

а) автоматическое отслеживание текущих значений показателей эффективности процессов производства и степени достижения плановых значений в контролируемые периоды времени (если они есть);

б) анализ тренда выполнимости плановых заданий производством;

в) оценка в реальном времени агрегированных показателей эффективности процесса производства;

г) анализ соблюдения техники безопасности.

3. Чем отличаются приборные измерения технологических параметров процессов (DPI) производств от ключевых показателей эффективности (KPI)?

а) DPI – приборные измерения, показывающие параметры процесса;

б) KPI – агрегированные показатели процесса;

в) DPI не используют для оценки эффективности процесса;

г) KPI – только агрегированные показатели процесса.

4. Какие типы оценки применяют при контроле ключевых показателей эффективности процессов производства?

а) шкальные индикаторы и мягкие оценки с заданными зонами неопределенности;

б) только мягкие оценки с заданными зонами неопределенности;

в) только шкальные индикаторы;

г) интегральные показатели.

5. Какой из перечисленных ниже показателей не следует включать в KPI?

а) коэффициенты отбора продуктов в производство из исходного сырья;

б) глубина переработки энергопродукта по цеху и технологическим установкам;

с) отклонение выработки полуфабрикатной и готовой продукции от плана;

д) отклонение качества выпускаемых полуфабрикатов и готовой продукции.



## 9. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

В большинстве практических случаев управление процессами осуществляется на основе использования результатов мониторинга производственной ситуации.

Сегодня на предприятиях для измерений эффективности процессов чаще всего применяют поточные анализаторы, используемые для определения физико-химических свойств продуктов в режиме реального времени, и различные инструменты для лабораторного анализа (LIMS).

Практический опыт работы с результатами анализа производственных ситуаций показывает, что их достоверность в некоторых случаях оказывается неудовлетворительной. Основная причина этого состоит в несоответствии пропускной способности потоковых КИПиА и лабораторных средств анализа.

Применение дорогих анализаторов процессов производства существенно повышает своевременность контроля состояния материальных потоков, однако, они требуют регулярного высококвалифицированного эксплуатационного обслуживания и часто не обеспечивают достаточной полноты информационного обеспечения с точки зрения создания автоматизированных контуров СУП.

Несмотря на высокую точность и непрерывность измерений, самодиагностику и визуализацию показаний, поточные анализаторы имеют свои недостатки: необходимость периодической калибровки показаний, требования квалифицированного обслуживания и, главное, высокую стоимость оборудования.

Виртуальный анализатор (ВА) в настоящем разделе пособия представляет собой модельное средство для измерения или оценки переменных, характеризующих выходную продукцию процесса (рис. 9.1). Он выполняет задачи косвенного измерения качественных показателей процесса с использованием данных, полученных вспомогательными средствами измерений, а также архивных производственных данных.

Целями использования ВА являются:

- контроль трудноизмеримых параметров процессов;
- контроль достоверности измерений процессов;
- повышение оперативности управления процессом.

Основным назначением виртуальных анализаторов является повышение уровня информационно-аналитической обеспеченности оперативного персонала и создание условий для управления как отдельным процессом, так и производством в целом.



Рис. 9.1. АСУТП виртуальный мониторинг состояния процесса

Дополнительно ВА обеспечивает:

- дублирование измерительных средств;
- востребованность в проведении их калибровки, юстировки, сверки и т. п.;
- использование в качестве дополнительного контрольно-измерительного средства технологической установки в интересах раннего обнаружения возможных неисправностей.

Основными источниками информации для виртуального анализа являются:

- скрытая избыточность, содержащаяся в физико-химической основе существующих систем КИПиА и в анализах заводской лаборатории;
- технологические знания, накопленные в процессе управления процессом и хранящихся в БД СУП.

Отбор источников информации для построения модели ВА соответствующего процесса, как правило, осуществляют работники, имеющие знания и опыт, накопленные ими за время эксплуатации конкретной установки.

ВА позволяют оператору контролировать ход ведения процесса в случае выхода из строя базового потокового анализатора или при значительной задержке получения данных лабораторных анализов, а также при отсутствии базового КИПиА или лаборатории анализа измерений.

ВА реализуются с помощью специализированных программных средств, интегрируемых с СУП. Разработка ВА начинается с анализа полученных в ходе выполнения процесса статистических данных и выбора подходящей модели.

В качестве наиболее распространенных методов, используемых при разработке ВА, можно выделить:

- методы статистической обработки;
- метод группового учета аргументов;
- нейронные сети.

В ходе эксплуатации виртуального анализатора требуется периодическая корректировка его модели, которая может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режимах по данным лабораторных анализов и измерениям поточных анализаторов. Виртуальные анализаторы имеют низкую стоимость внедрения и обслуживания и эффективны при оценке состояния процессов.

При воздействии различных возмущений процессы периодически отклоняются от заданных заданий, поэтому требуется их постоянная стабилизация. Качество работы технологической установки определяется не только значением основных технологических параметров (температура, давление, расход), но и составом сырья, а также показателями качества выходной продукции.

Основная идея виртуального мониторинга состоит в получении знаний о текущем состоянии процесса и динамике хода его выполнения. Это реализуется путем глубокой математической обработки оперативных и архивных данных, полученных базовыми контрольно-измерительными приборами.

Виртуальные анализаторы позволяют получать в реальном времени и передавать для управления данные о трудноизмеримых параметрах процессов. В результате ВА выполняют функцию обычных измерительных устройств и могут использоваться в СУП вместе с ними. Они помогают оператору непрерывно контролировать выполнение процесса в непрерывном режиме в случае временной задержки данных лабораторного контроля производства, а также при выходе из строя базового КИПиА или при отсутствии поточного анализатора.

При использовании ВА дополнительным источником информации являются сведения, получаемые из базы знаний. Соответствующая база знаний может быть выполнена как в форме традиционной (реляционной) БД, так и в форме больших данных (Big Data), обеспечивающих накопление технологического опыта в многомерном формате данных.

ВА реализуют алгоритмы косвенных измерений (рис. 9.2), позволяющих получать и использовать в реальном времени при управлении процессом информацию о трудноизмеримых или неизмеримых технологических параметрах, применяя статистические методы обработки и нейросетевые алгоритмы обработки данных.

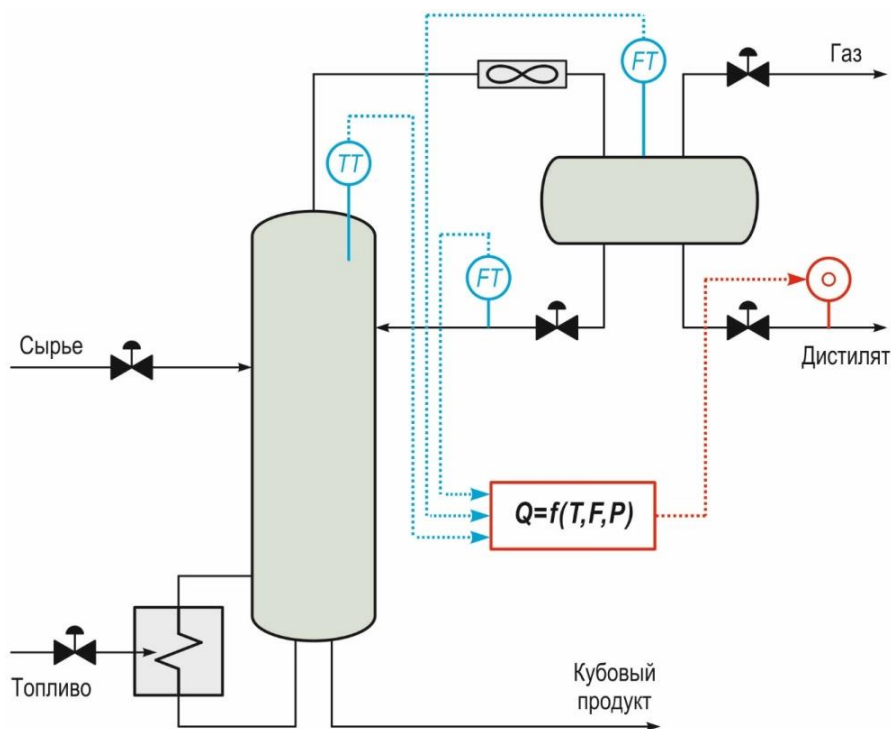


Рис. 9.2. Пример виртуального анализатора контроля дистиллятора

Так как часто трудноизмеримый параметр может характеризовать эффективность процесса в целом и входить в целевую функцию оптимизации, то в этих случаях ВА, выполняя оценку ключевых показателей эффективности, становится основой для построения системы оптимизации производства.

Важным, например, для нефтехимического производства является трудноизмеримый контроль таких ограничений, как величина концентрации определенного компонента в продукте, температура вспышки, температура точки росы, кинематическая вязкость. И в этом случае ВА является незаменимым средством измерения.

Традиционно используемые в задачах управления подходы к виртуализации измерений основаны на предположении о возможности получения для конкретного процесса аналитически заданной функциональной вход-выходной зависимости с последовательным уточнением значений ее коэффициентов. Однако, несмотря на постоянное совершенствование используемых методов, такие модели применимы только для хорошо формализуемых процессов.

Поскольку в реальных условиях эксплуатации большинство процессов из-за недостатка имеющихся знаний о них и среде их функционирования

слабо формализуемы, прежде чем строить модель ВА, приходится оценивать возможность ее построения в условиях заданных ограничений. Такая задача получения прогнозирующей модели объекта слабо формализованной структуры в целом требует всякий раз применения специальных математических методов с учетом особенностей конкретных процессов.

Для этого используются различные модели. Так, принцип действия виртуального анализатора основан на непрерывном определении показателя качества по математической модели, описывающей взаимосвязь расчетных данных с текущими значениями измеряемых технологических переменных (рис. 9.3).

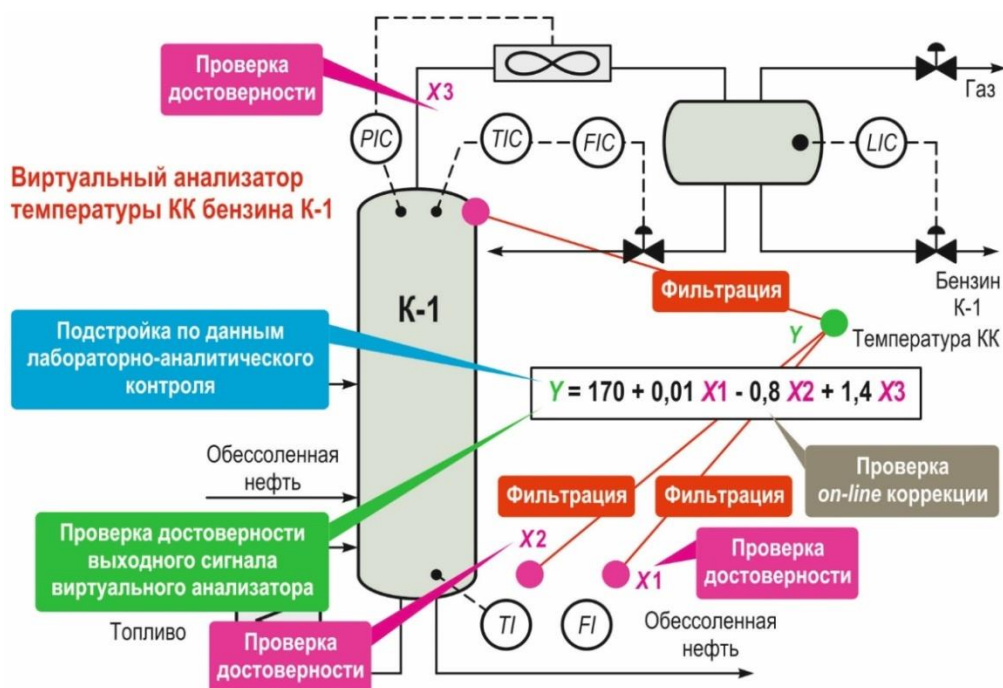


Рис. 9.3. Виртуальный мониторинг показателей эффективности процессов

В результате реализуется следующая функциональность ВА:

- объективный технологический анализ процессов как объектов управления;
- прогнозирование качества выходной продукции для выбранного технологического режима;
- оценка показателей качества входных материальных потоков и коррекция требований к ним;
- оптимизация управлений процессами в соответствии с заданными критериями качества;
- выявление и корректный учет значимых взаимосвязей параметров процессов;
- автоматизация управления процессами.

С использованием ВА обеспечивается:

- поиск наиболее рациональных решений по управлению процессами для различных критериев эффективности;
- поиск новых технологических режимов для различных критериев эффективности;
- контроль углеродного следа производства и экологической безопасности;
- выявление скрытых технологических и технических угроз и своевременное оповещение о возможности их устранения;
- устойчивая и безопасная эксплуатация процессов;
- верификация и проверка КИПиА;
- построение системы автоматизации технического обслуживания и ремонта, обучение и подготовка кадров;
- возможность управления технологической установкой персоналом, имеющим средний и низкий уровень квалификации.

В ходе эксплуатации ВА требуется периодическая корректировка, которая может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режимах по данным лабораторных анализов и сигналам КИПиА. Сегодня на производствах используются математические модели ВА, которые рассчитываются специальными поставщиками ВА.

Однако отлаженный ВА к моменту ее пуска в эксплуатацию может не соответствовать технологическому процессу, существующему на предприятии в настоящий момент.

Полученная модель соответствует лишь конкретным условиям работы процесса, поэтому при любом значимом изменении его характеристик требуется корректировка используемой модели, и весь трудоемкий процесс разработки ВА начинается сначала.

Расчет модели начинается с анализа собранной статистической информации и выбора метода решения и заканчивается получением функций ВА.

Виртуальный анализ в настоящее время развивается путем применения дополненной реальности.

*Дополненная реальность (Augmented Reality)* – это виртуальная среда, в реальном времени дополняющая физический мир процессов цифровыми данными с помощью программно-аппаратных средств.

Дополненную реальность отличают от виртуальной (Virtual Reality, VR) и смешанной (Mixed Reality, MR). Виртуальная реальность – это созданный программно-аппаратными средствами мир, передаваемый человеку через его органы чувств. Смешанная или гибридная реальность объединяет оба подхода (VR и AR). В дополненной реальности виртуальные объекты процессов проецируются на реальное окружение работника, обслуживающего или управляющего процессом.

Виртуальная реальность создает мир, куда может погрузиться работник при изучении процесса, а дополненная добавляет виртуальность процессов в реальный мир процесса. Виртуальная реальность взаимодействует лишь с работником производства, а дополненная реальность взаимодействует с процессом.

Технология AR реализуется посредством введения в поле восприятия человека данных измерений КИПиА с целью дополнения сведений о процессе и расширения восприятия информации о нем. Эта технология позволяет существенно расширить область данных, воспринимаемых человеком, за счёт переноса в реальный мир цифровой информации.

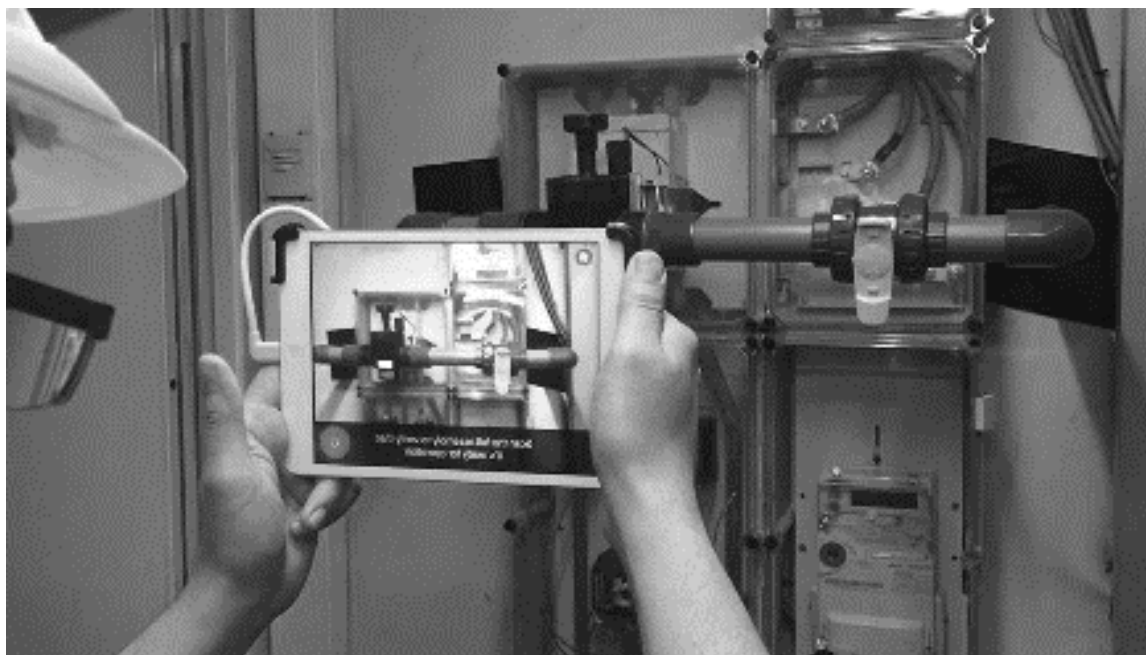
Процесс формирования дополненной реальности происходит с помощью телекамеры или иного устройства, которое может обрабатывать видеосигнал. Специальная программа дополняет картинку AR необходимыми виртуальными объектами, такими как видео- и аудиоматериалы, 3D-моделью и текстовым контентом.

Эта технология может как дополнять процессный мир новым содержанием, так и устранять из него части его содержания. Возможности дополнительной реальности ограничиваются лишь возможностями соответствующих устройств и программ. Основной принцип этой технологии – расширять понимание происходящих процессов и возможности управления ими.

На крупных промышленных предприятиях сейчас эксплуатируется много дорогого и высокотехнологичного оборудования, а квалифицированных специалистов для его обслуживания не хватает. Вариантом решения этой проблемы может быть использование тренажерного комплекса в виртуальной реальности, где рядовые специалисты смогут научиться выполнять типовые операции по замене расходных материалов или базовой перенастройке процесса производства (рис. 9.4).

Другая проблема – переналадка оборудования, которая происходит с установленным регламентом обслуживания периодом. Технические специалисты за этот период могут забыть тонкости технического обращения с установкой.

Комплект дополненной реальности может включать планшет, смартфон или очки. Наиболее удобны именно очки, так как в этом случае руки у работника всегда остаются свободными. Также очки дополненной реальности могут быть снабжены программно-техническими средствами удаленного консультирования экспертом в случае выхода из строя сложного оборудования. Эксперт поможет провести предварительную диагностику удаленно.



*Рис. 9.4. Техническое обслуживание с использованием дополненной реальности*

Ключевая деталь в таком взаимодействии заключается в том, что основной компетенцией обладает удаленный эксперт, находящийся «на базе» и дистанционно руководящий работником, выполняющим техническое обслуживание. В таком случае значительный эффект достигается за счет экономии на командировках дорогостоящих специалистов и их поиске, сокращении времени простоя оборудования – всё это, в зависимости от масштабов предприятия, может достигать десятков и сотен миллионов рублей [48].

AR включает в себя аппаратную и программную части. К первой относятся средства обеспечения виртуального присутствия удаленного специалиста на месте – таким средством может быть планшет, смартфон или специальные очки. Сюда же стоит отнести прочую ИТ-инфраструктуру вместе с корпоративным сервером и любым другим оборудованием, участвующим в передаче данных. Программно-алгоритмическая часть AR, как правило, уникальна для каждого проекта виртуального управления производственным процессом. В настоящее время не существует единой или хотя бы базовой платформы, принятой разработчиками AR-приложений в качестве стандарта для управления производственным процессом [48].

Очки, смартфон или планшет проецируют на реальное изображение те данные, которые необходимы технику в данный момент, будь то схемы либо порядок сборки, место возможной неисправности или серийный номер детали под замену.

С очками типа Microsoft HoloLens перед глазами работника-ремонтника появляется нужная информация: схема объекта, характеристики, тип поломки



и инструкция по восстановлению. Больше нет нужды искать данные в интернете или разбирать устройство целиком, чтобы понять, как оно работает. Визуализация дает возможность избежать малейших ошибок и решить задачи оперативно и качественно.

### **Тестовые задания**

1. Ключевой показатель эффективности – это...

- а) числовые показатели деятельности, которые помогают измерить степень достижения целей или оптимальности процесса;
- б) количественно измеримый индикатор фактически достигнутых результатов;
- в) продолжительность простоев и их классификация;
- г) качественный показатель эффективности работы системы управления производством.

2. Выберите из списка ключевые показатели эффективности производства:

- а) коэффициенты отбора продуктов в производство из исходного сырья;
- б) глубина переработки энергопродукта по цеху и технологическим установкам;
- в) отклонение выработки полуфабрикатной и готовой продукции от плана;
- г) отклонение качества выпускаемых полуфабрикатов и готовой продукции.

3. Основными функциями автоматизированного мониторинга KPI являются:

- а) автоматическое отслеживание текущих значений показателей эффективности процессов производства и степени достижения плановых значений в контролируемые периоды времени (если они есть);
- б) анализ степени выполнения плановых заданий в MES-системе;
- в) анализ измерений технологических параметров на предмет их соответствия регламентным требованиям;
- г) анализ соблюдения техники безопасности.

4. Чем отличаются приборные измерения технологических параметров процессов (DPI) производств от ключевых показателей эффективности (KPI)?

- а) DPI – приборные измерения, показывающие параметры процесса;
- б) KPI – агрегированные показатели процесса, а также приборные измерения;
- в) DPI не используют для оценки эффективности процесса;
- г) KPI – только агрегированные показатели процесса.

5. Какие оценки применяют при контроле ключевых показателей эффективности процессов производства?

а) шкальные индикаторы и мягкие оценки с заданными зонами неопределенности;

б) только мягкие оценки с заданными зонами неопределенности;

в) только шкальные индикаторы;

г) интегральные показатели.

1. Виртуальный анализатор— это...

а) программно-алгоритмический комплекс, реализующий функции углубленного оценивания текущего состояния технологического процесса и его эволюции;

б) аппаратное устройство позволяющее получать и использовать в управлении данные о трудноизмеримых технологических параметрах;

с) модельное средство для измерения или оценки переменных, характеризующих выполнение процесса;

д) средство косвенного измерения качественных показателей процесса, построенное на основе измерений и модели архивных производственных данных.

2. Виртуальные анализаторы (ВА) обеспечивают...

а) повышение уровня информационно-аналитической способности персонала при управлении процессами;

б) замену дорогостоящих измерительных средств в технологических процессах;

с) оперативный анализ статистической информации о технологическом процессе или производстве в целом.

3. Применение ВА необходимо в случаях:

а) отсутствия измерений в некоторые моменты времени;

б) недостоверности статистических данных, связанной с ошибками выборок, ошибками лабораторных анализов;

в) задержки во времени выходных данных о процессе в связи с продолжительностью выполнения лабораторных анализов;

г) длительной эксплуатацией КИП.

4. В сравнении с поточными анализаторами и лабораторным контролем какими преимуществами обладают ВА?

а) отсутствием необходимости периодического технического обслуживания;

б) ненужностью процедуры отбора проб;

в) оперативностью расчета показателя качества продукции;

г) возможностью оперативной калибровки КИП.

5. Соотнеси термины с их определениями.

1. Дополнительная реальность.
2. Смешанная реальность.
3. Виртуальная реальность.

Варианты ответов:

а) Это инновационная технология, которая накладывает слои усовершенствований, смоделированные с помощью компьютера, на существующую реальность.

б) Это мир, созданный с помощью технических средств с которым пользователь взаимодействует погружаясь полностью или наполовину.

в) Результат объединения реального и виртуального миров для создания новых миров и визуализации, в которых физический и цифровой объекты взаимодействуют в режиме реального времени.

\

## 10. ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА

Термин Supervisory Control And Data Acquisition System (Система сбора данных и оперативного диспетчерского управления), или SCADA-система, появился в конце 80-х гг. XX в. одновременно с первыми попытками использования персональных компьютеров с установленными на них графическими приложениями человеко-машинного интерфейса в качестве оконных пультов операторов. Причина появления SCADA-систем как средств для разработки СУП – снять с разработчиков программной части СУП рутинную и, по сути, бесполезную нагрузку по описанию стандартных интерфейсов и функций.

Интерфейс оператора в системе SCADA – центральный элемент любой современной СУП, поскольку системы существуют для того, чтобы с ними работали пользователи, а пользователи взаимодействуют с системой именно через интерфейс.

Об эффективности интерфейса можно судить по тому, насколько эффективна работа пользователя с системой. Человеко-машинный интерфейс (HMI, Human-Machine Interface, и MMI, Man-Machine Interface) (рис. 10.1) является одним из наиболее важных компонентов СУП [32, 33]. Роль оператора по-прежнему велика несмотря на то, что уровень автоматизации промышленных предприятий постоянно растет. Какой бы совершенной ни была СУП, принятие критически важных решений всегда остается за оператором, управляющим процессом. Он должен оперативно и в удобной форме получать информацию о процессе и иметь возможность контролировать и влиять на него.



*Рис. 10.1. Человеко-машинный интерфейс (HMI/MMI) управления технологическими процессами*

НМІ представляет собой программно-техническое средство, предназначенное для обеспечения взаимодействия оператора с управляемым им процессом (рис. 10.2). Оно позволяет оператору управлять им и контролировать его работу и работу технических систем. Удобство, надежность и функциональность средств НМІ во многом определяют комфорт работы оператора в СУП в течение много часового периода управления процессом.



*Рис. 10.2. Диспетчерский мониторинг показателей технологических и производственных процессов*

Исторически под техническими средствами человеко-машинного интерфейса понимали кнопки, переключатели, стрелочные приборы и т. д. В современном мире на смену физическим устройствам пришли программно-аппаратные средства. Сегодня панель управления оператора, содержит виртуальные кнопки, активируемые кликом мышки, и экранные графики, цифровые показатели, отражающие динамику процесса. Это намного удобнее и функциональней по сравнению с физическими кнопками, которые не обеспечивают должной наглядности, занимают место на операторской панели и не могут быть легко заменены при другом наборе функций СУП.

Реализация человеко-машинного интерфейса определяется главным образом задачами автоматизации.

Промышленную СУП можно условно разделить на два ключевых направления – «малую» автоматизацию, включающую решения для отдельных технологических устройств, и «большую» – предназначенную для управления сложными процессами и всем производством в целом. Эти варианты автоматизации будут выдвигать разные требования к человеко-машинному интерфейсу.

Прежде всего, принципиально различаются концепции отображения информации на панели. При автоматизации отдельных технологических установок важна наглядность, конструкционная наглядность, динамика картинок, отображающих протекание операций. Здесь могут использоваться яркие изображения мнемосхем и анимация картинок.

Для управления процессом, напротив, необходим контроль за достижением целей процесса в течение всего периода времени его выполнения. Важно, чтобы оператор максимально быстро видел опасные тренды в контролируемых процессах. Цветная, быстро меняющаяся картинка отвлекает внимание. Наблюдая за статичной систематизированной графикой, проще сосредоточиться и своевременно отследить, распознать опасную ситуацию.

Другое требование «большой» автоматизации связано со сложностью процессных систем. Для такой автоматизации на первый план выходит легкость интеграции НМІ с остальными компонентами СУП, поддержка открытых протоколов связи (чаще всего по каналу Ethernet), а также возможность передачи информации из АСУТП в системы более высокого уровня (ERP/MES-системы) и масштабируемость решений.

Современный НМІ можно формировать на различных программных платформах. Он может быть установлен на Microsoft-платформе настольного ПК, Linux-платформе промышленного компьютера, на тонком клиенте, встроенном компьютере под управлением Linux или другой операционной системы. Эта возможность переносить НМІ с одной платформы важна, поскольку позволяет развертывать человеко-машинный интерфейс на лучшей платформе для конкретного приложения [31].

Наряду НМІ SCADA следует различать системы ММІ (Man Machine Interface), поскольку и те и другие успешно развиваются независимо друг от друга, занимая различные ниши на рынке средств человеко-машинного интерфейса.

«Системы ММІ (см. рис. 10.1) фактически представляют собой Touch Panel управления отдельными технологическими установками, оснащенные сенсорными экранами.

В большинстве случаев устройство ММІ реализовано с использованием специализированного программируемого логического контроллера, и его программная часть не предполагает дальнейшей модификации или изменения.

От SCADA-систем требуется выполнение следующих функций:

- сбор данных от программируемых логических контроллеров (ПЛК);
- первичная обработка данных о технологических процессах;
- архивация данных;
- представление мнемосхем СУП в статике и динамике;
- представление графиков (трендов) измеряемых величин параметров режимов;
- сообщения о неисправностях и авариях;
- печать протоколов и отчетов;
- ввод в систему управления команд операторов;

- связь с другими автоматизированными рабочими местами (АРМ) операторов;
- решение прикладных задач на основе текущих измерительных данных. Можно выделить следующие основные черты таких систем:
- интерфейс этих систем повторяет интерфейс средств написания ПО для контроллерного оборудования;
- компоненты SCADA-системы оптимизированы для работы с данными, получаемыми от контроллерного оборудования.

В состав SCADA-системы СУП входят следующие модули (рис. 10.3):

*функциональные:*

- модуль настройки прав пользователя;
- модуль настройки сервера доступа к данным;
- модуль настройки регистрации технологических параметров;

*клиентские:*

- диалоговая среда контроля и управления (модуль визуализации);
- модуль просмотра истории технологического процесса;
- модуль формирования отчетной документации;
- модуль сигнализации;
- модуль просмотра и настройки архива событий.



Рис. 10.3. Основные модули SCADA-системы

Эти модули могут применяться как в составе всего комплекса, так и по отдельности.

С помощью конфигурационных модулей решаются задачи по настройке СУП. Они предоставляют сервис администрирования по запуску исполнительных модулей SCADA-системы.

Так, подсистема администрирования ограничивает доступ пользователей к различным ресурсам SCADA-системы.

Модуль настройки сервера доступа к данным предназначен для настройки тегов при вводе данных с различных устройств.

Модуль настройки регистрации технологических параметров предназначен для записи технологических параметров в СУП с использованием системы управления базами данных.

Модуль настройки сервера доступа к данным является централизованным механизмом создания информационного массива технологических параметров, их вторичной обработки по установленным алгоритмам, а также для ведения истории технологического процесса и обработки клиентских запросов.

Диалоговая среда контроля и управления является инструментом разработки и отображения графических мнемосхем автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов и других систем промышленной автоматизации. Этот модуль является основным средством экранного изображения текущих параметров технологических процессов в СУП (рис. 10.4).

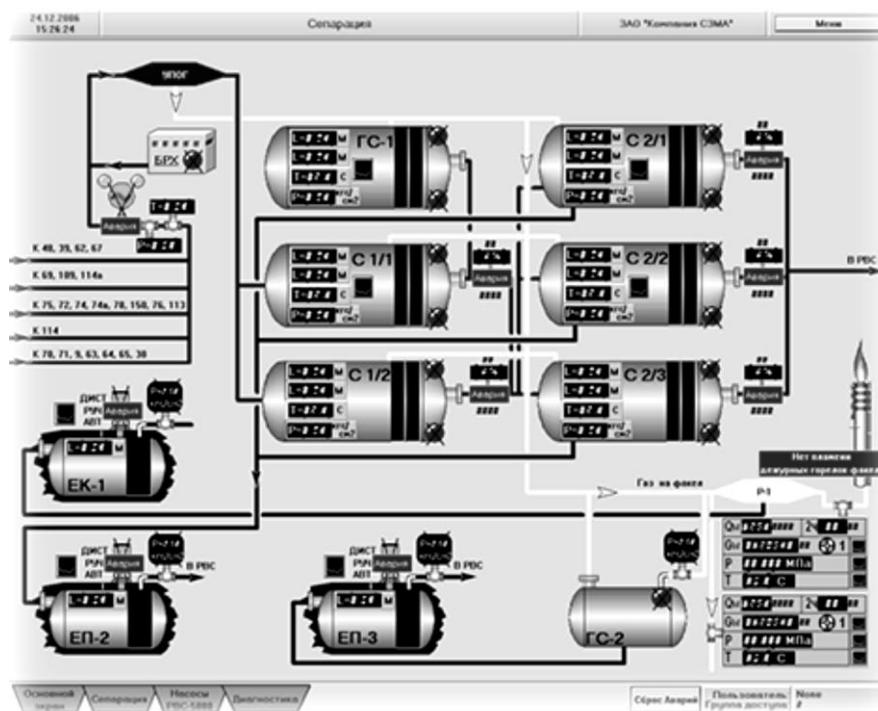


Рис. 10.4. Мнемосхема управления процессом

Отображаемые данные группируются в виде экранных форм мнемосхем. Мнемосхемы могут разрабатываться как средствами рисования SCADA, так и



с использованием графических элементов, подготавливаемых в сторонних графических редакторах.

Модуль просмотра истории используется для просмотра истории технологического процесса, а также для визуального отслеживания его динамики благодаря представлению данных в графическом виде.

Модуль отчетной документации позволяет готовить отчеты по результатам управления технологическим процессом в виде таблиц и диаграмм Microsoft Excel за требуемый период времени.

Модуль сигнализации выполняет контроль соответствия технологического процесса установленным режимам. В случае нарушений происходит световое или звуковое информирование пользователя.

Модуль работы с архивом событий используется для анализа событий.

Для обмена данными с компьютерным оборудованием SCADA используют программные серверы ввода-вывода, реализующие OPC-интерфейсы.

Автоматизированные рабочие места управления процессами строят по принципу «клиент–сервер».

Основными функциями SCADA является сбор данных о контролируемом процессе и управление им на основе собранных данных с целью обеспечения эффективности и безопасности процесса.

Сбор данных осуществляется в следующей последовательности:

- С использованием технологии OPC выполняется автоматическое соединение со средствами измерения и управления технологическим процессом.
- Выполняется проверка достоверности сигналов измерения и осуществляется их масштабирование. Полученные данные проходят первичную обработку. Сигналы каналов измерения преобразуются в значения физических величин.
- Данные в теговом назначении привязываются к графическим элементам экранных форм и заносятся в архив.

При необходимости осуществляется вторичная обработка полученных данных программами, написанными либо на скриптовом языке SCADA, либо на обычных языках: Basic, Си, Паскаль и т. д. Итоги расчетов сохраняются в базе данных и выводятся в виде экранной формы оператору для принятия решений.

Все процессные события, в соответствии с установленным регламентом, протоколируются и оформляются в виде отчетов. В случае необходимости они используются для обмена информацией с другими программными модулями СУП.

В результате SCADA-системы обеспечивают:

- отображение состояния процесса и его технологического оборудования;
- информирование о ходе производства;

- расчет показателей процесса в динамике и вывод обобщенной информации в виде графиков, таблиц и рисунков;
- предупреждение о возникновении предаварийных и аварийных ситуаций с формированием соответствующих подсказок для диспетчера;
- регулярную запись в виде отчетов о ходе выполнения процесса.

Во всех SCADA-системах используется программный инструментарий для рисования мнемосхем, имеются средства настройка законов регулирования и алгоритмов управления. Встроенный графический редактор позволяет готовить экранную форму управления процесса в статике и с использованием тегов отображать динамику технологических параметров.

Аналоговые теги включают в себя следующие атрибуты:

- Имя – уникальный идентификатор, по которому производится обращение к тегу с использованием инструментальной графики построения экранных форм.
- Описание – справочная информации о назначении тега.
- Адрес.
- Текущее значение.
- Единица измерения в технических единицах.
- Тип преобразования.

Статусные (или дискретные) теги связаны с точками цифрового ввода-вывода и реализуются в виде двух или четырех бит кода состояния аппаратного компонента АСУ ТП: «включено-выключено», «исправный-неисправный», «открыт-закрыт» и др.

Основные атрибуты статусных тегов:

1–4. Такие же, как для аналогового тега.

5. Число битов состояния.

6. Описание состояний и цвета.

7. Класс тревоги:

- нет тревоги;
- событие;
- простая тревога;
- неотложная тревога;
- критическая тревога.

При переходе статусного тега из нормального состояния в любое другое будет выполняться последовательность действий, задаваемая для указанного типа тревоги.

8. Тип управления:

- нет управления;
- мгновенный вывод;
- фиксация записи в БД.

В СУП находят применение программно-аппаратные реализации SCADA-систем и программные SCADA-системы различных независимых производителей. SCADA-системы являются эффективными, гибкими средствами для создания СУП приложений визуализации и управления процессами. К их достоинствам можно отнести поддержку большого числа функций по созданию децентрализованных и распределенных систем управления, а также возможность интеграции в одной системе оборудования различных, в том числе конкурирующих, производителей.

### **Тестовые задания**

1. SCADA-система – это...

а) программная система разработки и автоматизированного управления технологическим процессом в реальном времени работы технологических установок;

б) диспетчерская система оперативного управления технологическим процессом;

в) программно-аппаратная система управления технологическими объектами;

г) автоматизированная система наблюдения и сбора данных о технологическом процессе.

2. Какие функции из приведенных ниже выполняет SCADA-система?

а) сбор данных от программируемых логических контроллеров (ПЛК);

б) диспетчерский контроль показателей технологических процессах;

в) архивация данных; представление мнемосхем СУП в статике и динамике; представление графиков (трендов) измеряемых величин параметров режимов; сообщения о неисправностях и авариях;

г) аварийное управлению процессом.

3. Человеко-машинный интерфейс (HMI) – это...

а) набор программно-аппаратных средств, предназначенных для обеспечения непосредственного взаимодействия между оператором и оборудованием. Он позволяет оператору управлять и контролировать работу технических систем;

б) широкое понятие человеко-машинной среды, которое охватывает инженерные решения, обеспечивающие взаимодействие человека-оператора с управляемыми им машинами;

в) набор аппаратных средств для взаимодействия человека с управляемыми машинами;

г) программные модули для автоматического управления технологическими процессами и производствами.

4. Что относится к функциональным возможностям SCADA-систем?

а) хранение информации;

б) масштабируемость задач;

- в) сбор первичной информации о параметрах технологического процесса;
- г) синхронизация задач по внешним событиям;
- д) представление информации оператору в виде мнемосхем.

5. Основные преимущества применения SCADA в АСУ ТП это...

- а) увеличение точности, скорости обработки и представления данных о параметрах и состоянии технологического процесса;
- б) создание богатых возможностей для реализации человеко-машинного интерфейса управления технологическим процессом;
- в) простота расширения (масштабирования) системы управления технологическим процессом;
- г) все вышеперечисленное.

## 11. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Ожидания бизнеса по повышению эффективности работы предприятия основываются на централизованном объединении функционально неоднородной информации с производства в формате единой СУП и ее согласованном использовании в различных программно-аппаратных средствах управления [16, 21, 22].

Интегрированные автоматизированные системы управления процессами производства обеспечивают согласованное внедрение современных технологии, эффективных систем промышленной автоматизации и надежное управление процессами. Сущность этой концепции состоит в том, что она позволяет:

- объединять в единую производственную систему составные автоматизированные и информационные системы стратегического, тактического и оперативного управления процессами предприятия;
- управлять жизненным циклом изделия – от задания и проекта до выпуска готового изделия и его утилизации.

Техническая интеграция в СУП представляет собой объединение программно-аппаратных средств в единую информационную среду автоматизированных систем управления. В результате создается взаимосвязанный комплекс математических моделей, алгоритмов и программ на единой методологической основе, обеспечивающей автоматизацию планирования, учета, контроля и анализа всех основных процессов в масштабе предприятия (рис. 11.1).



*Рис. 11.1. Интегрированные автоматизированные системы*

Целью интеграции АС является установление способов (правил) организации взаимосвязи и взаимодействия отдельных подразделений и систем менеджмента предприятия, позволяющее получить синергетический эффект управления производственными процессами.

В результате интеграции автоматизированных компьютерных систем управления появляется дополнительный эффект управления, который в конечном счете создает «чистый» экономический эффект за счет повышения эффективности управления процессами. Под синергетикой интегрированных систем управления понимается системное явление возникновения и внутренней цифровой поддержки сложных структур, порядков и согласованного поведения отдельных автоматизированных систем для достижения непрерывно эволюционируемых целей предприятия.

Эффект синергии проявляется, в частности, как превышение экономического потенциала интегрированной системы при управлении процессами по сравнению с суммой потенциалов отдельных подсистем автоматизации, входящих в нее.

*Синергетический эффект* повышения эффективности производства получается в результате скачкообразного расширения совместной функциональности автоматизированных систем управления за счет более эффективного использования информации, поставляемой ими в СУП [21].

Основные преимущества комплексирования в форме интеграции АСУ:

- Повышается качество выполняемых работ за счет более полного учета имеющейся информации при принятии управленческих решений. Действительно, обоснованность решений, принимаемых в интегрированной автоматизированной системе управления предприятием, будет выше, если лицо, принимающее решение, и соответствующие программы СУП имеют оперативный доступ не только к базе данных локальной автоматизации, но и к базам данных автоматизированных систем, таких как ERP, MES, SCADA. Это позволяет оптимизировать планы работ, содержание заявок, распределение исполнителей, выделение финансов и т. п.

- Сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление продукции. Применение интеграции позволяет существенно сократить время проектных работ. Например, описания ранее выполненных удачных разработок компонентов и устройств, многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, которые хранятся в базах данных сетевых серверов, будут доступны для принятия проектных решений. В результате расширяется область применимости инженерно-технических решений, новой продукции в различного рода системах и средах, осуществляется быстрая адаптация к меняющимся условиям эксплуатации и т. п. Кроме того, появляются более широкие возможности для цифровизации

предприятий, вплоть до создания виртуальных предприятий, что также способствует снижению затрат.

Существенно снижаются затраты на эксплуатацию СУП, благодаря повышению эффективности логистической поддержки. Облегчается решение проблем технического обслуживания и ремонта.

Программно-аппаратная доступность в единой информационной среде обеспечивает объединение элементов и подсистем СУП разных уровней иерархии управления. Такая доступность обеспечивается согласованностью форматов, способов, руководств в разных частях общей интегрированной системы. Наибольший эффект достигается в результате интеграции технологических и бизнес-процессов.

Временная интеграция этих систем, представляет собой временную интеграцию исполнения процессов разных уровней управления, позволяющую рационально распределять имеющиеся ресурсы и обеспечивающую более полную координацию действий каждого элемента при реализации целей СУП. Сочетание организационных методов и технических средств, обеспечивающих интеграцию заданий систем ERP в малом интервале времени исполнения на технологическом уровне, позволяет формировать киберфизические отношения в процессах.

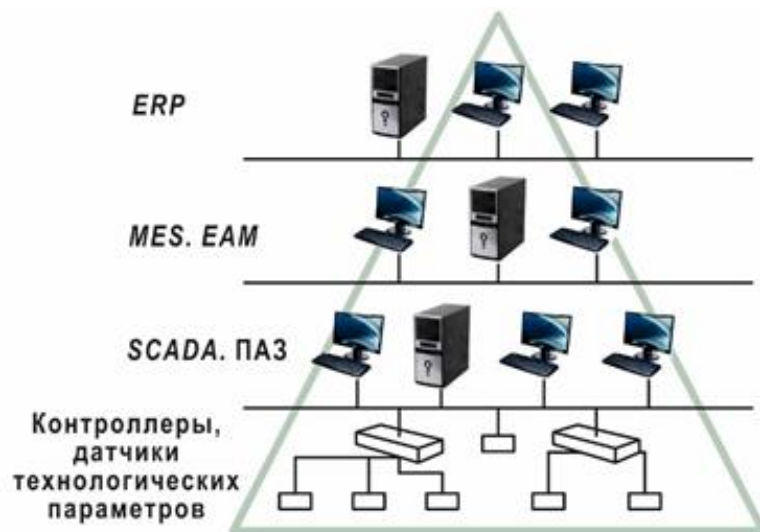
Организационная интеграция создает новые возможности для рационального сочетания управленческой деятельности различных уровней СУП. Такой процесс должен осуществляться как на одном уровне иерархии управления, так и между различными уровнями иерархии управляемого объекта.

Атрибутами вертикальной организационной интеграции обычно выбираются два показателя: дискретность оси времени, в единицах которой функционируют информационные системы, и объемы данных, обрабатываемые на каждом уровне модели (рис. 11.2).

В общем виде можно сказать, что системы верхнего уровня оперируют агрегированными данными на относительно больших временных промежутках, а системы нижнего уровня имеют дело с большим потоком данных реального времени. В связи с этим в рамках концепции интегрированных систем управления часто используют понятие пирамиды информационных систем. Каждое сечение такой пирамиды имеет площадь, пропорциональную объему обрабатываемых данных. На вершине этот объем минимален, в основании – максимален [25].

Вертикальная интеграция АС формируется путем организации потоков информации из автоматизированных систем нижнего уровня (датчиков и контроллеров технологического оборудования, АСУ ТП) и из автоматизированных систем управления проектированием и производственной деятельностью в информационные системы типов ERP и MRP. Это позволяет более

эффективно управлять ресурсами для достижения стратегических целей предприятия.



Уровни	Основные функции	Информационные системы	Обрабатываемые данные	Диапазон времени
Архитектура	Планирование, составление расписаний, логистика	Приложения, средства интеграции	Планирование и распределение ресурсов для достижения поставленной цели	Дни, недели, месяцы
Вертикальная интеграция	Интеграция внутрицеховых приложений	Хранилище исторической информации, СУБД, Middleware	Контроль хода выполнения производственных процессов	Минуты, часы
Горизонтальная интеграция	Система промышленной автоматизации и контроля процессов	АСУ ТП	Управление единицей оборудования или одним процессом	Секунды, часы
Датчики технологических параметров	Базовые системы контроля	Контроллеры, «программные датчики»	Способность поддерживать значение измеряемой переменной в заданных рамках	Миллисекунды, секунды

Рис. 11.2. Пространственно-временная интеграция управления процессами



Горизонтальная интеграция объединяет данные, поставляемые отдельными подсистемами, диспетчерскому уровню управления производством в реальном масштабе времени. Это позволяет более эффективно управлять решением технологических и производственных задач.

Различают следующие стандартные модели построения интегрированных систем управления [25]:

- MESA (Manufacturing execution system);
- SCOR (Supply Chain Operations Reference);
- CIM (Computer Integrated Manufacturing);
- PERA (Purdue enterprise reference architecture).

Комплексное автоматизированное производство CIM – это подход к построению производства с использованием компьютеров, управляющих всеми производственными процессами. Управляемость заводом в целом (Plant Wide Control, PWC) концептуально предполагает, что используется самый лучший многопроцессорный регулятор. Однако в реальности вместо него используются множество локальных регуляторов, постоянно настраиваемых и перестраиваемых в процессе их эксплуатации.

PWC-управление относится к структурным и стратегическим решениям, участвующим в разработке системы управления заводом в целом, и является систематическим (математическим) подходом к решению проблемы управления. Для решения проблемы оптимизации управления производственными процессами на заводе в целом необходима автоматизация, выходящая за рамки контроля отдельных подразделений.

Завод является автоматически управляемым, если в каждый момент времени можно держать ключевые показатели отдельных подразделений в пределах приемлемых границ автоматическим образом. Концепция PWC не означает оптимизацию каждого из этих автоматических контуров управления. Это скорее философия оптимизации управления завода в целом с упором на компромиссные структурные решения автоматизации технологических и производственных процессов в каждом подразделении.

Структурное решение PWC-управления в СУП включает выбор и размещение исполнительных устройств и измерений, а также разложение общей проблемы на более мелкие подзадачи (управление конфигурацией) в соответствии с критериями оптимизации.

PERA – это модель информационных систем, являющаяся усовершенствованной версией модели CIM, описывающая как архитектуру корпоративных информационных систем в целом, так и процессы, происходящие в контурах производственного контроля.

Модель PERA, разработанная в Университете Пёрдью (США), стала основой для создания ряда новых международных стандартов и вариантов их реализации в последующие годы.

В PERA-модели выделяются функциональные блоки, с которыми пересекаются функциональность производственных систем и интерфейсы между блоками. Роль своеобразного «клея» в выделенной функциональности играют системы, которые контролируют ход производственного процесса. В результате реализуется интегрированное управление [25]:

- материалами и энергетическими ресурсами;
- расписанием и производственным планированием (частично);
- внутрицеховой логистикой;
- контролем качества продукции;
- управлением техобслуживанием и ремонтом.

Синтез наработок в области взаимодействия внутрицеховых систем и управления цепочками поставок обеспечил появление модели SCOR.

SCOR – это референтная модель интеграции информационных систем процессов. Она задает язык для описания взаимоотношений между участниками цепи поставок, содержит библиотеку типовых бизнес-функций и бизнес-процессов по управлению цепями поставок.

Выбор PERA- или CIM-модели зависит от цели интеграции. Однако при любом выборе для выполнения проекта в этих моделях выделяют четыре общие группы стандартов:

- стандарты на уровни управления;
- стандарты на информационные потоки;
- стандарты на интерфейсы;
- стандарты на операции и функции.

При интеграции автоматизированных систем используется технология паттернов, позволяющая объединять отдельные программные модули, структурные связи среды, данные, функции в интегрирующей среде (программной платформе).

Интегрирующая среда – это совокупность программных и организационных составляющих, целью которых является обеспечение взаимодействия систем и образование единой системы. Наличие интегрирующей среды позволяет говорить о целостности системы управления, а не о наборе отдельных приложений. Различают следующие виды интеграции:

1. *Интеграция систем по данным.* Этот подход был исторически первым в решении проблемы интеграции приложений. Он использовался в традиционных системах типа «клиент–сервер». При интеграции приложений по данным считается, что основным системообразующим фактором при построении информационной системы является интегрированная база данных коллективного доступа. Концепция интеграции в этом подходе состоит в том, что приложения объединяются в систему вокруг интегрированных данных под управлением СУБД. Интегрирующей средой является промышленная СУБД (как правило, реляционная)

со стандартным интерфейсом доступа к данным (обычно это доступ на SQL). Все функции прикладной обработки размещаются в клиентских программах.

Общая база данных является реализацией подхода интеграции по данным. Данный тип интеграции позволяет получить полностью интегрированную систему приложений, работающую с едиными данными в любой момент времени. Изменения, произведенные в одном из приложений, автоматически отражаются в другом.

*2. Объектно-центрическая интеграция.* Строится на основе объектно-центрического подхода, основанного на стандартах объектного взаимодействия CORBA, COM/DCOM, NET и пр. Концепция такой интеграции состоит в том, что системы объединяются вокруг общедоступных платформ со стандартными интерфейсами. Характерными особенностями такой интеграции являются:

- унифицированный язык спецификации интерфейсов объектов;
- отделение реализации компонентов от спецификации их интерфейсов;
- общий механизм поддержки взаимодействия отдельных программных модулей.

Интегрирующая среда имеет универсальный интерфейс для доступа активных систем и включает в себя реализацию следующих основных уровней интегрирующей среды:

- базовый уровень интегрирующей среды (ядро интегрирующей среды содержит платформу для исполнения сценариев транзакции);
- базовый функционал по взаимодействию приложений, службы протоколирования и мониторинга состояния интегрирующей среды;
- уровень сценариев интеграции (графическая схема обмена сообщениями между системами, алгоритмы преобразования и маршрутизации этих сообщений);
- транспортный уровень интегрирующей среды (физическая доставка сообщений программным компонентам).

Функциональная интеграция в СУП реализуется с использованием функционально-центрического подхода. При этом основным системообразующим фактором являются сервисы – общеупотребительные прикладные и системные функции коллективного доступа, реализованные в виде серверных программ со стандартным API.

В виде сервисов реализуются такие функции, как различного вида прикладная обработка, контроль информационной безопасности, формирование единого времени, централизованный файловый доступ и т. п. Все сервисы являются интегрированными в том же смысле, что и интегрированные данные в базе данных коллективного доступа, т. е. реализуемые сервисами функции достоверны, непротиворечивы и общедоступны.

Концепция интеграции в данном подходе состоит в том, что приложения объединяются в систему вокруг интегрированных сервисов со стандартизованным интерфейсом. Интегрирующей средой является сервер приложений или монитор транзакций со стандартным API.

При проектировании интегрированных систем управления широко применяются специальные технологии модельного анализа СУП. Примером таких технологий является система проектирования единой информационной среды ARIS (Architecture of Integrated Information Systems). Эта модельная среда проектирования основана на идее интеграции различных процессных моделей предприятия (рис. 11.3).

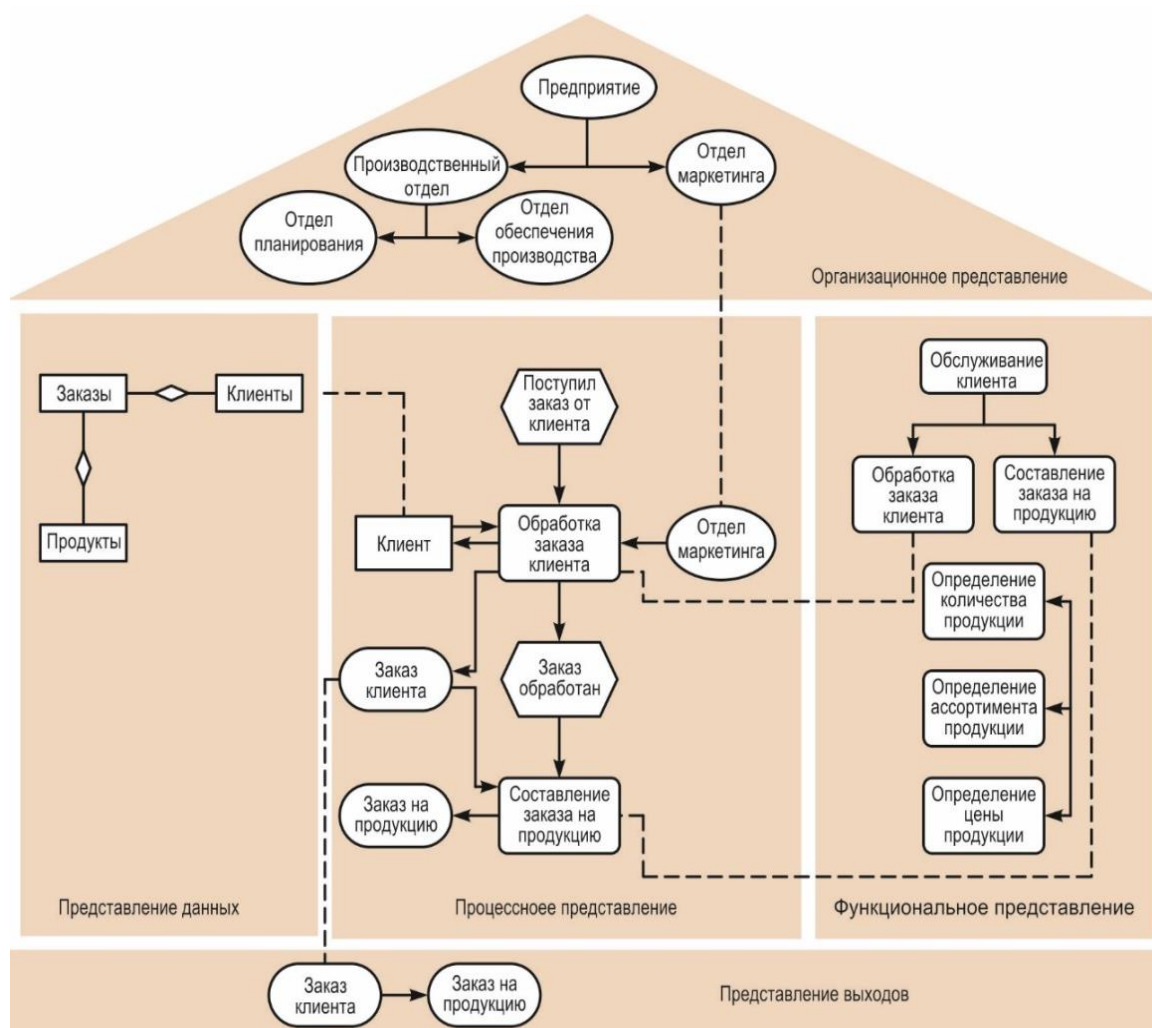


Рис. 11.3. Модельное проектирование управления процессами

Для описания процессов в этой системе используются около 80 типов моделей, каждая из которых принадлежит тому или иному аспекту СУП. ARIS предоставляет визуальный инструментарий для обеспечения наглядности моделей. Важным является то, что этот инструментарий поставляется с набором референтных моделей, заранее разработанных для типичных процессов в

различных отраслях. Общий принцип в инструментарии – возможность интеграции моделей разных типов в рамках одного репозитория посредством декомпозиции (детализации) объектов. Таким образом, любую организацию можно описать с помощью иерархии моделей разного уровня взаимодействующих процессов на предприятии.

Эта концепция имеет два основных преимущества: она позволяет выбрать методы и интегрировать их, опираясь на основные особенности моделируемого объекта; служит базой для управления сложными проектами, поскольку благодаря структурным элементам, содержит встроенные модели процедур для разработки интегрированных информационных систем. Такая модельная архитектура дает возможность вводить в применяемые методы элементы стандартизации процессов.

Первый шаг при разработке информационных СУП состоит в разработке модели процесса, описывающей все его основные функции. Полученная таким образом чрезвычайно сложная модель делится на подмодели, или типы моделей, в соответствии с типами представлений. Это позволяет существенно снизить степень ее сложности. Содержимое типов моделей может быть описано методами, предназначенными для конкретного типа представления. Многочисленные взаимосвязи между типами моделей при этом не учитываются. Впоследствии эти взаимосвязи инкорпорируются в общую модель для управления процессами предприятия без какой-либо избыточности.

В соответствии с концепцией модели жизненного цикла различные методы описания информационных систем дифференцируются по степени их близости к информационным технологиям. Это гарантирует целостность описания на всех этапах, начиная от проблем управления бизнесом до технической реализации информационной системы. Архитектура ARIS создает основу для разработки и оптимизации интегрированных информационных систем, а также для описания их реализации.

Выбор уровней и типов описаний ARIS формирует архитектуру информационных систем СУП, которая используется в качестве модели для построения процессов, связанных с управлением бизнесом, оценкой структурной основы СУП.

Инструментарий ARIS позволяет проводить построение, анализ и оценку рабочих процессов компании в терминах методологии организации бизнес-процессов. Кроме того, ARIS предоставляет достаточно простые средства для документирования и моделирования процессов.

Процессная организация в методологии ARIS рассматривается с пяти точек зрения: организационной, функциональной, обрабатываемых данных, структуры процессов, продуктов и услуг. При этом каждая из этих точек зрения разделяется ещё на три подуровня: описание требований, описание спецификации, описание внедрения.

Технология ARIS позволяет в автоматическом режиме производить:

- формирование нормативных документов для СУП на основании моделей ARIS (например, паспорт процесса, регламент управления процессом);
- формирование аналитических отчетов на основании моделей управления в СУП;
- интеграцию моделей с другими приложениями и базами данных;
- формирование базы модельных решений информационных СУП на основании готовых спецификаций.

В процессе разработки и эксплуатации СУП современные методы моделирования, а также те, в основе которых лежит концепция ARIS, обеспечивают эффективную интеграцию информационных систем в рамках архитектурных решений матрицы Захмана. Это позволяет быстро создавать и творчески модернизировать интеграцию разнородных систем СУП.

### **Тестовые задания**

1. Временная синхронизация автоматизированных систем управления всех процессов на предприятии (бизнеса, производства, технологии)...

а) невозможна из-за большой разницы временных интервалов управлений;

б) возможна за счет использования интегрированных компьютерных систем управления;

в) возможна за счет применения иерархической системы управления процессами;

г) возможна за счет использования единого информационного пространства для принятия производственных решений.

2. На что направлена компьютерная интеграция?

а) на комплексное объединение используемой информации в системах автоматизированного проектирования, автоматизации технологических и производственных процессов, а также корпоративных систем в единую интегрированную информационную сеть, что обеспечивает необходимый обмен данными в реальном времени между всеми подразделениями управленческого уровня;

б) на получение эффекта синергии в результате объединения автоматизированных систем управления;

в) на формирование единого информационного пространства на предприятии;

г) на унификацию аппаратных и программных средств.

3. Повышение эффективности бизнеса обеспечивает...

а) централизованное объединение функционально неоднородной информации, ее согласованное использование в различных программных средствах проектирования и управления;

б) единая компьютерная система сбора, обработки и выдачи информации о состоянии процессов и объектов управления;

в) единое информационное пространство для принятия производственных, технологических и бизнес-решений;

г) централизованное управление бюджетом предприятия в целом;

д) централизованное управления кадрами.

4. Какой способ интеграции программно-информационного обеспечения является наилучшим?

а) применение коммуникационной технологии объединения программных блоков;

б) использование телекоммуникационных драйверов и интерфейсов;

в) использование единой системной интеграционной компьютерной платформы;

г) использование технологии паттернов, позволяющей объединять программно-аппаратные средства автоматизации процессов в единую ИКСУ.

5. Что позволяет осуществлять ARIS инструментарий?

а) создавать модели;

б) создавать методологии;

в) осуществлять имитационное моделирование бизнес процессов.5

## 12. УПРАВЛЕНИЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Для строительства умных фабрик нового промышленного информационного уклада Industry 4.0 требуются самые разные технологии. Среди этих технологий киберфизическая система (Cyber-Physical Systems, CPS) является чрезвычайно перспективной технологией и важнейшим компонентом smart-фабрики, благодаря тому, что киберфизическая система состоит из взаимодействующих между собой и с вычислительной средой СУП smart-объектов производственных процессов.

Концепция киберфизической производственной системы – это технология техногенеза, ориентированная на цифровизацию процессов производств. В CPS-среде физические активы (технологическое оборудование, здания, транспортные средства) со встроенными программируемыми компонентами при выполнении процессов непрерывно взаимодействуют с искусственным интеллектом промышленного применения, который дает виртуальные координатные и управленческие командные указания умным технологическим установкам.

Внедрение CPS позволяет построить интеллектуальные фабрики, обладающие самостоятельностью в принятии решений, прогнозирующие будущее на основе прошлого опыта и настоящего положения дел.

Наблюдаемый в настоящее время техногенез – процесс появления и исторического совершенствования искусственных объектов из средств неорганической природы. Это внедрение в технические объекты и системы, а также в различные технологии (в том числе информационные) компонентов, обладающих (наделяемых) интеллектуальными свойствами. Сегодня такая интеллектуализация проявляется повсеместно – от детских игрушек и бытовых приборов (оснащённых микрочипами) до сложнейших технологических комплексов [37].

Особенностью такой интеллектуализации является то, что техника приобретает способность к самоуправляемости за счёт использования искусственных интеллектуальных структур, которые реализуют переход управленческих функций от внешней системы (человека) к внутренней (встроенной) программируемой среде самой техники (контроллеры, компьютеры, микропроцессоры). Это ведёт к глобальным переменам в окружающем человека мире, обретению автономности поведения средств неорганической природы, которые, в свою очередь, были спроектированы человеком [38].

Основополагающим фактором, стимулирующим развитие техники в этом направлении, является психофизиологическая и ментальная ограниченность человека. Из-за этой ограниченности человек на всех этапах его исторического развития стремится, опираясь на новейшую технику и технологии, преодолеть



свои естественные (заложенные природой) пределы и приобрести власть над окружающим его физическим миром.

Другим фактором развития техногенеза являются постоянно растущие человеческие потребности. Современный социум приобрел ненасытную зависимость от потребления благ. В сферу человеческой жизнедеятельности, как в огромную всепоглощающую воронку, втягиваются не только товары потребления, перечень которых экспоненциально растёт, но и различного рода услуги, а также энергия и информация.

Еще одним фактором развития техногенеза является усиливающееся противоречие между прогрессивно усложняющейся техникой, технологиями и производственными процессами с одной стороны и способностями обслуживающего ее персоналом и пользователей с другой. Возникшие в настоящее время противоречия в образовании технократов ведут к снижению квалификации работников. Вследствие этого происходят аварии и техногенные катастрофы, которые влекут за собой не только разрушения различных объектов и загрязнение окружающей среды, но и людские жертвы [39].

Киберфизические системы объединяют кибернетический и физический миры путем интеграции вычислительных и физических процессов с помощью непрерывно совершенствующихся программно-аппаратных средств, сенсорных сетей и исполнительных устройств (рис. 12.1).



Рис. 12.1. Кибернетический мир процессов производств

Эти средства в свою очередь объединяются с глобальными сетями компьютерной метавселенной, где осуществляется координация их действий искусственным интеллектом.

Примерами CPS являются умные энергосети, системы транспортных перевозок, города, медицинские технологии, системы управления воздушным движением нового поколения, а также передовые методы СУП организации производства.

Отличительные особенности CPS:

- *Ориентация на сервисы.* Сервисы CPS реализуются на основе сервисно-ориентированной эталонной архитектуры.
- *Интеллектуальная самоорганизация.* CPS обеспечивает способность принимать решения самостоятельно.
- *Киберфизическое общение.* Способность людей и CPS объединяться для решения общих проблем и общаться друг с другом.
- *Виртуализация мира производства* на разных уровнях детализации, от датчиков и исполнительных механизмов до всего CPS.
- *Формирование базы знаний* на основе технологической и технической информации.
- *Обеспечение междисциплинарной модульности,* гибкой адаптации к изменяющимся требованиям путем замены или расширения отдельных модулей.
- *Новые возможности в реальном времени.* Алгоритмы и технологии больших данных с возможностью работы в режиме реального времени.
- *Оптимизация производственного процесса* с использованием алгоритмов и больших данных для повышения общей эффективности оборудования (Overall Equipment Effectiveness, OEE).
- *Доступ к метаданным,* надежно хранящимся в облаке или корпоративном хранилище интрасети.

Фокус этих систем состоит в объединении существующих физических объектов и вездесущих вычислений в сетевые системы, где CPS осуществляют фактическое взаимодействие между физическим и компьютерным мирами (рис. 12.2).

В общем случае CPS – это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих объединить производство и принятие решений по его управлению в единое целое. В CPS обеспечивается связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами: компьютеры осуществляют мониторинг и управление физическими процессами с использованием контуров обратной связи таким образом, что происходящее в физических системах оказывает влияние на вычисления и управление.

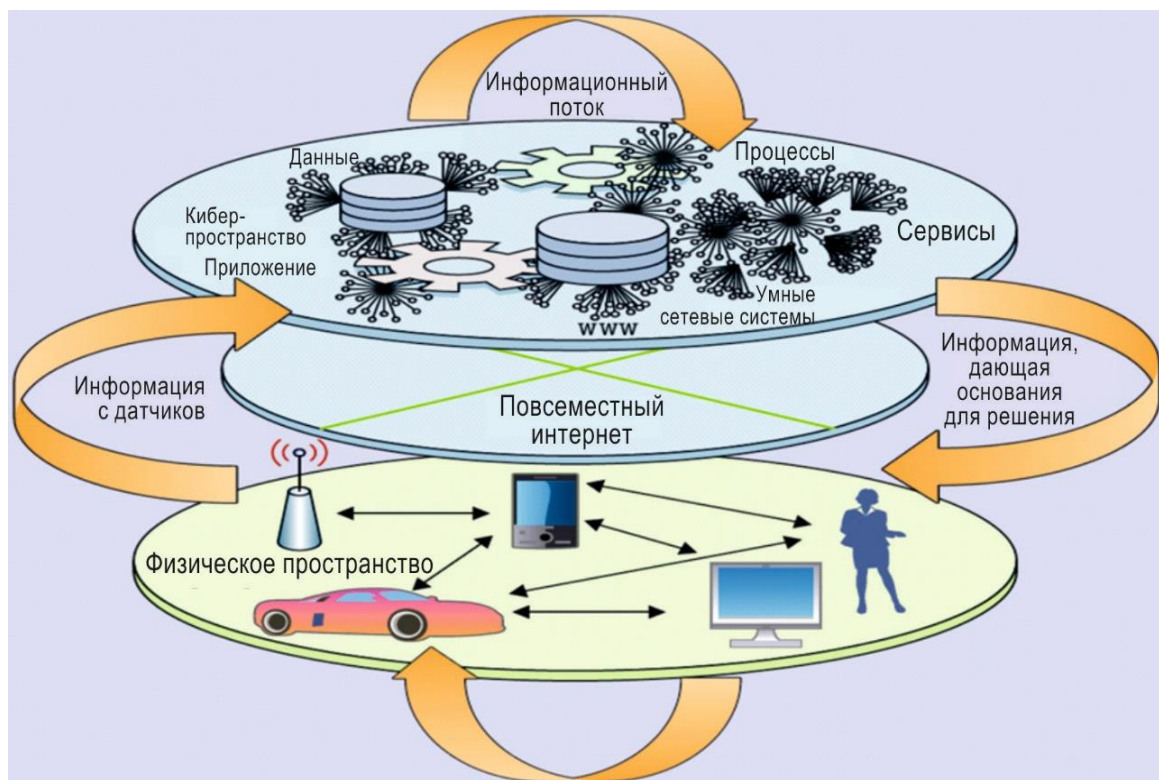


Рис. 12.2. Киберфизические системы

Сложность таких систем приводит к мысли о том, что речь не идет о создании автоматизированных систем, более крупных, чем существующие, где компьютеры интегрированы или встроены в те или иные физические устройства или системы. Техногенез ведет к гармоничному сосуществованию и взаимодействию двух миров. С одной стороны, это традиционные инженерные сущности (механические, строительные, электрические, биологические, химические, экономические и другие), а с другой – виртуальные компьютерные сущности, обладающие знаниями и умениями.

Предшественниками CPS можно считать встроенные системы реального времени, распределенные автоматизированные системы управления, интегрированные компьютерные системы управления техническими процессами и объектами, глобальную интернет-среду.

С точки зрения технической реализации CPS имеют много общего с вычислительными структурами типа Grid, реализуемыми посредством интернета вещей (Internet of Things, IoT), Индустрии 4.0, промышленного интернета вещей (Industrial Things Internet), межмашинного взаимодействия (Machine-to-Machine, M2M), облачного компьютеринга (Fog и Cloud Computing).

Развитие этих структур вызвало появление CPS. Для этих сложных систем требуются новые кибернетические подходы к описанию физической среды, ее моделированию, поскольку именно модели являются центральным моментом в науке и инженерии CPS. Отличительными особенностями киберфизических

систем являются: цифровая интеграция, цифровая распределенная коммуникация, параллелизм выполнения процессов, наличие нисходящих, восходящих и регулирующих потоков, сочетание синхронного и асинхронного управления процессами и др. Важным при проектировании киберфизических CPS-систем является разработка формализованного описания их информационной конструкции.

Киберфизические платформы складываются из трех типов сетей:

- Интернет вещей,
- Интернет сервисов,
- Интернет людей.

На нижнем аппаратном уровне CPS с использованием устройств «Умные КИПиА» реализуется самонастройка и самоконтроль КИПиА полевого уровня (рис. 12.3).

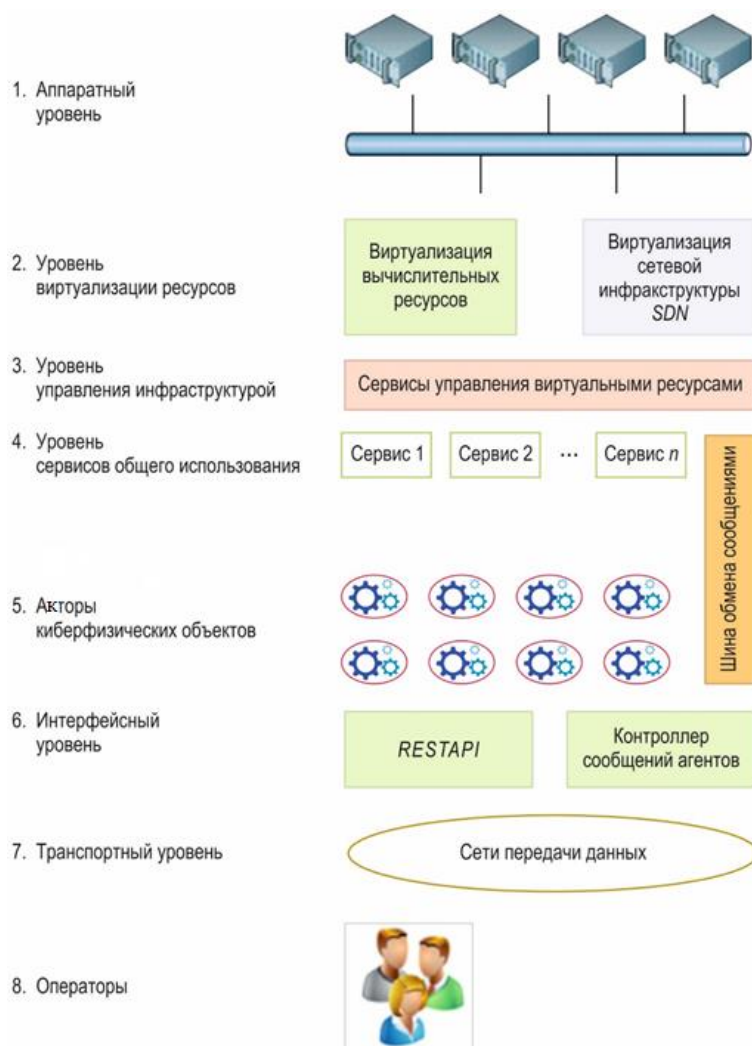


Рис. 12.3. Архитектура управления КФС

На полевом уровне данные от устройств с автономным подключением и умными КИПиА становятся основой для получения информации от активов. Это слой, на котором многие типы возмущений и несоответствий исключаются из информации, полученной с аппаратного уровня, благодаря использованию таких инструментов, как глубокая аналитика данных и облачные вычисления. Здесь аналитические инструменты решают такие задачи, как вычисление оставшегося срока службы актива, выявление причин незапланированных остановок технологического оборудования.

На уровне виртуального представления киберфизического окружения физическая сущность технологического пространства создает свой «двойник», используя те инструментальные функции, которые в последующем контролируют состояние активов, основанных на методологии «Time-Machine» (стандартной функции автоматического копирования физической сущности на виртуальном уровне). Виртуальный «двойник» актива в технологическом киберпространстве выполняет самоанализ и осуществляет вычислительную подготовку управления физической сущностью.

На уровне управления инфраструктурой на основе измерений посредством самосознания выполняется оценка критических проблем физического устройства. Данные от него посредством устройств с автономным и проводным подключением умных КИПиА становятся основой для получения необходимой информации от активов. В свою очередь данные активов становятся основой для самоопределения критических проблем физических активов.

На уровне обработки информации «Сервисы управления» представляются результаты измерений, контроля состояния и самооценки активов на основе их «инфографических» значений, показывающих содержание и контекст потенциальных проблем.

И, наконец, на уровне исполнительных действий «Актеры киберфизических объектов» выполняется преобразование интеллектуальных решений виртуального слоя в действие на уровне активов. На этом уровне активы производственной системы могут быть переконфигурированы на основе критериев приоритета и риска для достижения требуемого уровня производительности или отказоустойчивости.

На уровнях «Интерфейсный» и «Транспортный» используются алгоритмы, программное обеспечение и компьютерная инфраструктура для анализа состояния активов и прогнозирования их поведения. Это комплекс программно-алгоритмического обеспечения построения вычислительной архитектуры, алгоритмов и обеспечения информационной безопасности передачи данных.

Описанная методология кибернетической физики основана на хорошо разработанных методах теории управления: методах линейного и нелинейного программирования, оптимального, робастного, адаптивного управления, методах идентификации параметров, методах фильтрации и оценивания состояний, методах оптимизации систем.

При создании CPS используются разнообразные языковые средства. Разные операционные системы и средства интеллектуальной обработки информации задействуют все возможности современных контроллеров автоматизации процессов (РАС) – процессорных архитектур контроллерного обеспечения.

Для сетевого взаимодействия используются различные методологии: умные агенты МАС, машинно-машинное взаимодействие М2М, интернет вещей IOT.

Примером практической реализации дистанционного способа управления компонентом киберфизической системы может быть управление аддитивным технологическим процессом, например 3D-печатью изделия приборостроения, или управление производственным участком, территориально размещенным в корпусах другого производственного предприятия, входящего в состав корпорации.

Производственными данными, передаваемыми от киберфизической системы персоналу «умной фабрики» [19] могут быть:

- информация о состоянии технологического процесса, регистрируемого системой встроенных датчиков;
- информация о состоянии технологического оборудования, выполняющего производственную операцию (состояние исправности);
- остаток необходимого сырья (компонентов) для выполнения технологической операции;
- информация о выполненных регламентных и предупредительных по техническому обслуживанию оборудования работах, о замене инструмента, которая регистрируется специальной системой встроенных датчиков;
- показатели производственных и технологических процессов.

Предварительную обработку данных от датчиков состояния технологического оборудования и датчиков выполнения технологических операций обеспечивает встроенный ПЛК управления, осуществляющий информационный IOT-обмен с контроллером управления оборудования (рис. 12.4).

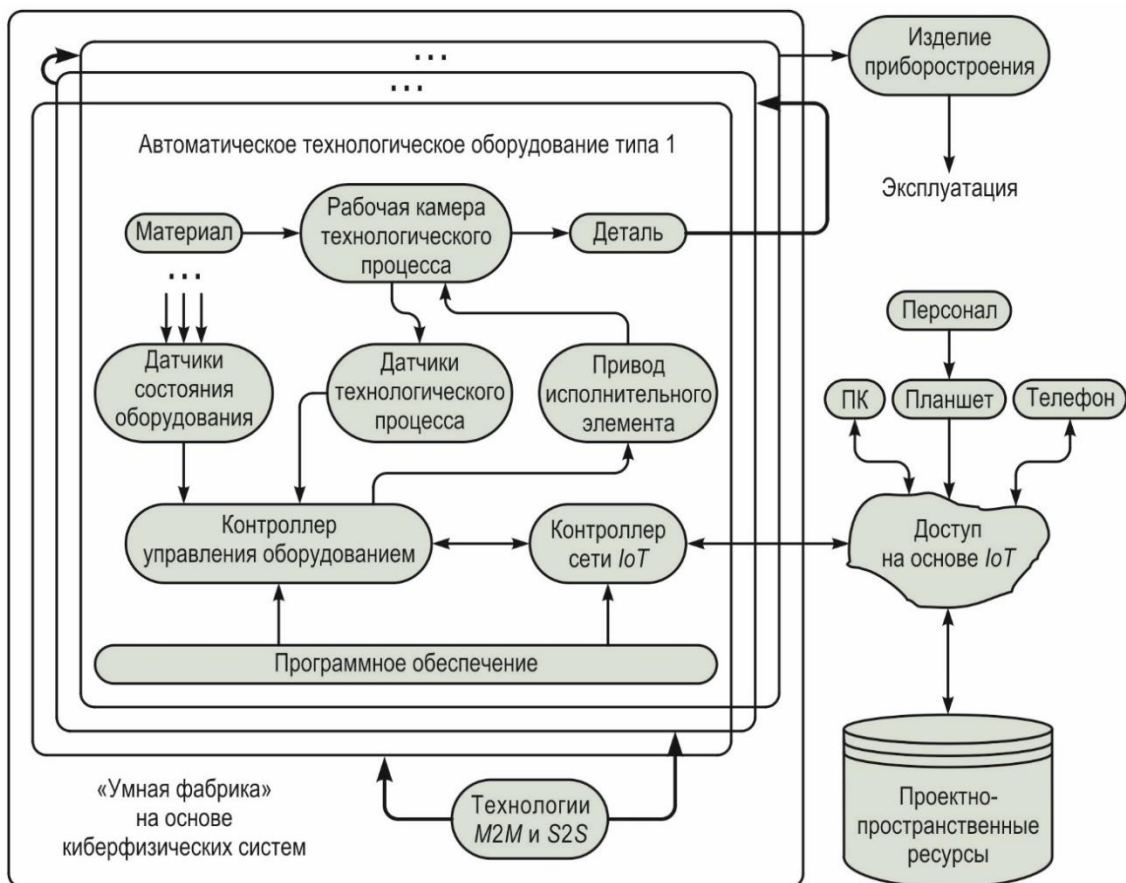


Рис. 12.4. Структурная схема управления КФС

На основании исходных данных этот контроллер осуществляет выдачу управляющих сигналов на привод (двигатель), который через систему редукторов управляет перемещением рабочей камеры для выполнения технологической операции. Команды управления, в свою очередь, поступают с РАС-киберконтроллера цифрового двойника технологического оборудования. В связке обоих контроллеров для обеспечения работы физического актива по программе виртуального слоя ПЛК формирует необходимые команды управления приводами исполнительных устройств, выполняющих необходимую производственную операцию, например сборку.

Контроль выполнения технологических операций осуществляется в автоматическом режиме при помощи сенсорной системы на основе датчика состояния выполнения производственных процессов.

Физический актив, состоящий из рабочей 3D-камеры, датчика, контроллера управления оборудованием и привода, образует замкнутый контур в виде цифровой автоматической системы управления, обеспечивая выполнение заданных технологических операций в автоматическом режиме [19].

Информационные процессы, циркулирующие в этом замкнутом контуре, становятся доступны персоналу производственного предприятия за счет

обмена информацией, поддерживаемого контроллером IoT. Эти процессы представляют интерес для персонала только в случае возникновения нештатных ситуаций в работе оборудования, чтобы выяснить время и причину возникновения сбоя (поломка, нарушение технологического процесса и пр.) в работе производственной линии. В то же время данные от датчика состояния технологического оборудования представляют для персонала постоянный интерес, так как от исправности оборудования, поддержания запаса инструмента и сырья внутри производственного автомата на заданном уровне зависит успех выполнения всей программы выпуска продукции [19].

Взаимодействие отдельных компонентов CPS-систем в составе единой производственной линии осуществляется на основе технологий IIOT, M2M и S2S (Systems-to-Systems) соответственно. Пример схемы движения сборочных единиц на предприятиях Industry 4.0 типа «умная фабрика» показан на рис. 12.4.

Каждая производственная линия этого производства состоит из набора автоматического технологического оборудования, выполняющего набор операций со сборочными единицами.

В зависимости от назначения производственных автоматов это могут быть:

- технологические операции по установке компонентов элементной базы;
- операции сборки модуля из набора деталей с установленными компонентами и пр.

Роботизированный транспортный комплекс CPS включает набор транспортных роботов, поддерживающих обмен производственными данными по беспроводной сети IoT и предназначенных для доставки деталей (сборочных единиц, готового изделия) со склада готовой продукции или на склад временного хранения, а также для подачи (съема) деталей в приемные (выдающие) контейнеры производственных автоматов, выполняющих технологические операции. Таким образом, транспортные роботы становятся внутрицеховыми киберфизическими системами, перемещающими детали в пределах производственных линий, и межцеховыми, предназначенными для перемещения изделий в соответствии с технологическим маршрутом в пределах всего производственного комплекса предприятия.

Мониторинг (наблюдение) деятельности производственных автоматов на таких «умных предприятиях» обеспечивается обслуживающим персоналом, осуществляющим контроль за состоянием оборудования и технологических процессов изготовления, посредством коммуникационных устройств (ПК, планшет, телефон), подключенных к беспроводной сети по протоколам IoT, M2M (рис. 12.5).



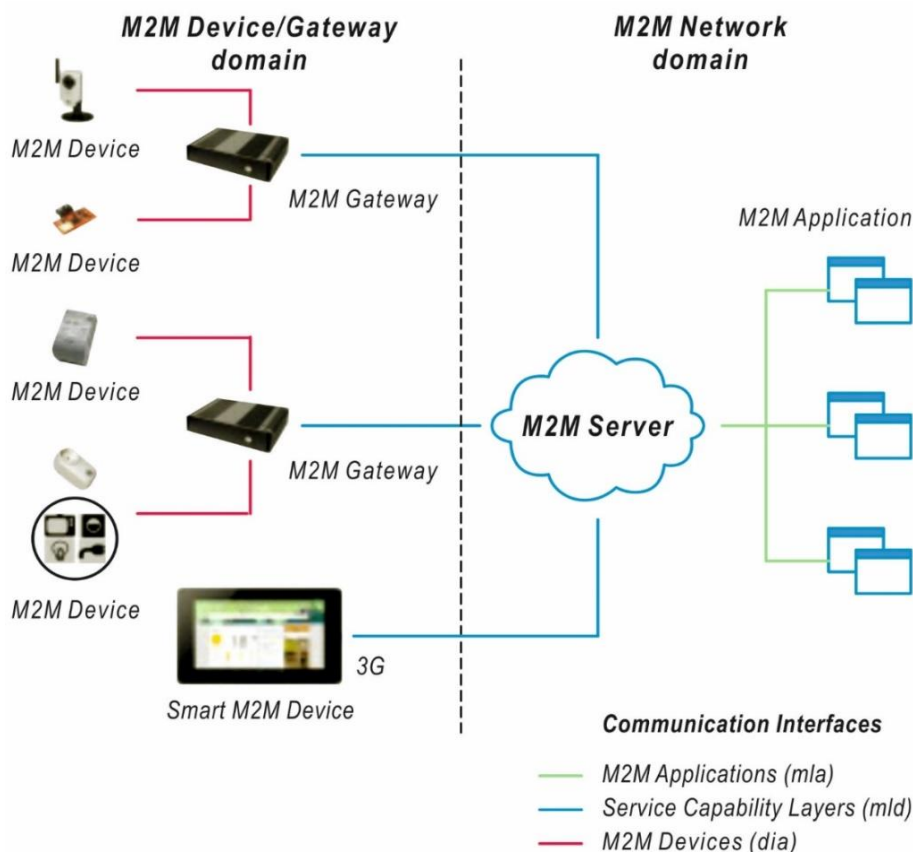


Рис. 12.5. Коммуникационная система управления КФС

Анализ тенденций цифровизации производства показывает, что базовое производственное оборудование, размещаемое на «умном предприятии» должно быть универсальным и позволять за достаточно короткий срок переориентировать (перепрограммировать) производственные мощности предприятия для начала выпуска нового вида изделий без существенных изменений существующей структуры организации.

Свойство аппаратной инвариантности производственных комплексов, оснащенных киберфизическими системами, определяет принцип и возможности самоорганизации производственных цехов как в части смены номенклатуры изготавливаемых изделий, так и в части устранения отказов и неисправностей, возникающих в оборудовании производственных линий. Для решения этих задач в качестве алгоритмов управления могут использоваться цифровые модели технологического оборудования. Такие алгоритмы самоорганизации производственного оборудования, размещаясь, например, в интернет-облаке, условно могут быть сгруппированы в библиотеки «Проектно-производственные ресурсы» и подключаться посредством контроллера к интерфейсу IoT производственного комплекса [19].

Уровень цифровых моделей на умном производстве представляется совокупностью:

- цифровых двойников технологического оборудования;
- цифровых моделей операций технологического процесса изготовления изделий;
- цифровых моделей изготавливаемого изделия и его составных частей;
- цифровых моделей внешних воздействующих факторов, необходимых для проведения виртуальных испытаний цифровой модели изделия с использованием технологий имитационного моделирования.

Цифровой двойник технологического оборудования – это специальный компонент киберфизической системы, представляющий собой математическую модель производственного актива, которая адекватна реальному устройству, описывает принцип и характеристики его работы и может размещаться в облаке сервисов CPS. Наличие цифрового двойника оборудования на уровне физических устройств позволяет осуществлять дополнительный контроль качества выполнения производственных операций, а на виртуальном уровне – проводить имитационное моделирование процессов изготовления изделия на этапах настройки и наладки.

Параллельно с выполнением реального технологического процесса на физическом уровне осуществляется вычисление параметров математической модели техпроцесса для цифрового двойника технологического оборудования, который включает подсистему киберпривода, подсистему кибердатчика и киберкамеру, в которой имитируется выполнение реальной технологической операции в режиме `model@run.time`.

Процессы вычисления параметров математической модели технологических процессов реализуются на киберуровне. Результаты вычислений через контроллер IoT передаются в ПЛК технологического оборудования.

По результатам сравнения измеренных в физическом мире и оцененных на виртуальном уровне в кибермире показателей процессов РАС-контроллер управления киберфизической системой принимает решение о соответствии или несоответствии выполняемой технологической операции заданию [19].

Межмашинное взаимодействие (IoT, M2M) позволяет машинам обмениваться информацией друг с другом или же передавать её в одностороннем порядке. Это могут быть проводные и беспроводные системы мониторинга датчиков каких-либо параметров устройств (температура, уровень запасов, местоположение и т. д.). Создание нового поколения беспроводных систем связи с помощью автономных сенсоров с использованием доступа к компьютерным хранилищам информации, развитие сетевых технологий, формирование пространства «интернет вещей» и сервисов «облачных вычислений» – все это существенно усиливает возможности «интеллектуализации» процессов управления.

К основному и главному преимуществу M2M относится возможность существования системы, которая не требует вмешательства человека. Например,

системы, которая самостоятельно передает данные с показателей бытовых счетчиков в ЖКХ, что упрощает процесс сбора и дальнейшей оплаты коммунальных услуг.

Примером применения M2M-систем может быть проект «Магазин будущего», реализованный в виде системы так называемых «умных» тележек и общей информационной системы, управляющей взаимодействием всех элементов магазина. Товары маркируются RFID-метками, а на тележках устанавливаются считыватели, которые автоматически передают информацию о составе и количестве товаров. Таким образом, «умная» тележка сообщает кассе, сколько и каких товаров вы взяли, и касса автоматически произведет расчеты и примет оплату с вашей карты. В масштабах крупных торговых сетей это позволит оптимизировать логистику, значительно снизить затраты на персонал, а для покупателей посещение магазинов станет удобнее и будет занимать меньше времени.

### **Тестовые задания**

1. Какие из определений киберфизической системы, приведенные ниже общеприняты?

а) CPS – это сотрудничающие между собой объекты, которые связывают кибернетический мир с окружающей физической средой или процессами посредством доступа к данным в ИИ-среде;

б) CPS – это комплексная система из вычислительных элементов, которая постоянно получает данные из окружающей среды и использует их для дальнейшей оптимизации процессов управления;

в) CPS – это информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов в физические сущности любого вида, включая биологические и рукотворные объекты;

г) CPS – это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое.

2. Какой фактор из перечисленных, определяющих развитие на планете Земля умного техногенеза, может быть исключен?

а) ограничения человека в области систематизации знаний;

б) постоянно растущие потребности человека;

в) противоречия между совершенством умных машин и сложностью их обслуживания человеком;

г) антропогенные опасности.

3. Какая из перечисленных способностей не является определяющей для CPS?

а) ориентация на сервисы;

б) интеллектуальная самоорганизация;

- в) виртуализация мира производства;
- г) тотальная автономия измерений.

4. Какая из цифровых моделей на умном производстве не является основной?

- а) модель операций технологического процесса изготовления изделий;
- б) модель изготавливаемого изделия и его составных частей;
- в) имитационная модель процесса производства;
- г) модель бизнес-процессов предприятия.

5. Соотнести термины с вариантами ответов...

1. Киберфизическая система (CPS).
2. Интернет вещей (ИОТ).
3. Встраиваемая система управления (ES).

Варианты ответов:

а) это интеллектуальная система, образованная взаимодействием вычислительного источника и физического объекта в киберпространстве.

б) это интеллектуальная система передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой

в) это система, представляющая собой комбинацию компьютерного процессора, компьютерной памяти и периферийных устройств ввода—вывода, выполняющая специальную функцию в рамках более крупной механической или электронной системы

### 13. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ АГЕНТОВ

Разработка технологии искусственных агентов, создание многоагентных систем (МАС) в киберфизических средах представляет собой одну из наиболее важных и многообещающих областей развития киберфизических технологий СУП.

Под агентом понимается программно-аппаратная сущность, которая получает информацию, отражающую события, происходящие в физической среде, и затем, для достижения поставленной ей цели, выполняет набор действий в физической среде (рис. 13.1).

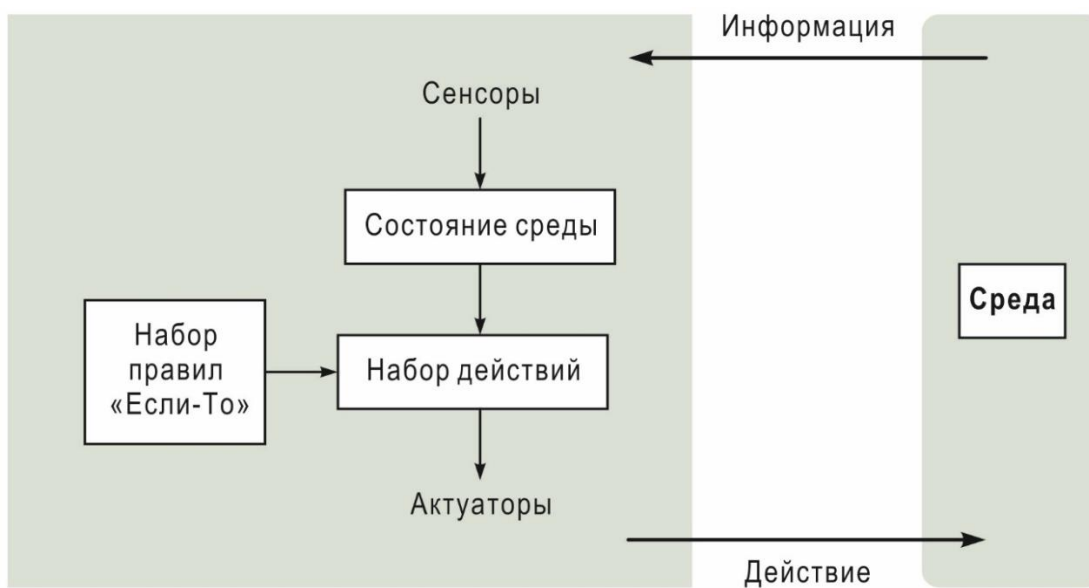


Рис. 13.1. Структурная схема искусственного агента

Исторически агентно-ориентированный подход находит широкое применение в таких областях, как распределенное решение сложных задач, совмещенное проектирование изделий, реинжиниринг бизнеса и построение виртуальных предприятий, имитационное моделирование интегрированных производственных систем и электронная торговля, организация работы коллективов роботов и распределенная (совмещенная) разработка компьютерных программ.

Мультиагентные системы реального времени являются эффективным инструментом для управления сложными процессами, в которых участвует большое количество активных автономных процессных сущностей. Управляемыми процессами являются потоки городского движения, логистические системы, различные производственные процессы.

Методы мультиагентного моделирования используются также для поиска и обработки информации в информационных сетях, системах управления

автономными роботами. Перспективным направлением развития мультиагентных систем является разработка беспилотных автомобилей и летательных аппаратов.

Как правило, интеллектуальный агент СУП состоит из следующих компонентов: сенсоров, приводов, памяти и программы агента. Сенсоры и приводы являются интерфейсом для взаимодействия между агентом и окружающей средой. В памяти сохраняются результаты восприятия окружающей среды сенсорами. Программа агента является наиболее сложным компонентом, управляя его поведением в физической среде в зависимости от решаемой задачи.

Простейшим видом агента является простой рефлексный агент. Подобные агенты выбирают действия на основе текущего акта восприятия, игнорируя всю остальную историю актов восприятия (рис. 13.2).

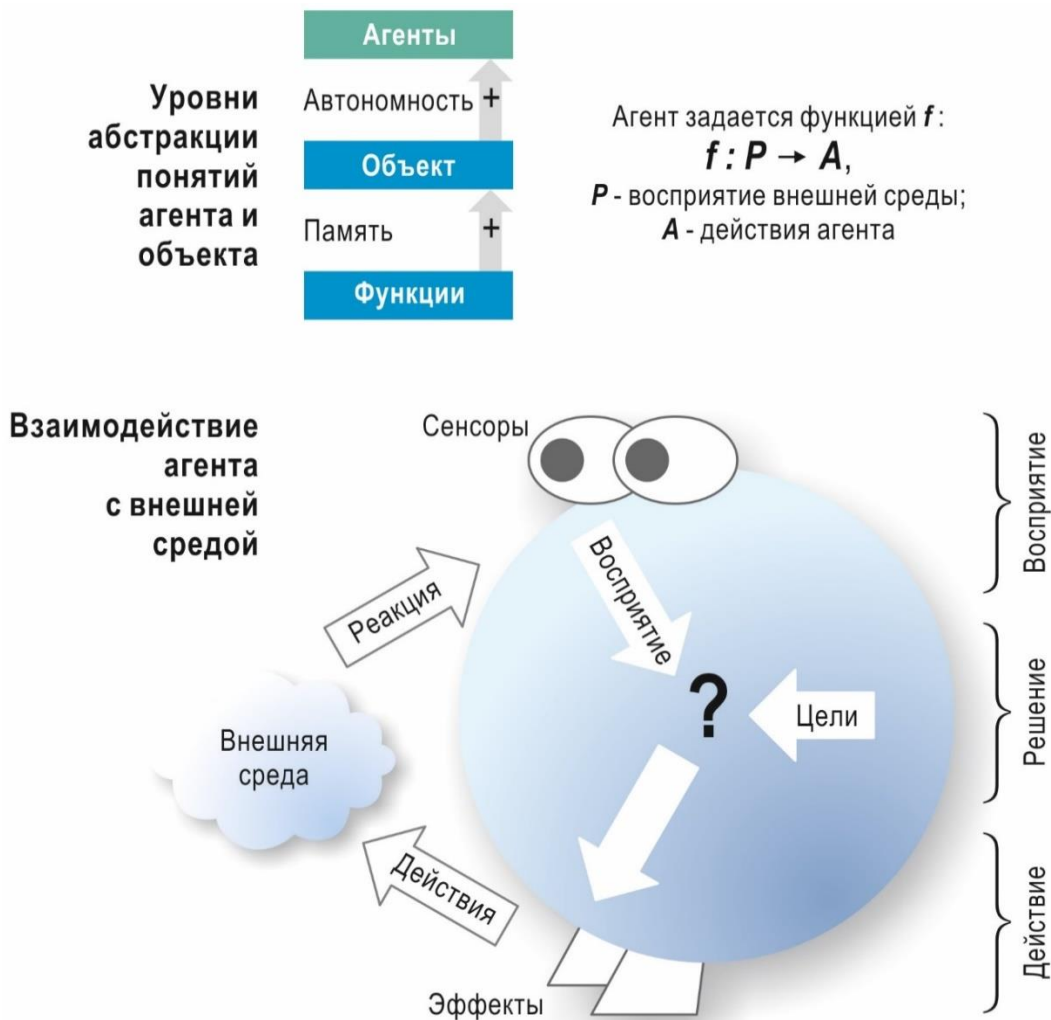


Рис. 13.2. Уровни абстракции понятий агента

Например, агент-пылесос представляет собой простой рефлексный агент, поскольку его решения основаны только на информации о текущем

местонахождении и о том, содержит ли оно мусор. Данный вид агентов использует связь типа «условие – действие». То есть если выполняется какое-то условие, то в ответ на него агент использует определенное действие. Такую связь очень часто используют люди. Так действуют, например, водители автомобилей: если водитель видит, что впереди машина тормозит, то он тоже начинает тормозить. Это самый простой тип связи «условие-действие». Такие связи могут быть приобретенными в результате обучения, другие – врожденными [27].

Простые рефлексные агенты характеризуются той замечательной особенностью, что они чрезвычайно просты. Агент-пылесос работает только в том случае, если правильное решение задачи пылеудаления принято на основе исключительно текущего восприятия физической среды. Это возможно только в полностью наблюдаемой среде. Внесение даже небольшой доли ненаблюдаемости может привести к серьезным нарушениям его работы.

Простые рефлексные агенты являются примитивными и ограниченными в функционале. В процессе их использования наблюдаются существенные недостатки. Например, для простых рефлексных агентов, которые действуют в не полностью наблюдаемой среде, характерны попадания в бесконечные циклы.

Одним из наиболее эффективных способов организации работы в условиях частичной наблюдаемости среды является отслеживаемость агентом той части мира, которая воспринимается им в данный момент времени [27].

Однако в реальной жизни для принятия решения не всегда достаточно информации из окружающей среды. Так, например, человек подходит к перекрестку и у него есть выбор трех направлений движения, выбор направления будет зависеть от цели движения. То есть человеку потребуются не только информация о мире, внутреннем состоянии, но и информация о цели, которая будет описывать требуемые варианты движения. Программа агента может комбинировать эти виды информации для выбора действий, которые позволят достичь цели.

Задача выбора действий на основе цели решается довольно просто, когда достижение цели становится результатом единственного действия, но когда достижение цели усложняется, то агенту потребуется рассмотреть последовательность действий, чтобы найти нужный способ достижения цели. Для достижения заданной цели используется поиск и планирование. В этом смысле принятие решений на основе цели полностью отличается от правила «условие-действие».

Главным отличием от стандартного правила «условие – действие» является то, что агент, действующий на основе цели, должен отвечать на вопросы: «Это действие позволит мне добиться цели?» и «Что будет, если я сделаю так?».

В рефлексных агентах такая информация представлена не явно, поскольку правила устанавливают жесткую связь между восприятием и действием.

Агент, действующий на основе цели, является менее рефлексивным, но в то же время он становится более гибким, поскольку знания, на которые он опирается, можно накапливать и модифицировать. То есть если меняется окружение, то такой агент перестраивает приоритеты, после чего выбирает наилучшее действие в соответствии с установленной целью, в то время как для агента, основанного на правиле «условие – действие», пришлось бы переписать программу «условие – действие».

Однако эти виды агентов имеют один общий недостаток – агенты не могут обучаться, что является серьезным изъяном в интеллектуальных системах.

Обучение является первичным качеством для интеллектуального агента, ведь благодаря ему агент может функционировать в первоначально неизвестных ему условиях среды [27].

Обучаемый агент имеет четыре концептуальных компонента: блок действий, обучающий компонент, блок критика и генератор задач (рис. 13.3).

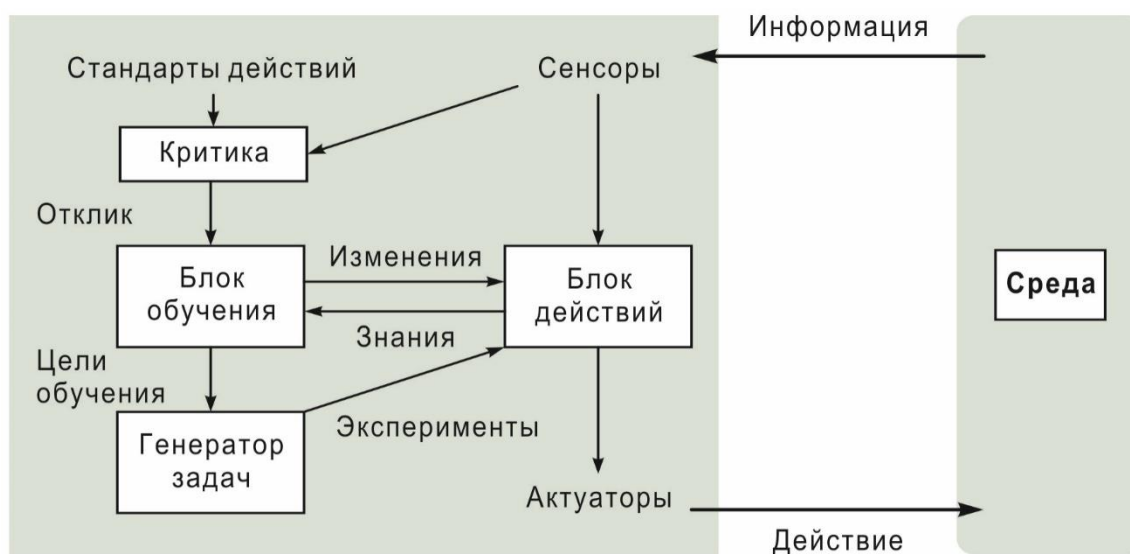


Рис. 13.3. Обучающийся агент

Блок действий взаимодействует со средой с помощью исполнительных механизмов.

Обучающий компонент отвечает за внесение усовершенствований, а производительный компонент – за выбор внешних действий. Обучающий компонент использует информацию от критика с оценкой того, как действует агент, и определяет его дальнейшие действия. Обучающий компонент полностью зависит от исполнительного компонента. При моделировании такого агента, прежде всего нужно получить ответ на



вопрос: «Какой исполнительный компонент потребуется агенту, после того как он обучится выполнять свои функции?»

*Критик* необходим в этой структуре, поскольку сам агент не понимает, успешны ли его действия или нет.

*Генератор задач* служит для выбора действий, которые должны привести к получению нового информационного опыта. Поскольку исполнительный компонент выбирает только наилучшие действия, то, возможно, он будет использовать одни и те же действия все время, полагая что они являются наилучшими. Генератор задач служит для выбора менее оптимальных действий в начале, но, возможно, наилучших в конечном результате. То есть генератор задач предназначен для того, чтобы система смогла экспериментировать и находить лучшие решения достижения цели.

Известны решения МАС, когда коллективы даже простейших автоматов, в которых каждый автомат преследует только свои примитивные цели, в целом способны решать очень сложные задачи. В качестве иллюстрации можно взять, например, природный пчелиный улей или муравейник. В таких системах агенты (пчелы, муравьи) могут учитывать планы и интересы других агентов и МАС становится более гибкой.

Однако использование идеи коллективного поведения приводит к массе проблем. Среди них, в частности, следует выделить такие проблемы, как формирование совместных планов действий, наличие конфликтующих целей, возможность учета интересов компаньонов агента, синхронизация их совместных действий, наличие конкуренции за равнодоступные ресурсы, организация переговоров о совместных действиях, распознавание необходимости кооперации, обучение поведению в коллективе, совместные обязательства и т. д.

В процессе формирования совместного поведения агентов в МАС-среде выделяют четыре этапа:

- *Распознавание*. Процесс кооперативного решения начинается тогда, когда агент распознает необходимость совместных действий. Например, у агента имеется цель, достичь которую он самостоятельно не способен. Распознав это, он ищет партнеров для выполнения совместных действий.

- *Формирование группы агентов*. На этой стадии агент, установивший возможность совместного действия, ищет партнеров. При успешном завершении этой стадии образуется группа агентов, имеющих совместные обязательства для выполнения коллективных действий.

- *Формирование совместного плана*. На этой стадии между агентами ведутся переговоры с целью выработать совместный план, который, по их убеждению, приведет к желаемой цели.

- *Совместные действия*. На этом этапе агенты действуют согласно выработанному плану, поддерживая взаимодействие согласно принятым на себя обязательствам.

Формирование совместного плана выполнения действий начинается при условии, если предыдущая стадия была успешной. Такой поход к управлению позволяет выделять группы агентов, обязующихся выполнять действия совместно.

Однако коллективные действия не могут начаться до тех пор, пока в группе не будет достигнуто соглашение, что конкретно будет делать каждый агент. Для выработки такого соглашения служит стадия формирования совместного плана. Переговоры являются механизмом выработки такого соглашения. Реализуется протокол переговоров в формате алгоритма поиска соглашения. На стадии формирования совместного плана агенты группы осуществляют совместные попытки добиться такого состояния в группе, в котором все агенты выработали бы совместный план, согласны с ним и намереваются действовать по нему.

Во время переговоров агенты предлагают планы, уточняют их с другими агентами, модифицируют предложенные планы до тех пор, пока все агенты не согласятся с единым планом.

При успешном завершении стадии планирования начинается стадия совместных действий. При нормальном развитии процесса достижения установленной цели действия выполняются согласно принятому плану вплоть до его завершения.

В настоящее время многоагентная модель широко применяется при проектировании систем автоматизации, управлении киберфизическими системами производства на различных уровнях. Удобство такого подхода, при наличии возможности использования агентов, обусловлено схожестью многоагентной модели с реальными процессами, происходящими на предприятии. Действительно, в классической многоагентной системе под агентом понимается некий субъект, как правило, активный и способный взаимодействовать с окружающей средой. Его интеллектуальное поведение поддерживается совместной работой таких компонент, как блок решающих правил для вычисления плана, блок правил для управления задачами, их декомпозицией и размещением, а также блок правил для поддержки соглашений с другими производственными агентами при кооперативном решении задач.

В таких системах при коллективном решении производственных задач агенты способны взаимодействовать друг с другом путем «переговоров» и демонстрировать «коллективный интеллект», возникающий в системе в форме цепочек согласованных изменений планов агентов.

Таким образом, в киберфизической части СУП могут быть использованы фундаментальные принципы самоорганизации и эволюции, присущие живым системам, например колонии муравьев или рою пчел, отличающихся способностью решать сложные задачи в реальном времени,

открытостью к изменениям, высокой эффективностью, надежностью и живучестью.

Обычно такие системы легко интегрируются с существующими коммуникаторами, учетно-контрольными системами предприятия, электронными картами, средствами GPS-навигации, RFID-чипами, QR-кодами.

Применение мультиагентных инструментальных средств позволяет, например, решить ряд сложных задач управления процессами производственной и транспортной логистики.

В настоящее время существует несколько промышленных реализаций интеллектуальных систем, основанных на мультиагентных технологиях: для компаний, занимающихся междугородними транспортными перевозками (организовано согласованное планирование загрузки парка грузовиков для менеджеров центра и филиалов), для компаний корпоративного такси (планирование и распределение текущих заказов в режиме реального времени), для аэропорта (система управления наземными сервисами аэропорта на основе RFID-технологий).

Для решения этих задач использовалась инструментальная платформа, которая состоит из детектора образов, адаптивного планировщика, конструктора сцены, редактора онтологии, моделирующей системы, эволюционного дизайнера.

*Детектор образов* распознает типовые ситуации, возникающие в ходе поступления заявок, и вырабатывает прогноз заявок и рекомендации по планированию с учетом предыстории.

*Адаптивный планировщик* обрабатывает поток входящих событий (поступление заявок, ввод новых ресурсов, выход из строя ресурсов и т. п.).

*Конструктор сцены* позволяет редактировать начальную конфигурацию МАС и определять потребные параметры и ресурсы. Конструктор сцены основывается на общей базе знаний (онтологии), описывающей процессную деятельность, назначенную для управления МАС. В базе знаний присутствуют понятия процесса и правила выполнения действий, которые при развитии бизнеса могут расширяться с использованием редактора онтологии.

*Редактор онтологии* позволяет осуществлять разработку метамодели предприятия на наиболее высоком уровне абстракции, для того чтобы иметь возможность эффективно связывать различные его модели в единое целое.

*Моделирующая система* – это программный модуль, позволяющий осуществлять моделирование ситуации по принципу «Что, если?».

*Эволюционный дизайнер* – это модуль, вырабатывающий предложения по улучшению конфигурации сети в части увеличения или уменьшения определенного числа ресурсов, изменению географии ресурсов и т. д.

Развитие таких МАС тесно связано с формированием предложений искусственного интеллекта.

Интеллект (от лат. *intellectus* – ощущение, восприятие, разумение, понимание, понятие, рассудок), или ум, – качество психики, состоящее из способности приспосабливаться к новым ситуациям, способности к обучению и запоминанию на основе опыта, пониманию, применению абстрактных концепций и использованию своих знаний для управления окружающей средой. Это общая способность к познанию и решению трудностей, которая объединяет все познавательные способности человека: ощущение, восприятие, память, представление, мышление, воображение.

*Искусственный интеллект* – это область информатики, которая занимается разработкой интеллектуальных компьютерных систем, то есть систем, обладающих возможностями, которые мы традиционно связываем с человеческим разумом, – понимание языка, обучение, способность рассуждать, решать проблемы и т. д.

Развитие методов искусственного интеллекта позволяет сделать новый шаг к изменению стиля управления процессами в компьютерной среде: вместо взаимодействия, инициируемого пользователем путем команд и прямых манипуляций, пользователь вовлекается в совместный процесс решения с использованием интеллектуального посредника- агента. При этом, как пользователь, так и интеллектуальный посредник, оба принимают участие в запуске задачи, управлении событиями и решении установленной задачи.

Сегодня термин ИИ относится к конкретной области вычислительной техники, которая фокусируется на создании систем, способных быть интеллектуальным посредником при сборе данных и способных принимать самостоятельные решения и/или самостоятельно решать проблемы.

На начальном этапе развития интеллектуальных систем управления с понятием искусственный интеллект (ИИ) связывали область информационных технологий, которая занимается разработкой интеллектуальных компьютерных систем. Позже к ИИ стали относить ряд алгоритмов и программных систем, отличительным свойством которых является то, что они могут решать некоторые задачи так, как это делал бы размышляющий над их решением человек [38, 39].

Для решения задач управления процессами производства перспективным является использование чат-ботов типа Chat GPT как посредников операторов и инженеров при управлении процессами.

ChatGPT – это нейросеть, основанная на технологии глубокого обучения, разработана компанией OpenAI. Архитектура нейросети реализована в виде модели Transformer, обеспечивающей эффективное понимание естественного языка пользователя через текстовый интерфейс и высокую производительность генерации текста. В процессе диалогового общения она выполняет

автоматическую обработку запросов пользователей, отвечая на них, и предоставляет соответствующую информацию в экранной форме.

Архитектура Transformer состоит из двух блоков – кодировщика и декодера. Блок кодировщика преобразует входной текст в скрытые представления (так называемые эмбединги), а блок декодера генерирует текст ответа на основе этих представлений и предыдущего контекста.

Обучение модели выполняется на большом объеме текстовых данных, которые формируются в виде обучающей выборки. Эти данные представляют собой разнообразные источники информации, такие как книги, статьи, новости, блоги, сообщения из социальных сетей и другие публично доступные тексты. Предварительно их обрабатывают, чтобы привести к удобному для модели формату.

Модель обучается на этих наборах данных с использованием метода глубокого машинного обучения и итеративно обновляется с помощью метода обратного распространения ошибок. В процессе обучения модель анализирует текстовые данные, пытаясь понять связи между словами и предложениями, постепенно настраивая свои параметры таким образом, чтобы оптимально предсказывать следующее слово или фразу в контексте предыдущего текста.

Обучение модели может занимать продолжительное время и требует больших объемов вычислительных ресурсов. Поэтому для этой цели применяются мощные компьютеры или специальные вычислительные кластеры, оснащённые графическими (GPU) и тензорными (TPU) процессорами.

После завершения обучения модель готова для генерации ответов на различные вопросы и предоставления текстовой поддержки в различных приложениях.

Функциональная организация программы ChatGPT включает в себя следующие основные элементы:

1. Модуль обработки ввода. Основной модуль, который принимает команду ввода от пользователя и анализирует ее. В этом модуле выполняется распознавание речи или текста, извлечение ключевых слов или смысловых единиц, а также определение намерений пользователя.

2. Модуль хранения знаний. Этот модуль содержит информацию, необходимую для ответа на запросы пользователей. Он может быть представлен в виде базы данных, графа знаний или других способов хранения информации.

3. Модуль генерации ответа. После анализа ввода запроса и извлечения необходимой информации из модуля хранения знаний модуль генерации ответа формирует и выводит ответ на экран пользователя. Этот модуль может использовать различные алгоритмы и методы для создания правильного

ответа, включая наборы шаблонов ответа и генерацию естественного языка общения с пользователем.

Структурная организация ChatGPT зависит от выбранной архитектуры и используемых алгоритмов. Основные компоненты программы:

1. *Пользовательский интерфейс.* Это текстовый интерфейс, через который пользователи взаимодействуют с ChatGPT. Он может быть реализован в виде сайта, мобильного приложения или других форматов.

2. *База данных.* Содержит информацию, необходимую для работы чат-бота. Ее можно использовать для хранения предыдущих разговоров с пользователем, контекста взаимодействия с ним и создания условий коммуникации с другими данными, необходимыми для обработки запроса.

3. *Нейронная сеть или другие алгоритмы обучения.* Они используются для машинного обучения, распознавания речи, генерации ответов или принятия решений.

4. *Алгоритмы обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP).* Используются чат-ботами для понимания запроса пользователя и генерации ответов. Эти алгоритмы помогают разобраться в намерениях пользователя и извлечь нужную информацию.

ChatGPT или его аналоги могут принимать участие в управлении технологическим процессом путем автоматической обработки запросов операторов и предоставления им необходимой информации. Такое управление применяется в следующих сценариях:

1. *Ремонт и техническое обслуживание.* Боты могут помочь в решении проблем, связанных с технической поддержкой операторов и инженеров при техническом обслуживании и настройке технологического оборудования. Они могут отвечать на вопросы, предлагать решения и предоставлять руководства по эксплуатации.

2. *Мониторинг и сбор данных.* Боты могут автоматически получать данные о состоянии оборудования или параметрах процессов в реальном времени, структурировать эти данные, например в виде информации о текущих показателях, трендах, а также предупреждать о возможных проблемах или сбоях.

3. *Управление и оптимизация процессов.* Боты могут принимать команды или инструкции от операторов или инженеров и управлять технологическими процессами. Например, они могут изменять настройки оборудования, контролировать параметры или запускать определенные операции.

4. *Анализ данных и предсказание.* Боты могут обрабатывать большие объемы данных о процессах и оборудовании с использованием алгоритмов машинного обучения: анализировать эти данные, выявлять тренды, предсказывать возможные сбои или проблемы и предлагать соответствующие меры для предотвращения.

5. *Уведомление и оповещение.* Боты могут отправлять уведомления и оповещения операторам или инженерам в случае возникновения проблем, сбоев или критических ситуаций, а также предлагать решения для минимизации негативных последствий.

Как область науки искусственный интеллект может быть реализован с использованием таких технологий, как экспертные системы, нейронные сети и генетические алгоритмы. Нейронные сети в настоящее время стали одним из направлений исследований в области искусственного интеллекта, суть которого состоит в моделировании нервной системы человека.

Нервная система человека функционирует благодаря особым нервным клеткам – нейронам. Биологические нейроны состоят из самой клетки и ее отростков – синапсов, через которые нейроны связываются друг с другом. Работа биологической нейронной сети обеспечивается с помощью передачи по ней электрохимических импульсов через связанные нейроны. Сам импульс при этом может оставаться неизменным или изменяться (усиливаться или ослабляться). Передача импульсов начинается под воздействием внешней среды. Главным свойством биологической нейронной сети является её способность к обучению, то есть изменению степени связи между нейронами.

Искусственный нейрон, в свою очередь, представляет собой единицу обработки информации в искусственной нейросети и просто имитирует работу биологического нейрона.

У него выделяют три составляющие:

- синапс – аналог биологических нейронных связей, каждая из которых имеет свой вес, определяющий силу связи между нейронами;
- сумматор – аналог биологического нейрона, выполняет сложение всех сигналов, входящих через синапсы;
- функция активации – функция, которая определяет выходной сигнал нейрона, отправляющийся дальше по нейронной сети.

Обучение искусственной нейронной сети реализуется путем подбора весовых коэффициентов для каждого синапса. При обучении нейронных сетей выделяют два основных подхода – обучение с учителем и без учителя (рис. 13.4).

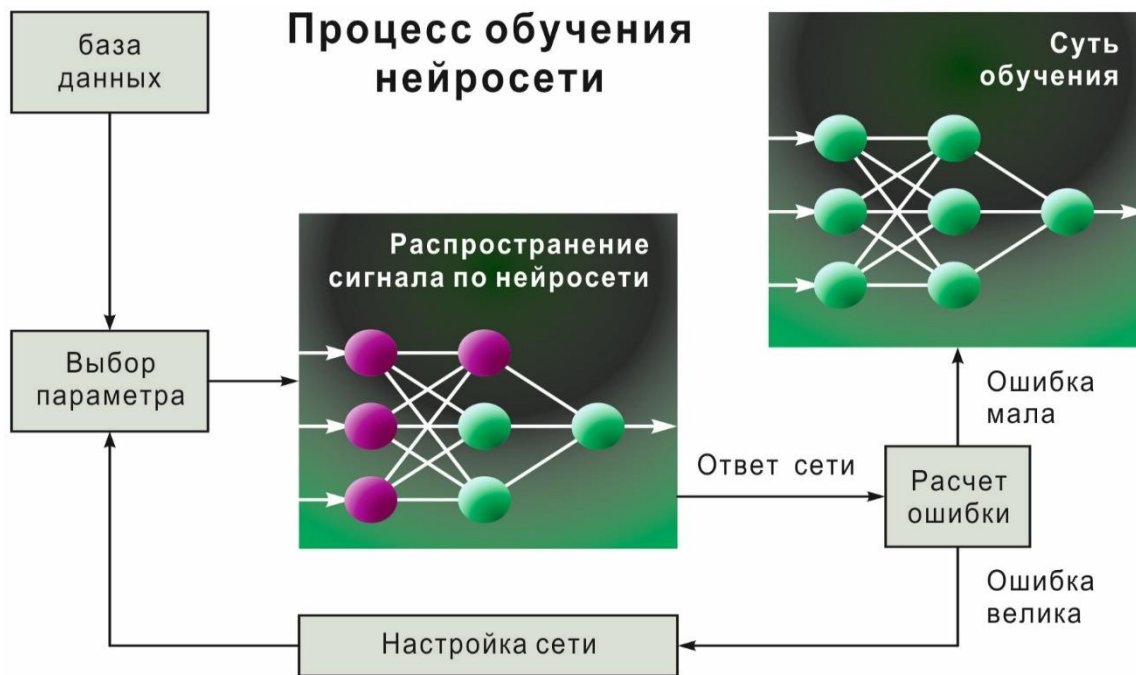


Рис. 13.4. Нейросетевое управление процессом

Модель «с учителем» основывается на том, что для каждого входного вектора устанавливается определенное значение выходного вектора, что создает обучающую пару. При взаимодействии множество обучающих пар веса нейронной сети изменяются до тех пор, пока для каждого входного вектора не будет найден выходной с заранее заданной погрешностью.

Модель обучения «без учителя» осуществляется на основе только входящих векторов. Алгоритм обучения, заменяющий собой учителя, подбирает такие веса, чтобы для схожих входных векторов выводились одинаковые выходные.

Свойство обучаемости нейронной сети на данных определенной предметной области имеет важное практическое значение. Нейронные сети являются эффективным инструментом в различных областях применения, связанных с принятием решений, результативным управлением, автономным планированием, проектированием, мониторингом и др.

Наиболее важной частью ИИ является алгоритм. Это математические формулы и/или команды программирования, которые информируют обычный неинтеллектуальный компьютер о том, как решить проблемы с искусственным интеллектом (рис. 13.5).



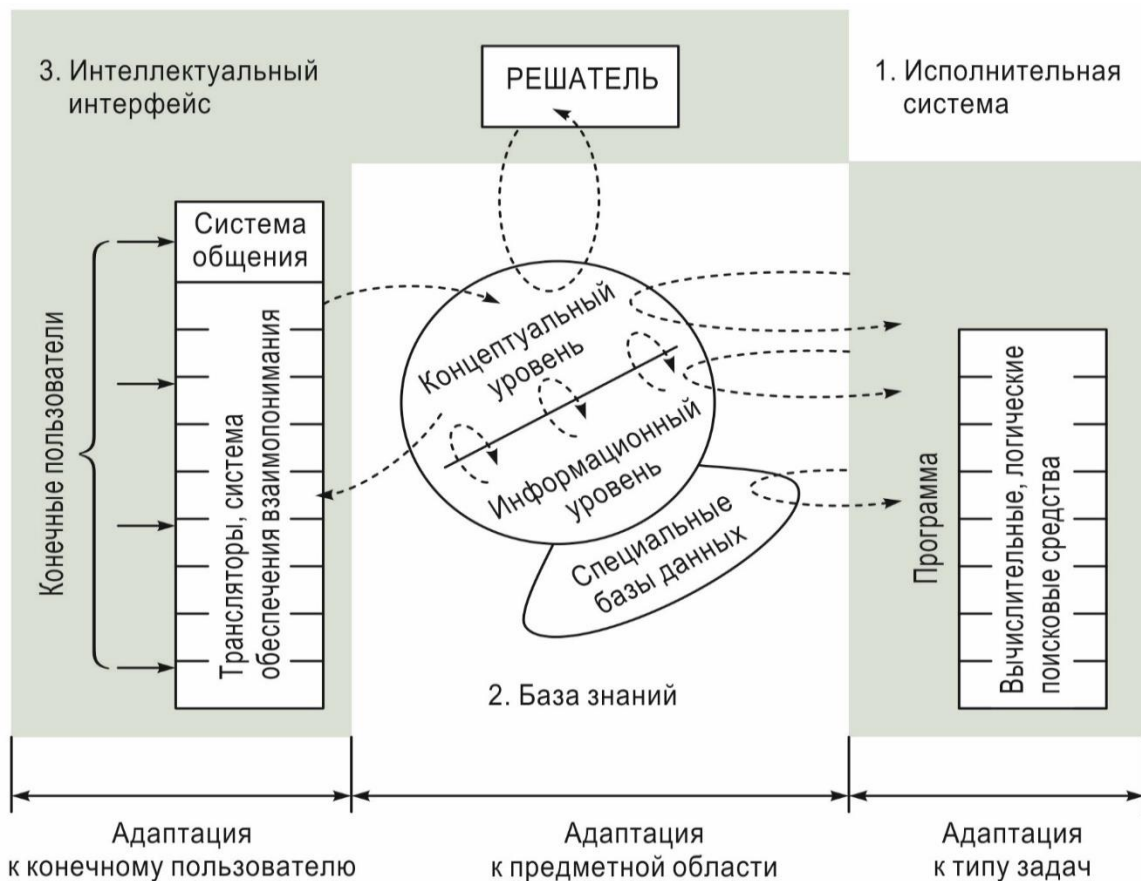


Рис. 13.5. Функциональная структура применения ИИ

Алгоритмы – это правила, которым следуют компьютеры. Искусственный интеллект – это система, которая может научиться учиться. Люди пишут исходные алгоритмы для системы, которая позволяет компьютеру впоследствии писать собственные алгоритмы без дополнительного контроля или взаимодействия с человеком. Этот процесс позволяет ИИ постоянно учиться и решать новые проблемы внутри постоянно меняющейся среды, основываясь на продолжающемся сборе данных. Единого ответа на вопрос, чем занимается искусственный интеллект, не существует. Почти каждый автор, пишущий книгу об ИИ, отталкивается в ней от какого-либо определения, рассматривая в его свете достижения этой науки.

Несмотря на наличие множества подходов как к пониманию задач ИИ, так и созданию интеллектуальных информационных систем, можно выделить два основных подхода к разработке ИИ:

- нисходящий (Top-Down AI), семиотический, – создание экспертных систем, баз знаний и систем логического вывода, имитирующих высокоуровневые психические процессы человека: мышление, рассуждение, речь, эмоции, творчество и т. д.;
- восходящий (Bottom-Up AI), биологический, – создание нейронных сетей и развитие эволюционных вычислений, моделирующих интеллектуальное

поведение на основе биологических элементов, а также создание соответствующих вычислительных систем, таких как нейрокомпьютер или биокомпьютер.

Однако в настоящее время человечеством не решён вопрос о природе и статусе человеческого интеллекта. Нет точного критерия достижения компьютерами «разумности». Сложно назвать точные даты, когда плоды воображения разработчиков ИИ обретут физическое воплощение. Прогрессировать нужно не только технологиям, но и человеку.

Чтобы люди начали доверять роботизированным полицейским, врачам и водителям, их искусственный интеллект должен быть равным человеческому. В то же время сможет ли несовершенный человек создать совершенную систему? Сможет ли отследить ту грань, где искусственный интеллект – друг, а не опасность? И сможет ли избежать технической зависимости?

### **Тестовые задания**

1. Агентно-ориентированный подход управления CPS – это...

а) разновидность представления программ, или парадигма программирования, в которой основной концепцией является понятие объекта-агента, который отождествляется с предметной областью;

б) разновидность представления программ, или парадигма программирования, в которой основополагающими концепциями являются разумность программного агента (иногда бота) и его ментальное поведение, зависящее от среды;

в) понимание искусственного интеллекта (ИИ) как вычислительной части планирования, ментальной способности достигать поставленных перед интеллектуальной машиной целей;

г) разновидность встраиваемых систем.

2. Какие компоненты структуры относятся к обучающемуся агенту?

а) сенсоры, актуаторы;

б) блок обучения;

в) блок действий;

г) генератор задач.

3. Главным свойством реактивных агентов является...

а) сбор и анализ данных о внешней среде;

б) реакция на изменение внешней среды;

с) быстрое принятие решений;

д) обработка видеoinформации;

е) анализ ситуации.

4. Что из перечисленного можно отнести к основным направлениям развития ИИ:

а) представление знаний;

- б) решение неформализованных задач;
  - в) интеллектуальный анализ данных;
  - г) создание человеко-машинного интерфейса.
5. Что является входом искусственного нейрона?
- а) множество сигналов;
  - б) единственный сигнал;
  - в) весовые значения;
  - г) значения активационной функции.

## 14. ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В 2011 году произошло знаковое для автоматизации промышленное событие. На Ганноверской ярмарке, крупнейшей в мире промышленной выставке, был озвучен новый промышленный уклад «Индустрия 4.0». Сегодня он используется для обозначения четвертой промышленной революции.

Первая революция длилась порядка 100 лет и была связана с переходом от ручного труда к машинному, с появлением паровых машин, появлением фабрик с разделением труда (рис. 14.1).



Рис. 14.1. Промышленные революции, изменившие процессы производств

Вторая революция в промышленности начала 20 века была связана с электрификацией и внедрением конвейерного производства.

Третью промышленную революцию связывают с развитием и внедрением компьютерных технологий для управления производством. Однако, несмотря на активное внедрение различных видов компьютерных технологий, электроники и промышленной робототехники в производственные процессы, управляемое производство носило преимущественно простой характер, когда для каждого типа процесса (в том числе бизнес-процесса) внутри одного предприятия использовали собственную систему управления. В большинстве случаев они были несовместимыми с другими системами.

Industry 4.0 – это взаимосвязь технологий, способствующих появлению умного производства путем внедрения цифровизации всех его процессов. Использование при управлении процессами предприятий новых производственных стратегий, таких как CPS, цифровые двойники и гибкое автоматизированное производство, дает следующие преимущества:

- повышается мобильность производства;
- сокращаются сроки освоения новой продукции;
- повышается производительность труда;
- сокращается производственный цикл;

- снижаются затраты на производство.

Особенностью четвертой промышленной революции является реализация технологии «сервис-ориентированного производства». При внедрении этой технологии связь между «умными машинами» осуществляется посредством декларируемых и потребных сервисов.

Развитие Интернета, инфокоммуникационных технологий, устойчивых каналов связи, облачных технологий и цифровых платформ, а также информационный «взрыв» в каналах данных, формирование информационных платформ больших данных обеспечили появление СУП и глобальных промышленных сетей, выходящих за границы отдельного предприятия и взаимодействующих между собой. Такие системы и сети оказывают преобразующее воздействие на все сектора современной экономики и бизнеса за пределами единой информационной среды и переводят промышленную автоматизацию на новую, четвертую, ступень индустриализации.

Четвертую промышленную революцию описывают через современные тенденции в автоматизации производства, такие как:

- метавселенная «Интернета вещей»;
- искусственный интеллект и робототехника;
- облачные вычисления;
- обработка больших данных;
- аддитивное производство;
- кибербезопасность;
- цифровые двойники;
- виртуальная и дополненная реальность.

На смену сформировавшейся в начале XX века модели масштабного выпуска какого-либо продукта приходят новые формы партионного производства.

Стремясь удовлетворить растущий индивидуальный спрос на продукцию, СУП регулярно и быстро обновляет процессное управление выпуском новой продукции. При этом предприятие – производитель конечной продукции все чаще становится интегратором, задача которого при разработке новой продукции управлять сетью необходимых партнеров, которые могут осуществлять производство компонентов будущего изделия.

Важным условием здесь становится такая связь интегратора с потребителем, которая направлена не только на удовлетворение его растущих потребностей, но и на воспитание у него новой, задуманной интегратором потребности. Основой такой бизнес-модели производителя становится создание СУП-платформы для взаимодействия всех заинтересованных сторон. Применяемые при этом информационные механизмы взаимодействия опираются на новые технологии, интернет-сервисы, позволяющие потребителям видеть

преимущества новой продукции. В такой среде можно выделить четыре сценария предоставления облачных услуг [36]:

- оборудование как сервис (Hardware as a Service, HaaS) – сервис, обеспечивающий стороннее использование производственного оборудования, КИ-ПиА, промышленных сетей СУП;
- программа как сервис (Software as a Service, SaaS) – сервис комплексного использования CAD/CAM/CAE и другого инструментального ПО СУП, необходимого для организации производственного процесса;
- инфраструктура как сервис (Infrastructure as a Service, IaaS) – сервис, предоставляющий СУП из интернет-центров вычислительные ресурсы, программные платформы, сбор и обработку данных и т. д.;
- платформа как сервис (Platform as a Service, PaaS) – сервис, предоставляющий программные средства из СУП потребителям и поставщикам услуг облачного производства.

Облачное производство становится выгодным как малым, так и средним предприятиям, поскольку открывается доступ к прежде недоступным программно-аппаратным средствам цифровизации производства и снижаются расходы на автоматизацию СУП, поскольку оплата облачных услуг осуществляется только за фактическое использование ресурсов. Для больших предприятий открывается путь к оптимизации управления, переходу от централизованного иерархического планирования к киберфизическим структурам управления процессами производства.

Ориентация на индивидуальные потребности заказчика предусматривает радикальную перестройку процессов разработки, производства и логистики. Цикл проектирования новых продуктов сокращается, осуществляется быстрая разработка на заказ изделий с высокой степенью готовности. Одновременно происходит роботизация средств производства. Большие надежды при этом связываются с аддитивными технологиями (3D-печать и т. п.). Кроме того, появляется возможность приблизить производство к потребителю, что сокращает логистические затраты – информация между заказчиком, разработчиком и изготовителем передается исключительно в цифровом виде [36].

В процессно-ориентированной модели производства управление технологическими и производственными активами осуществляется с помощью иерархически взаимосвязанных процессных операций. Для традиционных средств управления, использующих ПЛК, у производителей технологического оборудования выделяется задача автономного компьютерного управления активом. При этом средства управления технологическим процессом, где участвуют активы, основываются на подходе, ориентированном на процесс. Процессно-ориентированными является и диспетчерское (SCADA) управление технологическим процессом, и управление производством в целом (Plant Wide Control). Если управление активами ограничивается простыми контурами управления в

пределах технолого-производственных единиц, например Smart Asset Control, то управление процессом в целом ставит и решает задачу оптимизации деятельности предприятия.

Однако при внедрении PWC управление предприятием наталкивается на трудности при согласовании шкал времени процессов разных иерархических уровней. Кроме того, попытки сформировать интегрированные системы управления, объединяющие SCADA-, MES- и ERP-системы, наталкиваются либо на проблемы растянутого промежутка времени их освоения на предприятии, что приводит к необходимости непрерывного обновления с последующим освоением информационных систем управления нового поколения, либо к непрерывному «заплаточному» связыванию отдельных информационных систем управления разных производителей, которые быстро обновляются в связи с развитием компьютерных технологий.

Выделение на предприятии активов, образующих связанную цепь процессов производства конечной продукции, значительно упрощает разработку компьютерных схем для управления ими. Такие схемы естественным образом могут быть реализованы в виде киберфизических систем.

Рассмотрим пример управления активами на предприятии производства цемента [50]. Это производство начинается на известняковом карьере, где экскаваторы извлекают известняк и грузят на самосвалы, которые везут его на дальнейшую обработку. Известняк пропускают через дробилки, где измельчается до тонкомолотого состояния. Далее он смешивается с глиной и песком в определенных пропорциях согласно рецептуре на производимый цемент. Смесь проходит через мельницу, где происходит ее дальнейшее измельчение и смешивание. Затем смесь из глины, песка и известняка обрабатывается в печи, где происходит ее подогрев, после чего она направляется во вращающуюся печь, в которой преобразуется в клинкер.

В контексте этого примера возьмем отдельный технологический агрегат, вращающуюся печь, чтобы показать, как естественная архитектура увязывается с активами в виде производственного оборудования.

Вращающаяся печь на первый взгляд кажется относительно простой группой активов, но в ее состав входит ряд субактивов: нагнетательный вентилятор, регулятор скорости вращения, охладитель, питатель сырого угля, барабан, пылеуловитель циклонного типа, вытяжной вентилятор и электрический пылеуловитель. В этом примере каждый субактив может быть снабжен своим контроллером. В результате реализуются отдельные киберфизические системы. Каждая киберфизическая система будет включать в себя датчики, исполнительные механизмы и схемы управления активом. Такой подход предполагает естественное деление и выделение субактивов, что значительно упрощает разработку схем управления. Для автоматизации такого

производства легко выполнить «лего-сборку» всех активов предприятия. Такая сборка формирует промышленную структуру архитектуры предприятия в целом.

Эта архитектура в точности повторяет архитектуру, как ее представляют производственные инженеры, ремонтники и операторы, когда выполняют свою работу на предприятии. Она может выглядеть довольно сложной по сравнению с традиционной архитектурой СУП, но имеет гораздо более широкий охват автоматизации, чем предыдущие СУП когда-либо. В этом случае можно говорить о тотальной цифровизации предприятия.

Программировать и настраивать узлы такой архитектуры значительно проще, чем в традиционных системах, так как каждый узел представляет отдельный актив или группу активов, а настройка узла более высокого уровня выполняется исходя из предположения, что активы нижнего уровня оптимально контролируются.

Ключом к успешной производственной операции является эффективное управление процессами в каждом отдельном активе и в группе активов, которое обеспечивает максимально возможное увеличение эффективности и рентабельности актива и сведение к минимуму угроз для безопасности производства и окружающей среды.

Насыщение готовых продуктов и техники разнообразными датчиками, сенсорная сеть, интернет вещей и облачные вычисления дают возможность достичь такого уровня децентрализации управления, при котором киберфизические системы в рамках «умных заводов» смогут принимать независимые от людей решения. Поэтому внедрение элементов искусственного интеллекта в киберфизические системы также можно считать частью Industry 4.0.

Режим реального времени – это режим обработки информации, при котором обеспечивается взаимодействие системы обработки информации с внешними по отношению к ней процессами в темпе, соизмеримом со скоростью протекания этих процессов. В соответствии с киберфизической парадигмой производства управление процессами осуществляется в режиме реального времени с использованием новых технологий обработки больших данных и интернета вещей.

Благодаря этим технологиям виртуальные цифровые модели активов (цифровые двойники) технологического процесса в режиме реального времени автоматически контролируют машины и механизмы и управляют ими (рис. 14.2).



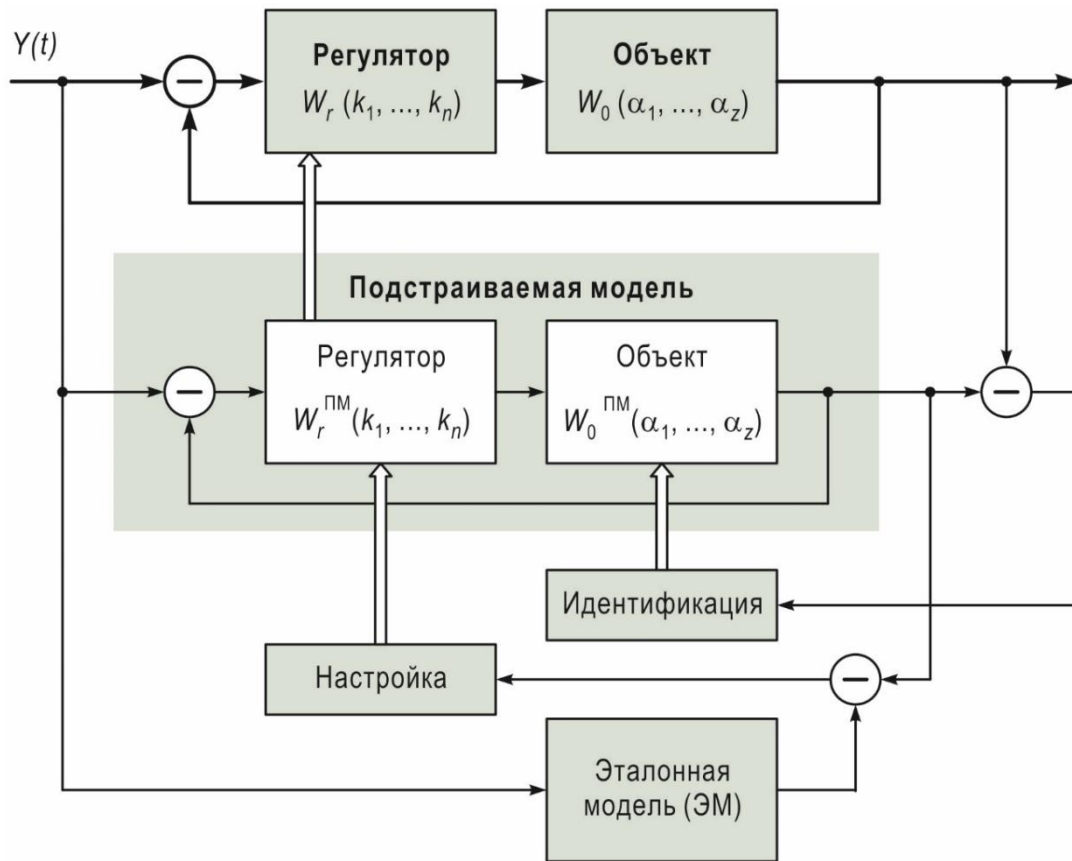


Рис. 14.2. Функциональная схема управления активами процессов

Особенностью умных машин становится возможность использования для управления процессами производства цифрового близнеца физического актива: цифровой сущности физического объекта с функциональностью реального времени, находящегося в виртуальном слое СУП или программной сущности отдельного модуля MES-системы, который помогает оптимизировать эффективность бизнеса.

Промышленность и научные круги определяют цифрового близнеца несколькими способами. Например, как интегрированную модель конструкции объекта управления, которая постоянно корректируется в течение всего срока эксплуатации.

Другие специалисты описывают цифрового близнеца как цифровую модель физического объекта, отражающую его динамику в режиме реального времени. В этом случае цифровой двойник актива может представляться сложной динамической системой, описываемой интегродифференциальными уравнениями с нелинейностями. Математические уравнения, описывающие законы физики, химии, механики, термо- и электродинамики, тепломассообмена и т. д., хотя и порождают высокую сложность модели, в итоге реализуются отдельными программными модулями с рыночной стоимостью.

Непрерывное развитие цифровизации объекта ведет к альтернативным моделям управления. Если математическое описание невозможно, но есть информация, собранная с датчиков, то никакого цифрового двойника объекта управления нет, и это его цифровая тень. Если на актив навесить автономные датчики и выполнять регулярный сбор информации, то это цифровая тень будет актива. Цифровая тень отличается от цифрового двойника тем, что она имеет только свойство памяти. Все, что произошло, тень зафиксирует. Но если случится аварийная ситуация и актив разрушится, то тень об этом не сообщит.

Цифровой близнец может быть определен как развивающийся цифровой профиль ретроспективного и текущего состояния физического объекта или процесса, который помогает оптимизировать эффективность бизнеса. Цифровой близнец актива отличается от его компьютерного дизайна. Он намного более цифровизирован и полностью инкапсулирован в компьютерную виртуальность среды промышленного производства. Системы IoT измеряют технологические параметры активов и реализуют различные диагностики, осуществляют взаимодействие между компонентами и управляют жизненным циклом процессов. Настоящая сила цифрового близнеца в том, что он может обеспечить почти в реальном времени всеобъемлющую связь между физическим и цифровым мирами производства.

До недавнего времени цифровой близнец и массивные объемы данных, которые он обрабатывает, часто оставались неуловимыми, невостребованными для предприятий из-за ограничений в цифровых технологиях, запретительных ограничений вычислений, хранений и пропускной способности.

Цифровые близнецы процессов и объектов управления постепенно начинают применять на производствах, которые специалисты условно называют «умные фабрики».

Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) установил, что «умная фабрика» – это полностью оцифрованная производственная система, которая способна в *реальном масштабе времени* реагировать на изменяющиеся условия производства и удовлетворять потребности заказчиков. В этом определении выделяется главное: «в реальном масштабе времени». Эти цели достигаются за счет интенсивного и всеобъемлющего использования цифровых информационных технологий и киберфизических систем на всех этапах производства продукции и её поставки.

Сегодня «умные фабрики» – это комплексы производственно-технологических решений с управляемыми процессами жизненного цикла продукции – от стадии планирования до утилизации. Для управления процессами применяются различные цифровые модели в формате цифровых двойников (рис. 14.3).



Рис. 14.3. «Умные» фабрики (Smart Factory)

Цифровое производство, отличительной чертой которого является высокий уровень автоматизации и роботизации, позволяет создавать человеку комфортные условия для жизни.

В РФ концепция «Фабрика будущего» реализуется в рамках дорожной карты «Технет» Национальной технологической инициативы (НТИ) и мегапроекта «Фабрика будущего», нацеленных на развитие и повышение конкурентоспособности отечественной высокотехнологичной промышленности за счет решения инженерно-технологических проблем- вызовов государственного значения, которые не удастся решить высокотехнологичным предприятиям с помощью традиционных подходов.

Развитие цифровых платформ открывает новые возможности в организации производства: на смену централизованным производствам и цепочек поставок приходит модель на основе цифровой самоорганизации всех участников производственного процесса.

Преимуществами такой организации производства являются рост производительности, повышение качества продукции, гибкость перенастройки на новую продукцию.

### Тестовые задания

### 1. «Умная фабрика» – это...

а) система комплексных производственно-технологических решений, отличительными чертами которой является высокий уровень автоматизации и роботизации, минимизирующий участие человека и связанные с этим ошибки и обеспечивающий Just-in-time (JIT) производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения;

б) производство, предоставляющее средства робототехнической и компьютерной поддержки производственных решений для людей и машин при выполнении ими производственных задач посредством анализа контекстно-зависимой информации;

в) безлюдное производство продукции в соответствии с желаниями заказчиков продукции;

г) полностью автоматизированные корпоративные производственные системы, которые способны в реальном масштабе времени реагировать на изменяющиеся условия производства, требования сетей поставок и удовлетворять потребности клиентов.

2. Основными компонентами систем управления производственными процессами предприятия четвертой промышленной революции являются :

а) элементы «Интернета вещей»;

б) искусственный интеллект, машинное обучение и робототехника;

в) облачные вычисления Big Data;

г) серверы баз данных.

3. Цифровой двойник киберфизической системы технологического оборудования – это ...

а) специальный киберфизический компонент, представляющий собой математическую модель производственного актива, которая адекватна реальному устройству на всём протяжении его жизненного цикла, особенно включая эксплуатацию;

б) формальное цифровое представление актива производственного процесса, описывающее принцип и характеристики его работы;

в) программная среда для изучения и управления реальным оборудованием без участия человека;

г) цифровая (виртуальная) модель любых объектов, систем, процессов или людей. Она точно воспроизводит форму и действия оригинала и синхронизирована с ним.

4. «Фабрика будущего» в рамках дорожной карты «Технет» – это...

а) производство нового поколения, отличительными чертами которого является высокий уровень автоматизации и роботизации;

б) цифровая производственная система, которая способна в реальном масштабе времени реагировать на изменяющиеся условия производства и удовлетворять потребности заказчиков;

в) полностью автоматическое конвейерное производство, направленное на максимальную эффективность;

г) высоко автоматизированное предприятие с гибкими партионными производственными процессами.

#### 5. Метавселенная Цукерберга М.это...

а) виртуальное пространство интернет среды, в рамках которого люди смогут созидать, проводить исследования, работать и играть;

б) это утопическая виртуальная вселенная, которая «освобождена» от культурных, социальных, экономических и политических проблем реальности, виртуальное «убежище» людей;

в) это общий цифровой мир, объединяющий «физическую», дополненную и виртуальную реальности;

г) это рынок платных интернет-аватаров людей и киберфизических агентов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время быстро развиваются новые технологии цифровизации производства. Специалисту в области интегрированного автоматизированного управления технологическими процессами и производствами необходимы знания по современным автоматизированным системам управления технологическими и производственными процессами.

Четвертая промышленная революция, умные фабрики, умные города создают инфраструктуру умного (интеллектуального) пространства, в котором люди и технологические системы взаимодействуют во все более открытых, взаимосвязанных, скоординированных и интеллектуальных экосистемах.

Все элементы умного процессного пространства, включая людей, технологические установки, услуги и вещи, формируют цифровую метавселенную, а вместе с ней – все более захватывающую, интерактивную и автоматизированную практику управления процессами, в которой киберфизические системы обеспечивают сетевое управление умными активами (умными сущностями) предприятий.

Изучив основные направления развития умных производств, студент приобретает необходимые знания для выполнения творческих проектов, учебно-исследовательской работы, проектов умной автоматизации технологических процессов и производств с использованием технологий интернета вещей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Титова Е.В. Архитектура бизнес-процессов на основе технологии управления взаимоотношениями с клиентами : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Е.В. Титова. – Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова. – Москва, 2011. – 239 с.
2. Кузнецова Л.Н. Стандартизация бизнес-процессов как направление повышения эффективности деятельности организаций / Л.Н. Кузнецова // Учет и статистика. – 2009. – № 3 (15). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/standartizatsiya-biznes-protsestsovs-kak-napravlenie-povysheniya-effektivnosti-deyatelnosti-organizatsiy>.
3. Business Studio. Проектирование системы управления. – URL: <https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/csdesign/csdesign/>.
4. Репин В.В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление / В.В. Репин. – 2-е изд. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 512 с.
5. Ляндау Ю.В. Функциональное и процессное управление / Ю.В. Ляндау, К.А. Черницова, Н.Р. Тайдакова // Микроэкономика. – 2012. – № 2. – С. 192–196.
6. Ляндау Ю.В. Развитие методологии процессно-проектного управления : дис. ... докт. экон. наук : 08.00.05 / Ю.В. Ляндау. – Москва, 2014. – 360 с.
7. Современные технологии. Киберфизические системы : учебное пособие / авт.-сост. Е.И. Громаков, А.А. Сидорова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 166 с.
8. Невская Т.А. Модели систем менеджмента качества и подходы к их построению / Т.А. Невская, А.М. Каленский, Г.Н. Федорова // Управление экономикой, системами, процессами. – Пенза Пезенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 37–41.
9. Фёдоров И.Г. Системы управления бизнес-процессами как новая парадигма создания корпоративных ИС / И.Г. Фёдоров // Экономика, статистика и информатика // Статистика и экономика. – 2015. – № 6. – С. 133–139.
10. Ицкович Э.Л. Особенности современных АСУТП / Э.Л. Ицкович. – Москва : Изд-во ИПУ РАН, 2017. – 522 с.
11. Внедрение системы автоматизации рабочего места оператора нефтебазы. – URL: <http://diplomba.ru/work/133607#1>.
12. Блинков Ю.В. Основы автоматизации управления процессами и объектами / Ю.В. Блинков. – Пенза : ПГУАС, 2009. – 172 с.
13. Автоматическое управление // Большая советская энциклопедия. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/61326/> %D0%90%D0%B2%

D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5.

14. Линьков, В.А. Централизованные АСУ ТП. Состав и структура АСУ ТП / В.А. Линьков // Международный студенческий научный вестник. – 2019. – № 6. – С. 12.

15. Морозова, Т.Ю. Базовые технологии автоматизации производства / Т.Ю. Морозова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2013. – № 1. – С. 4–13.

16. Погонин В.А. Интегрированные системы проектирования и управления. Корпоративные информационные системы / В.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2006. –144 с.

17. Олейник П.П. Стандарты ИС. Корпоративные информационные системы / П.П. Олейник. – Санкт-Петербург : Питер, 2012. – 176 с.

18. Бобков О. Что такое ERP-система простыми словами: расшифровка понятия, примеры и классификация программы для управления предприятия. – URL: [www.cleverence.ru/articles/biznes/chto-takoe-erp-sistema-prostymi-slovami-rasshifrovka-ponyatiya-primery-i-klassifikatsiya-programmy-d/](http://www.cleverence.ru/articles/biznes/chto-takoe-erp-sistema-prostymi-slovami-rasshifrovka-ponyatiya-primery-i-klassifikatsiya-programmy-d/)

19. Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических систем и онтологий / А.В. Гурьянов, Д.А. Заколдаев, А.В. Шукалов и др. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 268–277.

20. Данилин А.В. Архитектура предприятия / А.В. Данилин, А.И. Слюсаренко. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5955600450.html>.

21. Громаков Е.И. Интегрированные компьютерные системы проектирования и управления : учебное пособие / Е.И. Громаков, А.В. Лиепиньш. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 213 с.

22. Гончаренко А.Н. Интегрированные информационные системы / А.Н. Гончаренко. – Москва : МИСиС, 2018. – 76 с.

23. Внедрение MES-системы на производстве : особенности и требования / IT Scan. – URL: <http://https://itscan.ru/infoblog/vnedrenie-mes-sistemy-na-proizvodstve-osobennosti-i-trebovaniya>.

24. Сафина Д.М. Управление ключевыми показателями эффективности : учебное пособие / Д.М. Сафина. – Казань : Казанский университет, 2018. – 123 с.

25. Системы компьютеризированного интегрированного производства. – URL: [https://studme.org/121114/informatika/sistemy\\_kompyuterizirovannogo\\_integrirovannogo\\_proizvodstva](https://studme.org/121114/informatika/sistemy_kompyuterizirovannogo_integrirovannogo_proizvodstva).

26. Решетников И.С. MES: стратегическая инициатива / И.С. Решетников. – Москва : НГСС, 2019. – 289 с.

27. Модели агентов в интеллектуальных системах / О.А. Мелихова, О.В. Вепринцева, В.С. Чумичев и др. // Технические науки – от теории к практике. – 2016. – № 54. – С. 49–56.



28. Маляренко И. Модели архитектуры ИС предприятия: расцвет многоклеточных РС / И. Маляренко // Week/RE. – 2007. – № 11 (569).
29. Бражников А.М. Использование автоматизированных систем управления на промышленных предприятиях и в производстве / А.М. Бражников, А.М. Бражникова // Успехи современной науки. – 2018. – № 1. – С. 29–33.
30. Стандарты управления компанией от MRP до ERP II. – URL: <https://corpsys.ru/articles/archives/mrperp.aspx>.
31. Повный А. Системы сбора данных и оперативного диспетчерского управления (SCADA-системы) / А. Повный // Школа для электрика. – URL: <http://electricalschool.info/automation/2157-kak-ustroeny-scada-sistemy.html>.
32. Гарсия Ю. Современные средства человеко-машинного интерфейса от Advantech как зеркало четвертой промышленной революции / Ю. Гарсия // Современные технологии автоматизации. – 2018. – № 2. – С. 100–106.
33. Шугаев А.Н. Современный человеко-машинный интерфейс на производстве: актуальные тенденции / А.Н. Шугаев // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 7. – С. 42–46.
34. Информационные системы управления производственной компанией / под ред. Н.Н. Лычкиной. – Москва : Юрайт, 2017. – 250 с.
35. Мусаев А.А. Интеграция автоматизированных систем управления крупных промышленных предприятий: принципы, проблемы, решения / А.А. Мусаев, Ю.М. Шерстюк // Автоматизация в промышленности. – 2003. – № 10. – С. 40–45.
36. Зеленков Ю. На пути к облачному производству / Ю. Зеленков // Открытые системы. СУБД. – 2015. – № 3. – С. 42–44.
37. Витол Э.А. Интеллектуализация техники – главный вектор современной эволюции / Э.А. Витол. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-tehniki-glavnyy-vektor-sovremennoy-evolyutsii>.
38. Дробышевская Л.Н. Тенденции и перспективы развития технологии искусственного интеллекта / Л.Н. Дробышевская, А.В. Молодцова // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2020. – № 11–1(69). – С. 252–255.
39. Самсонович О.О. Искусственный интеллект – новые реалии / О.О. Самсонович, Е.А. Фокина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 5–1. – С. 257–263.
40. Левин А. CALS - сопровождение жизненного цикла / А. Левин, Е. Судов // Открытые системы. – 2001. – № 3. – С. 58–62.
41. Гарина Е.П. CALS-система как условие внедрения современных технологий в отечественную производственную практику в рамках тиражирования лучших мировых практик в данной области / Е.П. Гарина, М.В. Лысенкова // Вестник Мининского университета. – 2014. – № 4(8). – С. 5.

42. Судов Е.В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России : учебное пособие / Е.В. Судов, А.И. Левин, А.Н. Давыдов, В.В. Барабанов. – Москва : НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. – 131 с.

43. Громаков Е.И. Автоматизированный мониторинг ключевых показателей деятельности проектной организации / Е.И. Громаков, Т.В. Александрова, А.В. Лиепиньш и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 5. – С. 173–178.

44. Громаков Е.И. Проектирование автоматизированных систем управления нефтегазовыми производствами: учебное пособие / Е.И. Громаков, А.В. Лиепиньш. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 408 с.

45. Громаков Е.И. Управление процессами / Е.И. Громаков, Т.В. Александрова, А.Н. Солдатов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. – 308 с.

46. Данилин А.В. Архитектура предприятия : учебное пособие / А.В. Данилин А.И. Слюсаренко. – Москва, 2016. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5955600450.html>.

47. Игнатъев С.А. Информационное обеспечение систем управления качеством : учебное пособие / С.А. Игнатъев, С.С. Игнатъева. – Саратов : Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 2012. – 195 с.

48. Дополненная реальность. – URL: <https://lpgenerator.ru/blog/dopolnennaya-realnost-cto-eto>.

49. Чернышёв С.Б. Корпоративное предпринимательство: от смысла к предмету. Цикл лекций / С.Б. Чернышёв. <https://gtmarket.ru/library/articles/5839#top>.

50. Мартин П. Новые топологии систем промышленной автоматизации, ставшие возможными благодаря промышленному интернету вещей / Питер Дж. Мартин. – URL: <https://www.se.com/ru/ru/work/services/digital-services/digital-capabilities/industry.jsp>.

Учебное издание

# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ

Учебное пособие

Составители

ГРОМАКОВ Евгений Иванович

ЗАРНИЦЫН Александр Юрьевич

ФИЛИПАС Александр Александрович

Корректурa *Д.В. Заремба*

Компьютерная верстка *Д.В. Сотникова*

Дизайн обложки

Подписано к печати 00.00.2023. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать CANON. Усл. печ. л. 9,65. Уч.-изд. л. 8,73.

Заказ 000-23. Тираж 100 экз.



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ