

Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин, В.В. Васильев, Е.Н. Павличева

# ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМЫ ПРИКЛАДНОЙ ИНФОРМАТИКИ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебное пособие

Москва 2006

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений.....	3
Предисловие.....	5
1. Автоматизированные информационные системы (АИС). Базы и банки данных .....	6
1.1. Ресурсы автоматизированных информационных систем.....	9
2. Системы автоматизированного проектирования (САПР).....	12
3. Автоматизированные системы научных исследований (АСНИ).....	16
4. Автоматизированные системы управления (АСУ).....	18
4.1. Системы автоматического регулирования (САР).....	20
4.2. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) .....	23
4.3. Автоматизированные системы оперативного управления (АСОУ).....	26
4.4. Автоматизированные системы управления предприятием (АСУП).....	27
4.5. Автоматизированные системы управления компанией (АСУК).....	31
5. Автоматизированные обучающие системы (АОС).....	33
Вопросы для контроля знаний .....	37
Предметный указатель .....	38

## Список сокращений

API	Application Programming Interface - интерфейс прикладного программирования
DCS	distributed control systems - распределённые системы управления
HTML	Hyper Text Markup Language – язык гипертекстовой разметки
MES	Manufacturing Execution Systems – система управления производством
OPC	operative process control - оперативное управление процессами
PIMS	process information management system - информационно-управляющая система процесса
PLC	programmable logical controller - программируемый логический контроллер
SCADA	supervisory control and data acquisition - диспетчерское управление и сбор данных
XML	eXtensible Markup Language – расширяемый язык гипертекстовой разметки
АИС	автоматизированная информационная система
АОС	автоматизированная система обучения
АРМ	автоматизированное рабочее место
АС	автоматизированная система
АСНИ	автоматизированная система научных исследований
АСОДУ	автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления
АСОУ	автоматизированная система оперативного управления
АСУ	автоматизированная система управления
АСУК	автоматизированная система управления компанией
АСУП	автоматизированная система управления предприятием
АСУТП	автоматизированная система управления технологическим производством
БД	база данных
БЗ	база знаний
ВОЛС	волоконно-оптическая линия связи
ГВС (WAN)	глобальная вычислительная сеть – Wide Area Network
ГИС	гео-информационная система
Д	датчик
И	интегральный (регулятор)
ИДЕНТ	идентификация
ИИ	искусственный интеллект
ИМ	исполнительный механизм
ИС	информационная система
ИСАПР	интеллектуальная автоматизированная система проектирования
ИТ	информационные технологии
КИП	контрольно-измерительные приборы
КИПиА	контрольно-измерительные приборы и автоматика
КИС	корпоративная информационная система
КИУС-П	комплексная информационно-управляющая система предприятия

ЛВС (LAN)	локальная вычислительная сеть – Local Area Network
МО	математическое описание
НИИ	научно-исследовательский институт
НИОКР	научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа
П	пропорциональный (регулятор)
ПИ	пропорционально-интегральный (регулятор)
ПИД	пропорционально-интегрально-дифференциальный (регулятор)
ПМП	пакет моделирующих программ
ПО	программное обеспечение
ПОД	подсистема обработки данных
САПР	автоматизированная система проектирования
САР	система автоматического регулирования
СУБД	система управления базой данных
ТЭР	технико-экономический расчёт
ЭС	экспертная система

## Предисловие

Создание современных компьютеров позволило автоматизировать обработку информации во многих сферах человеческой деятельности. Без современных систем обработки информации трудно представить сегодня передовые производственные технологии проектирования, управление технологическими процессами и экономикой предприятий, научные исследования, обучение специалистов и операторов производственных процессов. Поэтому разработка и внедрение следующих автоматизированных (компьютерных) систем: информационных (АИС), проектирования (САПР), управления (АСУ), научных исследований (АСНИ) и обучения (АОС), являются важнейшими направлениями прикладной информатики.

Перечисленные информационные системы рассматриваются как средства поддержки информационной модели реальности, изменяющейся во времени. Таким образом, метод компьютерного моделирования реальных производств, в частности процессов химической технологии, составляет ту основу, на которой строятся автоматизированные (компьютерные) системы АИС, САПР, АСУ, АСНИ и АОС. Компьютерное моделирование реальности средствами информационных систем и предоставление пользователям возможности избежать наблюдений и измерений состояния самой интересующей их реальности, а также происходящих в ней процессов, благодаря взаимодействию с моделью – это то главное, ради чего создаются информационные системы. Хотя в информационных системах разных типов используются различные подходы к компьютерному моделированию, именно поддержка информационной модели реальности составляет главное предназначение любой информационной системы.

Характерной чертой современных информационных систем является использование методов искусственного интеллекта (ИИ) и теории экспертных систем (ЭС) для решения неформализованных задач, которые возникают в профессиональной креативной (творческой) деятельности специалистов, работающих с этими системами.

В результате компьютеры, на которых реализованы экспертные системы (ЭС), превращаются в «партнёра» для специалиста при поиске смысловых решений неформализованных задач. При этом получение искомым смысловых решений осуществляется с помощью эвристическо-эволюционных процедур, или процедур эвристического программирования. Таким образом, ставится задача не замены разума специалиста машиной, а моделирования его мышления (рассуждений) на компьютере для целей передачи компьютеру большего числа видов интеллектуальной творческой деятельности и для более глубокого обоснования принимаемых специалистами решений.

Нужно заметить, что наряду с "чистыми" системами прикладной информатики создаются крупные системы, совместно использующие различные базовые информационные технологии. Интеграция информационных технологий стала характерной чертой разработок современных систем прикладной информатики. Поэтому для создания эффективных автоматизированных компьютерных систем важно не только владеть отдельными направлениями базовых информационных технологий, но и иметь представление о возможностях каждого из них, о целесообразных сферах их использования и "точках их соприкосновения".

# 1. Автоматизированные информационные системы (АИС). Базы и банки данных

В настоящее время наибольшее распространение получили АИС, основанные на технологиях баз данных (БД), текстового поиска и Web (отсюда известное из Интернет www - World Wide Web - всемирная "паутина"). Выбор какой-либо из них для реализации конкретной системы в существенной степени определяет её организацию и функциональные возможности.

Автоматизированной информационной системой (АИС) называется комплекс, включающий в себя вычислительное и коммуникационное оборудование, программное обеспечение (ПО), лингвистические средства и информационные ресурсы, а также системный персонал, обеспечивающий поддержку динамической компьютерной информационной модели некоторой части реального мира для удовлетворения информационных потребностей пользователей.

Часть реального мира, которая моделируется АИС, называется её *предметной областью*. Под *динамической моделью* части реального мира понимается изменяемость модели во времени. Это "живая", действующая модель, в которой отображаются изменения, происходящие в предметной области. Такая система должна обладать памятью, позволяющей ей сохранять не только сведения о текущем состоянии предметной области, но и в некоторых случаях предысторию.

Поскольку модель предметной области, поддерживаемая АИС, материализуется в форме организованных необходимым образом информационных ресурсов, она называется *информационной моделью*.

Один из наиболее авторитетных международных научных журналов в рассматриваемой области - "Information Systems" - определяет АИС как "аппаратно-программные системы, которые поддерживают приложения с интенсивной обработкой данных (Data-Intensive Applications)". Под *приложением АИС* здесь понимается надстройка над информационной системой, обеспечивающая решение некоторого комплекса задач в интересах какой-либо деятельности.

Большинство определений АИС трактуют это понятие с функциональной точки зрения, а именно как "систему, предназначенную для сбора, передачи, обработки, хранения и выдачи информации потребителям и состоящую из следующих основных компонентов: программное обеспечение (ПО), информационное обеспечение, технические средства, обслуживающий персонал".

В приведённом определении делается акцент на главном назначении АИС, не на их функциях и ресурсах, которые они используют. Поддержка *динамической компьютерной информационной предметной области* - это то общее, что свойственно любой АИС независимо от характера информационных ресурсов, которыми она оперирует, и, следовательно, от информационных технологий, на которых она основана. Именно такой подход является наиболее продуктивным при рассмотрении с единых позиций базовых направлений технологий современных АИС:

- технологий баз данных (БД);
- систем текстового поиска;
- технологий Web.

В системах, основанных на технологиях баз данных, поддерживаются структурированные данные, организованные в виде таблиц или каких-либо иных структур данных. К информационным ресурсам систем баз данных относятся также и схемы баз данных. В таких системах они относятся к категории метаданных.

В *текстовых системах* информационные ресурсы включают в себя коллекции документов, представленных на естественных языках. Это информационные ресурсы для конечных пользователей. Кроме того, поддерживаются метаданные – тезаурусы,

спецификации онтологий (сущностей) и т.п., которые являются информационными ресурсами, используемыми самой системой.

*Пользовательские информационные ресурсы Web* – это страницы Web-сайтов, ресурсы «скрытого» Web – базы данных (БД), а также различные доступные пользователям Web-документы, представленные в форматах, отличных от HTML<sup>1</sup>. В Web нового поколения к информационным ресурсам, кроме того, относятся не только представленные на Web-сайтах XML<sup>2</sup>-документы, но и различные метаданные. Они описывают схемы XML-документов, их семантику, онтологии.

Общая структура функционирования АИС при использовании *технологии баз данных* (БД) представлена на рис. 1. Наряду с *компьютерной информационной моделью предметной области*, отображаемой в базе данных (БД) – два верхних блока на рис. 1, для функционирования АИС необходимо реализовать на компьютере следующие основные блоки (рис. 1):

- блок расшифровки запросов пользователя;
- блок поиска данных в БД;
- блок пополнения и управления БД администратором БД.

Последние три блока принято относить к *системе управления базой данных (СУБД)*, которая представляет собой специальный комплекс программных и языковых средств для работы с данными, хранящимися в БД, реализованных в запоминающих устройствах (памяти) компьютеров.

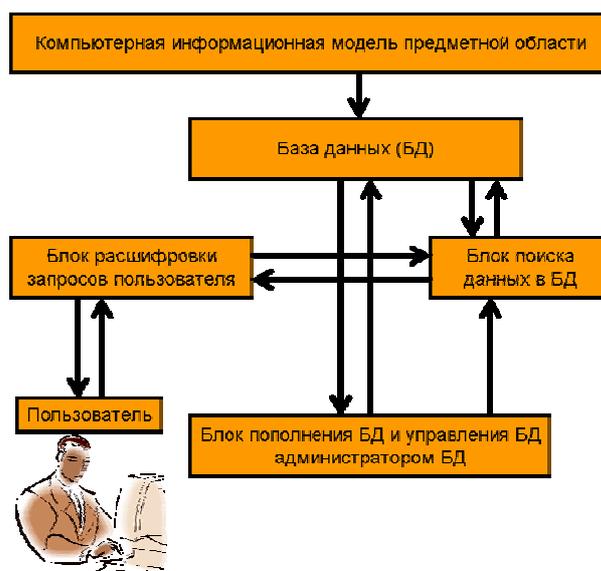


Рис. 1. Общая структура функционирования АИС при использовании технологии баз данных (БД).

Обращаясь к СУБД, пользователь может получить нужную ему информацию в удобной для него форме, откорректировать хранящиеся в базе данные, ввести новую информацию. Последние две функции могут быть выполнены под управлением *администрации БД*, которая несёт ответственность за корректность работы базы данных (БД) и СУБД.

*Администрация БД* регистрирует подключение к АИС новых пользователей, устанавливает нормы и правила доступа к данным, создаёт копии хранимых данных, регулярно проверяет корректность хранимой информации и восстанавливает её в случае искажения. Она также собирает статистику работы АИС, анализирует использование и обеспечивает развитие АИС.

<sup>1</sup> HTML – Hyper Text Markup Language – язык гипертекстовой разметки.

<sup>2</sup> XML – eXtensible Markup Language – расширяемый язык гипертекстовой разметки.

К основным функциям СУБД относятся ввод данных в БД, их обновление и поиск нужной информации. Современные СУБД выполняют также множество дополнительных функций, например, проверяют состояние БД, выдают справочную информацию, разграничивают доступ к данным. В результате для каждого пользователя может быть определён круг информации, которую он может просматривать и корректировать. Доступ к информации может осуществляться по паролю, установленному для каждого пользователя. Это исключает возможность пользователям БД мешать друг другу, гарантирует, что информация не будет испорчена. К наиболее известным СУБД относятся MS Access, MS SQL Server и Oracle.

БД и СУБД, функционирующие совместно и являющиеся многопользовательскими АИС, которые обеспечивают хранение данных, их обновление и выдачу по запросам пользователей, называются *банками данных*.

В зависимости от характера связей между данными в БД различают следующие типы БД:

- иерархические;
- сетевые;
- реляционные.

В *иерархических БД* иерархия данных задаётся различными уровнями, для описания которых используются наборы указателей и признаков связей между данными, хранимыми в базе.

*Сетевой* называется БД, в которой данные связаны друг с другом системой логических отношений, образующих произвольную сеть.

*Реляционная БД* – это база данных, в которой данные сгруппированы в двумерные таблицы.

С использованием специальных приёмов одни и те же наборы данных могут представляться как в иерархических, так и в сетевых и реляционных базах данных (БД).

Как указывалось ранее, под *банком данных* или *системой базы данных* (более современная терминология) понимается СУБД с управляемой ей БД, возможно, уже наполненной.

Важную роль в современных АИС играют *приложения системы баз данных*. Приложения системы базы данных – это надстройка над системой базы данных (банком данных), представляющая собой комплекс средств прикладного программного обеспечения, который служит для решения каких-либо задач на основе этой системы. В результате с помощью интерфейсов прикладного программирования (Application Programming Interface, API) в приложениях систем баз данных СУБД получает доступ к базе данных (БД) и использует содержащиеся в ней данные для решения необходимых пользователям задач.

Таким образом, в современных АИС с *приложениями систем баз данных* ставится дополнительная задача эффективной обработки этих данных с использованием пакетов моделирующих программ (ПМП). Поэтому информацию в этих АИС следует разделять на данные, хранящиеся в базе данных, и знания об эффективности методов обработки данных из БД, которые должны храниться в базах знаний (БЗ), включённых в *системы баз данных*. Речь идёт о накоплении знаний об эффективности методов обработки данных, пригодности алгоритмов расчётов при этом, критериев выбора коэффициентов математических моделей и др. В результате расширение возможностей АИС с помощью *приложений систем баз данных* приводит к их «интеллектуализации» и необходимости использования систем искусственного интеллекта (ИИ) и методологии экспертных систем (ЭС) в современных информационных системах. Характерной особенностью формируемых при этом баз знаний (БЗ) является возможность применения для хранящихся в них знаний процедур обобщения и корректировки знаний, а также процедур формирования новых знаний на основании тех, которые уже имеются в БЗ, то есть по

существо осуществляется компьютерное моделирование рассуждений специалистов, что является отличительной особенностью *экспертных систем* (ЭС).

Так, например, в разработанной АИС с приложениями базы данных по физико-химическим свойствам индивидуальных веществ и их смесей информация разделена на два класса [13].

К первому классу относятся данные о перечне веществ и смесей, список их свойств, соответствующие фактографические данные по физико-химическим свойствам со ссылками на источники их получения. Вся эта информация содержится в БД разработанной АИС.

Ко второму классу относится информация, знание которой отличает специалиста по расчёту физико-химических свойств. Это сведения о методах расчёта свойств, включающие оценки их применимости в целом и для решения конкретных задач; сведения об эффективности алгоритмов расчётов и критериев определения коэффициентов, аппроксимирующих зависимости; сведения о физических величинах, участвующих в вычислениях, их размерностях. Информация второго класса содержится в базе знаний (БЗ) АИС.

Разделение информации, необходимой для расчёта физико-химических свойств, на «данные» и «знания» в определённой степени условно, так как «данные» по мере усложнения их структуры могут переходить в «знания», а «знания», обрабатываемые компьютером, могут рассматриваться как «данные». Целесообразность такого разделения обусловлена существенным различием обработки информации этих классов: для «данных» - с использованием вычислительных алгоритмов, а для «знаний» - с применением эвристически-эволюционных процедур. Предлагаемое разделение показывает также перспективы развития современных АИС, в частности, АИС по физико-химическим свойствам, связанную с повышением уровня их «интеллектуальности».

## **1.1. Ресурсы автоматизированных информационных систем**

АИС используют ресурсы нескольких категорий – средства вычислительной техники, системное и прикладное программное обеспечение, информационные, лингвистические и человеческие ресурсы.

Информационные системы могут базироваться на различных аппаратных платформах – персональных компьютерах, мейнфреймах<sup>3</sup>, суперкомпьютерах и других вычислительных системах. Они могут использовать отдельные компьютеры или вычислительные системы, либо вычислительные сети различного масштаба – от локальной сети (ЛВС) до глобальной сети (ГВС).

*Коммуникационное оборудование* в АИС обеспечивает взаимодействие компонентов распределённых систем, например, обмен данными между компьютерами сети, а также удалённый доступ пользователей к ресурсам системы. К числу коммуникационных ресурсов относятся выделенные или коммутируемые проводные и беспроводные каналы связи, различное сетевое оборудование, а также устройства приёма-передачи информации, например, телефонные или радиомодемы, антенные устройства.

*Системное программное обеспечение* включает в себя операционные системы для используемых аппаратных платформ, различные операционные оболочки, повышающие уровень пользовательского интерфейса системы программирования, разнообразные системные тесты, служебные программы для поддержки деятельности системного администратора и для других целей, сетевое программное обеспечение.

АИС используют также разнообразное *прикладное программное обеспечение*, типовое и

---

<sup>3</sup> МЕЙНФРЕЙМЫ – main frames: компьютеры средней производительности, большей, чем персональные компьютеры, но меньшей, чем суперкомпьютеры.

специализированное.

*Типовое прикладное программное обеспечение* ориентировано на классы задач. Оно может настраиваться на конкретный случай использования. Чаще всего в качестве таких средств используются коммерческие программные продукты: СУБД общего назначения, Web-серверы, системы текстового поиска (их по традиции часто называют информационно-поисковыми системами), системы управления документами, текстовые процессоры, конверторы данных, программы распознавания текста и речи, системы электронных таблиц, генераторы отчётов для систем баз данных и др.

*Специализированное прикладное программное обеспечение* создаётся для конкретной АИС или для класса систем, имеющих некоторое узкое назначение. Например, в корпоративной информационной системе (КИС) это могут быть программы, предназначенные для поддержки каких-либо конкретных бизнес-процессов.

Прикладное программное обеспечение информационных систем может относиться к стадии разработки или к стадии исполнения. Оно может быть общего назначения или ориентированным на конкретную предметную область. Наконец, программное обеспечение может быть ориентированным на конкретную аппаратную платформу или мобильным.

*Лингвистические ресурсы АИС* служат для:

- представления информационных ресурсов в системе;
- описания их свойств и свойств окружающей среды, позволяющего системе адекватно интерпретировать поддерживаемые информационные ресурсы;
- обеспечения взаимодействия пользователей с системой.

В общем случае к числу лингвистических ресурсов относятся те или иные естественные или искусственные языки, а также *средства их лингвистической поддержки* – словари лексики естественных языков, тезаурусы предметной области, переводные словари и др.

Следует отметить, что тезаурусы играют в АИС двойную роль. С одной стороны, это средство лингвистической поддержки используемого в системе естественного языка. Поэтому он должен быть отнесён к категории лингвистических ресурсов. Вместе с тем тезаурус используется как контекст для интерпретации семантики поддерживаемых в системе документов, представленных на естественном языке. В связи с этим правомерно также считать тезаурус информационным ресурсом системы.

*Информационные ресурсы системы* составляют главный компонент модели предметной области, которую система поддерживает. Они являются вместе с тем «сырьём» и «конечным продуктом» работы АИС. Конкретный вид информационных ресурсов зависит от характера системы.

Важно отметить, что в любой информационной системе поддерживаются две категории информационных ресурсов. Ресурсы первой категории непосредственно используются конечными пользователями системы. Ресурсы второй категории можно было бы назвать *метаресурсами*. Описывая свойства ресурсов первой категории, метаресурсы позволяют системе корректно оперировать ими. Ресурсы первой категории часто называют *данными* независимо от среды их представления (изображения, текстовые документы, аудиозаписи и т.д.), а метаресурсы – *метаданными*.

В соответствии с этой терминологией метаданные – это *данные о данных*. Однако фактически метаданные могут описывать свойства не только собственно данных, но и АИС в целом, отдельных её механизмов и их функций, других её ресурсов, поддерживаемых технологий и т.д. Конкретные функции метаданных и их состав в значительной мере зависят от специфики рассматриваемой системы и характера её информационных ресурсов.

Уместно вспомнить, что данные в АИС представляют собой некоторую *абстрактную модель реальности*. Рассматривая соотношение между данными и метаданными, можно сказать, что метаданные – это данные более высокого уровня абстракции по отношению к описываемым ими данным.

В некоторых случаях метаданные сами являются предметом интереса пользователей, разработчиков системы и её исследователей, становясь тем самым частью моделируемой реальности. Описывающие их метаданные естественно назвать *метаметаданными*. Подобного рода иерархия абстракций может иметь любое число уровней. В таких случаях может идти речь не только о моделях реальности, но и об их метамоделях и метаметамоделях.

Необходимая степень формализованности представления метаданных в АИС зависит от характера их использования. Метаданные, предназначенные для компьютерного использования, представляются в формализованном виде. Если же они предназначены для пользователей, то чаще всего представляются на естественном языке.

Следует отметить, что АИС не всегда функционируют самостоятельно. Они могут входить в качестве подсистемы в более сложные автоматизированные системы прикладной автоматки, такие, например, как САПР, АСНИ, АСУ и АОС.

## 2. Системы автоматизированного проектирования (САПР)

Метод компьютерного моделирования широко используется при проектировании химических производств (ХТС), когда необходимо создавать новые или проводить реконструкцию действующих технологических процессов. С этой целью с использованием адекватных компьютерных моделей отдельных процессов химических производств решаются задачи анализа, оптимизации и синтеза ХТС.

В общем случае в задачу проектирования химических производств входит:

- строительство новых производств;
- реконструкция действующих производств;
- диверсификация (расширение номенклатуры продукции) действующих производств;

При этом решение задачи технологического проектирования представляет собой два последовательных этапа:

1. Решение задачи расчётно-технологического – так называемого концептуального проектирования;
2. Решение задачи инженерно-технического – так называемого рабочего - проектирования.

Расчётно-технологическое концептуальное проектирование включает в себя:

1. Синтез оптимальных производств.
2. Расчёт материальных и тепловых балансов.
3. Расчёт и выбор типоразмеров аппаратов.
4. Гидравлический расчёт трубопроводной системы и выбор насосов и компрессоров.
5. Прочностной расчёт технологического оборудования.
6. Прочностной расчёт трубопроводной системы.
7. Расчёт оптимальной системы управления и выбор КИПиА.

Инженерно-техническое рабочее проектирование выполняется на основании данных, полученных при расчётно-технологическом проектировании, и включает в себя:

1. Компоновку оборудования
2. Обвязку оборудования технологическими трубопроводами (компоновка трубопроводов)
3. Разработку строительных конструкций (архитектурно-строительное проектирование)
4. Организация водоснабжения и водоотведения (проектирование систем водоснабжения и канализации)
5. Проектирование систем вентиляции и кондиционирования
6. Компоновку КИПиА
7. Проектирование кабельных конструкций.

Автоматизированные информационные системы (АИС), в частности их система базы данных (БД) совместно с системой управления базой данных (СУБД), является подсистемой всех основных применяемых в химической промышленности автоматизированных систем прикладной информатики: САПР, АСНИ, АСУ, АОС. Каждая из перечисленных автоматизированных систем (АС) «черпает» информацию из «собственных» банков данных, то есть систем баз данных, которым принадлежит ключевая роль при функционировании указанных систем. Это связано с тем, что от достоверности исходных данных, используемых в автоматизированных системах (АС), во многом зависит надёжность окончательных результатов их работы.

Другая важная особенность этих систем состоит в том, что для прогнозирования поведения реальных технологических процессов они используют их *адекватные компьютерные математические модели* и поэтому *подсистема компьютерного*

*моделирования химических процессов* в обязательном порядке входит в состав автоматизированных систем САПР, АСНИ, АСУ, АОС.

Важнейшими подсистемами современных автоматизированных систем (АС) являются экспертные системы (ЭС), моделирующие некоторые интеллектуальные функции специалистов и дополняющие и/или корректирующие их знания при решении конкретных задач.

Следует отметить, что за рубежом перечисленные системы прикладной информатики САПР, АСНИ, АСУ, АОС называются не автоматизированными, а компьютерными системами CAD, CAE, CAM, TS:

- Computer Aided Design (CAD) – САПР;
- Computer Aided Engineering (CAE) – АСНИ;
- Computer Aided Management (CAM) – АСУ;
- Training Systems (TS) – АОС,

вследствие чего их относят к *Informatique* (французское название) или к *Computer Science* (английское название) – компьютерным дисциплинам.

Академик РАН В.В. Кафаров указывал, что в проекте химического производства, как в фокусе, должны быть сосредоточены все новейшие достижения научных разработок, использованы современные методы синтеза всей технологической схемы из отдельных аппаратов, проанализированы и всесторонне оценены все её варианты, а также все варианты технологических и инженерных решений и выбран лучший из рассмотренных вариантов.

Анализ, оптимизация и синтез химических производств (ХТС) являются важнейшими взаимосвязанными этапами концептуального расчётно-технологического проектирования.

Таким образом, перед системой автоматизированного проектирования (САПР) ставится задача комплексного интегрированного подхода к проблеме создания технологического процесса, а именно выбор схемы процесса, определение технологических и конструкционных параметров аппаратов и схемы в целом, проектирование системы управления, экономическая оценка проекта, выдача проектной документации и т.д. Наряду с этим необходимо рассматривать и проблемы размещения аппаратов в зависимости от источников сырья, сферы потребления продуктов, социальных, демографических и других предпосылок развития экономики.

Трассировка трубопроводов, строительная часть и объёмная компоновка производства также являются неотъемлемыми частями проекта.

Следовательно, проектирование представляет собой совокупность отдельных этапов, в некоторой степени самостоятельных, но объединённых общностью цели. Особенность решаемых на каждом этапе задач и относительная независимость этапов позволяет строить САПР из отдельных подсистем, то есть использовать модульный принцип, широко применяемый при компьютерном моделировании. Очевидно, перечисленные этапы не являются строго последовательными. Скорее всего, процесс проектирования является итерационным, предусматривающим возврат на предыдущие стадии с целью уточнения или изменения полученных результатов. Тем не менее, каждая из подсистем достаточно независима, чтобы отрабатывать задачи этапа, как в автономном, так и в автоматическом режиме.

Основная тенденция в развитии систем автоматизированного проектирования заключается в обеспечении всё большей независимости системы от разработчика и повышении надёжности и универсальности для определённого класса решаемых задач. Таким образом, усилия по разработке систем проектирования направлены на решение трёх основных взаимосвязанных задач:

- создание и объединение ресурсов проектирования;
- разработка средств взаимодействия проектировщика с системой;
- создание информационной базы системы.

На рис. 2 представлена схема взаимодействия специалиста с объектом и подсистемами САПР и на рис.3 - типичная структура функциональных блоков САПР.



Рис. 2. Схема взаимодействия специалиста с объектом и подсистемами САПР.

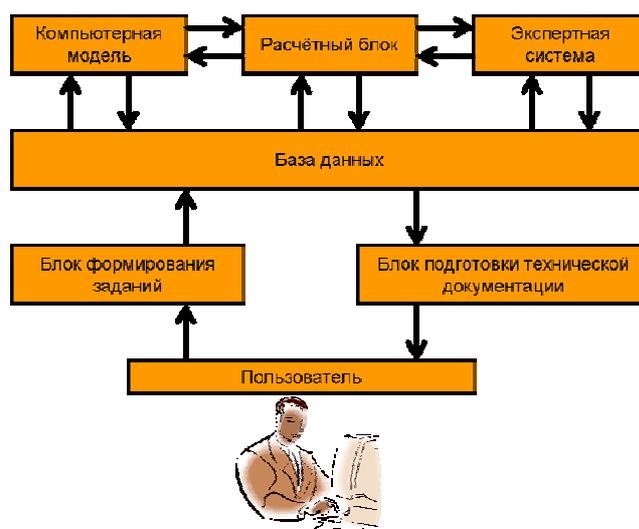


Рис. 3. Типичная структура функциональных блоков САПР.

Проектировщик (пользователь) вводит в *блок формирования заданий* техническое задание на проектирование, в котором указаны все цели, которые необходимо достигнуть при проектировании, и все ограничения, которые нельзя нарушить. *База данных* (БД) содержит всю информацию, необходимую для проектирования, а также хранит весь прежний опыт, который был накоплен ранее в данной области. Наконец, *блок подготовки технической документации* позволяет проектировщику готовить нужные для создания нового или реконструкции действующего производства документы.

*Система автоматизированного проектирования* (САПР) – это компьютерная система для технологического проектирования, которая включает в себя:

- компьютеры, соединённые в ЛВС (Local Area Network - LAN) и ГВС (Wide Area Network - WAN);
- экспериментальное оборудование (hardware);
- программное обеспечение (software);
- средства оптимальной организации работы (orgware).

Классические САПР используются в тех случаях, когда при проектировании процессов данного класса накоплен достаточный опыт. Интеллектуальные САПР (ИСАПР) необходимы проектировщикам при отсутствии достаточно проработанных методик проектирования или при необходимости значительных затрат творческого труда для совсем новых процессов.

Как и всякая другая система искусственного интеллекта, ИСАПР имеет в своем составе базу знаний, в которой хранится вся необходимая для ее работы информация о

предметной области, в которой решается задача проектирования. В этой базе знаний собран и тот опыт, который накоплен проектировщиками, и экспертная информация о возможных путях поискового конструирования, опирающаяся на методы моделирования рассуждений, типичных для специалистов, работающих в данной области.

Общая схема ИСАПР может быть такой, как она показана на рис. 4.

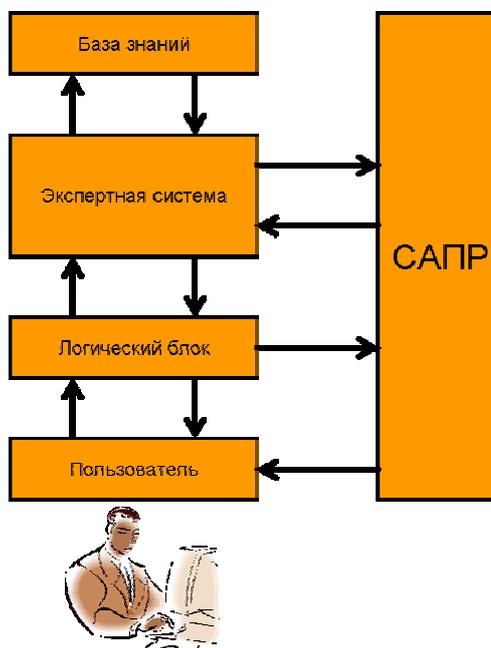


Рис. 4. Система интеллектуального автоматизированного проектирования химико-технологических систем.

В результате повышается качество проектируемых объектов, так как увеличивается число просматриваемых вариантов и глубина проработки каждого из них. Сокращаются и сроки проектирования, так как шире используются средства моделирования, ускоряются проектные расчеты и графические работы.

В процессе работы ИСАПР решаются все основные задачи технологического проектирования. Каждая из этих задач требует весьма сложного программного и информационного обеспечения. Поэтому ИСАПР — это дорогостоящие и весьма сложные системы.

Численный анализ задания проводится в соответствии с полученной структурой и с его помощью осуществляется оценка применимости модулей, исходя из требований к качеству проекта и наложенных ограничений. Анализ является итерационным, поскольку необходимо оценивать альтернативные варианты, то есть сужать пространство моделей для решения задачи проектирования.

Структурный и числовой анализы взаимосвязаны в процессе проектирования. Способ их связи будет определять эффективность поиска оптимального решения. Например, стратегия поиска может быть следующей. В результате анализа создаётся полный математический образ проектируемого процесса в виде пакета моделирующих программ (ПМП), например, ASPEN, HYSYS, PRO-II, ChemCAD и другие. При выполнении программ производится оценка результатов, их соответствия ограничениям и количественным характеристикам проекта. При несоответствии результатов проектирования заданным требованиям создаётся новый образ процесса, который оценивается аналогично. Альтернативой такого подхода является упрощённый образ процесса, который будет усложняться по мере оценки результатов проектирования. Усложнение будет проводиться до тех пор, пока не выполняются все требования, предъявляемые к проекту, или не исчерпаются ресурсы проектирования.

### 3. Автоматизированные системы научных исследований (АСНИ)

Автоматизированные системы научных исследований (АСНИ) или автоматизированный эксперимент реализуется на первых двух ступенях иерархии химического производства – микро- и макроуровне, когда опытная установка непосредственно связана с компьютером и управление опытными исследованиями, контроль, сбор и обработка информации экспериментатором осуществляется в режиме диалога с компьютером. В результате ускоряется проведение эксперимента, увеличивается точность измерений и повышается научный уровень выводов, вытекающих из опытных исследований. Как и все автоматизированные системы, АСНИ включает в себя компьютерную модель исследуемого процесса, обычно динамическую, так называемую имитационную модель процесса, базу данных (БД) и экспертную систему (ЭС) для моделирования некоторых рассуждений исследователя.

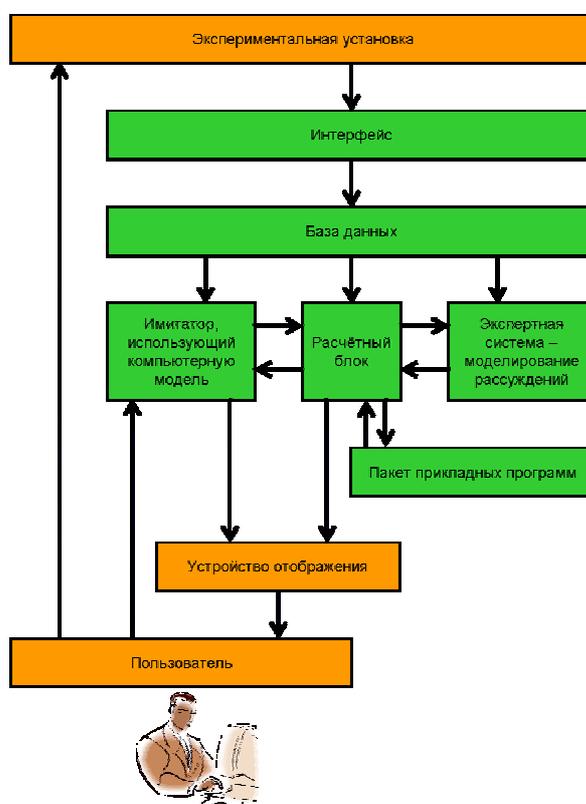


Рис. 5. Основные блоки автоматизированной системы научных исследований.

Представленная на рис. 5 АСНИ включает в себя шесть блоков. В *базе данных* (БД) хранится информация, поступающая из внешней среды, и информация, введённая заранее с целью обеспечения работы системы. Три основных блока: *имитатор*, *расчётный блок* и *экспертная система* (ЭС) – выполняют все основные процедуры, в которых может возникнуть необходимость при проведении научных исследований. Расчётный блок может выполнить любую программу из *пакета моделирующих программ* (ПМП), в котором находятся все необходимые программы, используемые специалистами определённого профиля. Вызов той или иной программы осуществляется по требованию либо *имитатора*, или *экспертной системы* (ЭС), либо самого исследователя.

*Имитатор* осуществляет компьютерное *имитационное моделирование*, то есть воспроизводит изменение параметров реального процесса во времени, на основе тех знаний, которые хранятся в АСНИ, в частности, в базе знаний (БЗ) *экспертной системы* (ЭС).

Экспертная система позволяет реализовать *моделирование рассуждений* специалистов из данной *предметной области*. С её помощью исследователь может изучать логику протекания процессов, диагностировать их течение и классифицировать наблюдаемые сведения.

Основные блоки АСНИ работают в тесном взаимодействии. Например, с помощью компьютерной имитационной модели определяются значения коэффициентов уравнений математического описания (МО), решаемых *расчётным блоком*, а результаты решения этих уравнений служат исходными данными, по которым *экспертная система* (ЭС) классифицирует создавшуюся ситуацию и выдаёт свои рекомендации исследователю.

Под системой АСНИ или *системой автоматизированного эксперимента* в широком смысле понимается система, состоящая из следующих элементов: экспериментальное оборудование, контрольно-измерительные приборы (КИП), методики планирования и проведения эксперимента, а также обработки данных, средства отображения результатов.

Техническая реализация системы автоматизированного эксперимента включает в себя: опытную установку, измерительную технику, подсистему обработки данных (ПОД) и компьютер.

Устройства ПОД, выполняя большое число сравнительно простых операций, могут существенно сократить поток информации в компьютер, высвободив машинное время для осуществления более сложных операций. Так, отыскание экстремальных значений функций связано с выполнением большого числа операций сравнения. При этом добавление в ПОД несложного указателя экстремумов во много раз сократит поток информации, поступающей в компьютер. Кроме того, применение устройств предварительной обработки даёт возможность экспериментатору оперативно получать экспресс-информацию о ходе исследуемого процесса.

Подсистема обработки данных (ПОД), включённая в АСНИ, должна содержать устройства автоматического сбора, передачи и хранения информации от измерительных приборов. Вследствие неравномерности потока информации от экспериментальных установок ПОД должна иметь возможность оперативно обслуживать несколько установок. Кроме того, ПОД должна допускать возможность своего совершенствования и расширения за счёт оснащения дополнительными периферийными устройствами, быть гибкой, то есть легко приспособляться к конкретному виду эксперимента.

Управление экспериментом со стороны компьютера осуществляется по схеме *прямого цифрового управления*. Поэтому компьютер должен иметь большое число каналов связи.

В системах автоматизированного эксперимента исследователь выполняет следующие основные функции:

- вводит исходную информацию для проведения эксперимента;
- вводит априорные указания для выполнения некоторых этапов экспериментирования;
- контролирует правильность протекания эксперимента;
- вносит изменения в ходе эксперимента;
- контролирует достоверность получаемой, в том числе в результате расчётов, количественной информации;
- анализирует результаты проведённых экспериментов;
- формирует выводы и даёт научные обоснования полученным опытными и расчётными результатам.

## 4. Автоматизированные системы управления (АСУ)

Основное преимущество *автоматизированных систем управления (АСУ)* перед традиционными (ручными) методами управления состоит в том, что для принятия необходимых решений управленческому персоналу предоставляется более полная, своевременная и достоверная информация. АСУ — это автоматизированный сбор и обработка информации, хранение ее в памяти компьютера, использование нормативно-справочной, промежуточной и выходной информации для автоматизированного управления.

Качество управления непосредственно связано с применением математических методов управления. К математическим методам в первую очередь относятся оптимизационные методы, статистическая обработка информации, математическое моделирование и др.

АСУ на базе локальных вычислительных сетей (ЛВС) позволяют вести управление в реальном масштабе времени без бумаг, создавать комплексные автоматизированные системы.

К автоматизированным системам управления относятся:

- САР - системы автоматического регулирования;
- АСУТП – автоматизированные системы управления технологическим производством;
- АСУП - автоматизированные системы управления предприятием;
- АСУК - автоматизированные системы управления компаниями.

В управлении современной компанией широко используются на практике информационные технологии. Существуют две стороны управления предприятием, оказывающие взаимное влияние друг на друга: принципы управления организацией и информационные технологии (рис. 6). Управление предприятием и информационные технологии тесно связаны с информационной системой (ИС).

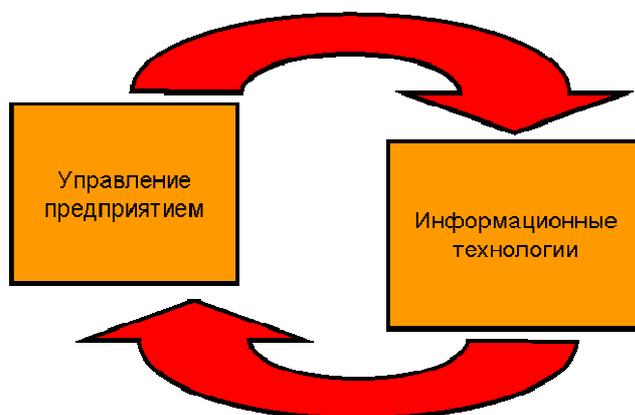


Рис. 6. Взаимосвязь управления и информационных технологий.

Под *информационной системой (ИС)* понимается вся совокупность информации, циркулирующая в организации, порождаемая в процессе её деятельности и оказывающая влияние на результаты деятельности организации. При этом не важно, в каком виде присутствует информация: в электронном, в форме бумажных документов или в виде знаний и опыта сотрудников. Система предполагает учёт всех типов информации, присутствующей в компании в явном или неявном виде. Эти данные можно отслеживать и принимать решения на их основе. В противном случае решения принимаются без активного воздействия такой информации, с учётом сложившейся практики и сформировавшихся традиций. Информация существует независимо от того, доходит она

до управленческого персонала или не доходит, воспринимается им или не воспринимается.

Информационная система включает в себя не только сведения внутреннего характера, но и всю внешнюю информацию, оказывающую влияние на деятельность фирмы. Сюда относятся регулирующее воздействие со стороны государственных органов, данные по товарным и финансовым рынкам. В информационной системе присутствуют данные от собственников, поставщиков, и потребителей. Информационная система не безгранична, она конечна. К информационной системе предприятия относится информация, оказывающая воздействие на деятельность организации (рис. 7).

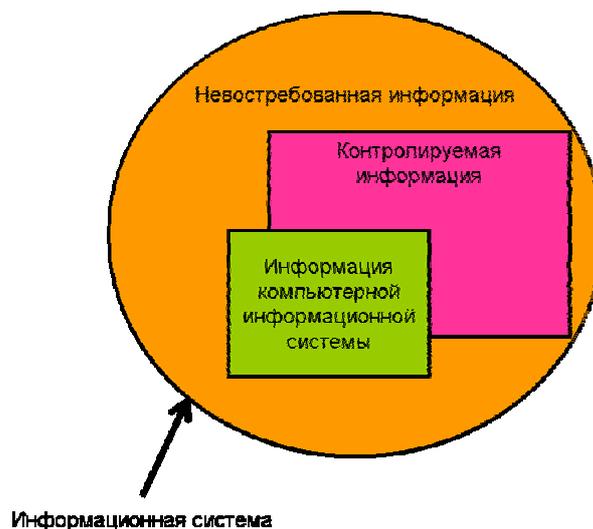


Рис. 7. Структура информационной системы.

Часть информационной системы находится под контролем управленческого персонала и используется им для принятия решений. Такая информация называется *контролируемой*. Некая часть информационной системы остаётся вне поля зрения и не подвергается контролю независимо от того, знает о ней кто-либо и обращают ли на неё внимание при принятии решений. Это область *невостребованной информации*. Собственно, одну из задач управленческого персонала можно сформулировать как увеличение доли контролируемой информации.

Один из способов получения необходимых данных предполагает покупку и установку *автоматизированной (компьютерной) информационной системы*. Однако для начала нужно выяснить, какой метод расчёта будет устраивать руководство, а потом продумать его реализацию. Таким образом, в первую очередь предстоит очертить круг задач, требующих решения, - другими словами, определить ту часть информации, которой недостаёт для более эффективной деятельности, а затем искать пути её накопления.

В какой-то мере информационный вакуум позволяют устранить автоматизированные (компьютерные) системы (АИС) (раздел 1). Они способны предоставить широкий спектр данных, как о внутренней деятельности предприятия, так и внешнего характера: запросы потребителей, состояние рынков, регулирующие положения и т.д.

Иногда у управленцев складывается впечатление, что программные продукты способны самостоятельно, без их активного участия, решить все проблемы компании. Как правило, такие проекты обречены на неудачу.

Деятельность предприятия состоит не только из технологических процессов, которые в ряде организаций могут быть одинаковыми. Этим процессам сопутствуют множество факторов и условий, придающих своеобразие самому управлению предприятием, а не его технологической деятельности. И поэтому для каждой компании необходима своя система

методов управления, которая позволяла бы решать сопутствующие проблемы. Управленческая информация – это не только данные производственного характера, но и информация «вокруг предприятия», поступающая из экономической среды, в условиях которой действует фирма.

Характерным для перечисленных систем (пожалуй, кроме САР), является то обстоятельство, что для принятия управленческих решений они располагают своевременной, полной и достоверной информацией, накапливаемой при её автоматизированном сборе, обработке и хранении в памяти компьютеров и используемой с учётом нормативно-справочной и технико-экономической информации. При этом качество управления на всех уровнях иерархии тесно связано с применяемыми методами:

- статистической обработки информации;
- компьютерного и математического моделирования;
- оптимизации процессов, по-возможности в режиме реального времени.

Как показано на рис. 8, связь между объектом и АСУ осуществляется посредством интерфейса – устройства сопряжения, представляющего собой программно-аппаратный комплекс, с использованием которого решаются управленческие задачи с минимальным участием специалистов. Следует подчеркнуть повышенные требования к корректности и надёжности программно-аппаратного комплекса АСУ (рис. 8).



Рис. 8. Система автоматизированного управления химико-технологическими системами.

В общем случае принято выделять пять основных взаимосвязанных иерархических уровней автоматизированных систем управления (АСУ) в химической промышленности:

САР – *системы автоматизированного регулирования* отдельных типовых процессов химической технологии;

АСУТП – *автоматизированные системы управления технологическими процессами*, протекающими в комплексе (совокупности) аппаратов химической технологии;

АСОУ – *автоматизированные системы оперативного управления* информационными потоками из производственных участков в офисы компании и обратно в режиме реального времени;

АСУП – *автоматизированные системы управления предприятиями*;

АСУК – *автоматизированные системы управления компаниями* – совокупностью предприятий.

На базе перечисленных пяти иерархических систем автоматизированного управления создаются современные *автоматизированные системы оперативно-диспетчерского управления (АСОДУ)* и *комплексные информационно-управляющие системы предприятия (КИУС-П)*.

#### **4.1. Системы автоматического регулирования (САР)**

Основным назначением САР является стабилизация параметров системы. САР обычно используют для регулирования параметров процессов химической технологии и поддержания их в заданном режиме при любых возмущениях, поступающих в систему.

Поэтому САР обычно реализуется на нижнем уровне иерархии химического предприятия, которым является типовой процесс химической технологии.

Для формулировки закона регулирования процесса строят его динамическую модель. На основе математической модели составляется структурная схема управления, и подбираются технологические средства автоматического управления. Однако ввиду большой сложности процессов химической технологии их динамические модели настолько громоздки, что их реализация часто затруднена. Поэтому для построения схем автоматического регулирования часто используют эмпирические модели, полученные из опытных данных, снятых непосредственно на рассматриваемом объекте.

Возможность регулирования процесса, протекающего в объекте, устанавливают на основе анализа сигналов, проходящих через объект, или выходных кривых этих сигналов. Выходные кривые, получаемые после нанесения ступенчатого возмущения, в результате которого процесс переходит к новому установившемуся состоянию, носят название *кривых переходного процесса, кривых разгона* или *кривых отклика*.

Автоматические регуляторы, используемые для промышленных целей, подразделяются на устройства непрерывного и дискретного (импульсного) действия.

В устройствах *непрерывного действия* между выходными и входными переменными элементами объекта существует непрерывная функциональная связь. В зависимости от формируемого закона регулирования регуляторы непрерывного действия делятся на пропорциональные (П-регуляторы); интегральные (И-регуляторы); пропорционально-интегральные или изодромные регуляторы (ПИ-регуляторы); пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы).

При выборе типа регуляторов необходимо учитывать основные показатели качества регулирования данного процесса, максимальное отклонение регулируемых величин от заданных значений, время регулирования (допустимая продолжительность переходного процесса), остаточное отклонение регулируемой величины от заданного значения (уставки), допустимое перерегулирование. Выбор конкретного типа регулятора зависит от номенклатуры регуляторов и условий их эксплуатации.

Обычно регуляторы непрерывного действия применяются при регулировании отдельных типовых процессов.

В устройствах *дискретного действия* величина, получаемая на выходе какого-либо элемента, представляет собой последовательный ряд импульсов, амплитуда, длительность и частота которых в отдельные, определённые моменты времени зависят от величины сигнала на входе. Обычно устройства дискретного действия применяются при управлении совокупностью типовых процессов.

После того, как регулятор выбран, решается система уравнений, описывающая объект вместе с регулятором. С учётом возмущений, действующих на объект, это приводит к созданию замкнутой системы регулирования. При этом используется *метод математического моделирования*, в процессе применения которого изменяются параметры отдельных элементов исследуемой системы – свойства объекта и настройки регуляторов и выясняется влияние этих изменений на работу системы в целом.

Оптимальность процесса регулирования можно оценить по упомянутым выше показателям качества регулирования, а также с помощью интегральных оценок – изменения значений определённых интегралов от некоторой функции регулируемой величины во времени  $t$  (например, квадратичной площади отклонения  $\int e_y^2 dt$ ). В рассматриваемом случае выходная величина поддерживается в пределах предварительно заданных значений  $\hat{y} - y \rightarrow 0$ , где  $\hat{y}$  - заданное значение выходного параметра (уставка);  $y$  - текущее значение выходного параметра. При этом  $e_y = \hat{y} - y$ , где  $e_y$  - величина ошибки или сигнал рассогласования.

Процесс регулирования для данного технологического процесса считается оптимальным, если величина приведённого интеграла является минимальной. В этом

случае процесс регулирования заключается в следующем: под воздействием сигнала рассогласования  $e$ , регулятор приводит в движение исполнительный механизм (ИМ), регулирующий орган которого непосредственно изменяет соответствующий технологический параметр, что, в свою очередь, приводит к изменению регулируемой выходной величины  $y$ .

При создании систем автоматического регулирования оборудование выбирают в следующей последовательности: датчики (Д), исполнительный механизм (ИМ), дублирующий прибор, вспомогательное оборудование, монтажные материалы, причём характеристики каждого предыдущего элемента оборудования используется для выбора последующего. Таким образом, для выбора всего оборудования САР определяющим является датчик регулируемого параметра.

Для формирования регулирующего воздействия на ИМ принципиальное значение имеет включение компьютера с динамической математической (имитационной) моделью в схему автоматического регулирования (рис. 9).

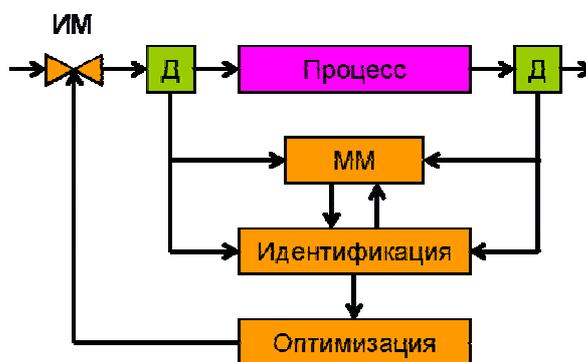


Рис. 9. Схема автоматического регулирования химико-технологического процесса.

При этом в режиме реального времени систематически решается задача идентификации имитационной модели и задача её оптимизации, в результате чего на ИМ посылаются найденные значения оптимальных условий для его установки (рис. 9).

В зависимости от числа регулируемых величин и обратных связей схемы автоматического регулирования подразделяются на одноконтурные и многоконтурные.

В *одноконтурных системах* с одной регулируемой величиной есть только одна главная обратная связь, и нет местных обратных связей. В *многоконтурных системах* имеются две или несколько главных или местных обратных связей.

Многомерные системы автоматического регулирования подразделяются на системы несвязанного и связанного регулирования.

В системах *несвязанного* автоматического регулирования элементы системы взаимодействуют друг с другом лишь через регулируемый объект. В этом случае САР делятся на зависимые и независимые.

В *зависимых* системах изменение одной из регулируемых величин ведёт к изменению других, в *независимых* – процессы автоматического регулирования не зависят один от другого, и их можно рассматривать изолированно.

В системах *связанного* автоматического регулирования регуляторы различных величин имеют взаимные связи вне объекта регулирования.

Весьма перспективными являются *адаптивные самонастраивающиеся системы управления* технологическими процессами, работающие в режиме *прямого цифрового управления*, в том числе с использованием компьютеров. Для этой цели используются *эмпирические имитационные (динамические) модели* реальных производств, полученные при обработке экспериментальных данных, измеряемых на объекте управления в режиме реального времени.

Принцип работы *адаптивной самонастраивающейся системы управления* заключается в следующем. Для системы задается некоторый функционал качества управления, который в общем случае зависит от параметров системы и внешних воздействий. В процессе работы этот функционал изменяется в зависимости от входных воздействий и динамических характеристик объекта. Самонастройка проводится с целью решения одной из двух основных задач – а) обеспечения условия равенства величины регулируемого параметра заданному значению (или меньшему значению); б) обеспечения условия равенства величины регулируемого параметра оптимальному значению.

Первая из этих задач называется задачей *стабилизации динамических либо статических характеристик* системы управления, а вторая - задачей *оптимизации динамических либо статических характеристик* системы управления, решение которой возможно только с применением алгоритмов оптимизации (так называемые *поисковые системы*).

Наряду с поисковыми системами существуют *беспоисковые самонастраивающиеся системы управления*, в которых выполнение приведенных выше условий достигается на основе принципов управления по отклонению и/или по возмущению и *не в процессе поиска*, а путем настройки параметров регуляторов. В этом случае можно считать, что поиск заданного или экстремального значения критерия качества управления выполнен заранее до начала работы системы, в результате чего рассчитан динамический эталон контура управления. При номинальном режиме работы системы параметры объекта и настроечные параметры регуляторов обеспечивают близость динамических характеристик контуров регулирования к характеристикам эталона. При отклонении параметров объекта от номинальных необходимо перестроить параметры регуляторов так, чтобы динамические характеристики контуров регулирования совпали с эталонными. При этом обязательно выполнение условия равенства величины регулируемого параметра заданному значению (или меньшему значению) или обеспечения условия равенства величины регулируемого параметра оптимальному значению. Первое из этих условий называют условием *беспоисковой адаптивной стабилизации*, а второе - условием *беспоисковой адаптивной оптимизации*. Каждая из этих систем может быть реализована как с *настраиваемой моделью объекта*, требующей применения алгоритма идентификации, так и без нее. Из-за отсутствия непосредственного поиска *беспоисковые системы* обеспечивают *темп процессов адаптации*, соизмеримый с *темпом переходных процессов* по регулируемой координате, и, что не менее важно, позволяют сохранить возможность компенсации внешних возмущений, приложенных к объекту.

В то же время *поисковые системы* следует считать более перспективными, как обладающие лучшими возможностями учета специфики реальных процессов в режиме реального времени, чем *беспоисковые*, и выбор между ними должен быть выполнен на основании анализа свойств конкретных объектов управления.

## **4.2. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП)**

Задачей *автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП)* является активное непосредственное вмешательство в ход технологического процесса или всей технологической схемы производства, выработка заданий для совокупности регуляторов, обеспечивающих оптимизацию процесса в непрерывно меняющихся производственных условиях. В этом случае в контур управления включается *управляющий компьютер* или *управляющая вычислительная машина*.

АСУТП реализуется на второй ступени иерархии химического производства – на уровне комплекса аппаратов.

Математической задачей АСУТП является построение некоторого функционала с учётом ограничительных условий, минимизация (максимизация) которого с соблюдением этих ограничительных условий должна обеспечить компромиссное выполнение всех или большинства требований, предъявляемых к объекту управления. В этом и заключается постановка задачи *глобальной оптимизации ХТС*.

Таким образом, реализация современной АСУТП на нижнем уровне *комплексной информационно-управляющей системы предприятия (КИУС-П)* возможна при выполнении следующих условий:

- включение в контур (контуры) управления компьютеров;
- решение с использованием компьютеров задач динамической оптимизации процесса;
- создание *локальных вычислительных сетей (ЛВС)*, так называемых Local Area Networks (LAN), и интеграции их в общую систему управления предприятием (КИУС-П).

Для управления в АСУТП наряду с регуляторами, используемыми в САР (см. раздел «Системы автоматического регулирования (САР)»), широко применяются программируемые логические контроллеры – programmable logical controllers (PLC) и распределённые системы управления – distributed control systems (DCS).

Под *логическим управлением (PLC)* подразумевается обеспечение при помощи автомата заданной логической связи между сигналами, поступающими от измерительных преобразователей, дающих информацию о состоянии объекта и управляющими воздействиями на исполнительные устройства. Любой автомат, как и всякая физическая система, характеризуется двумя факторами: схемой управления, которая в аналитическом виде может быть представлена системой уравнений алгебры логики, и способом реализации этой схемы, которая в свою очередь, зависит от вида и конструкции используемых в автомате элементов, например, электронных.

Существует два варианта реализации АСУТП: более старый - по принципу *централизованного управления технологическими процессами*, когда вся информация от отдельных процессов представляется на мнемосхеме, сообщается на пульт оператора и обрабатывается компьютером, и более современный с *распределённой системой управления технологическими процессами* - distributed control systems (DCS), когда компьютеры с заранее введёнными в них программами управления подключаются непосредственно к отдельным управляемым объектам и работают по принципу *прямого цифрового управления* в локальном контуре. В этом случае один компьютер может заменить несколько десятков обычных типовых регуляторов. Такие системы многоканального регулирования на компьютерах гораздо дешевле, чем заменяемая ими совокупность обычных одноканальных аналоговых регуляторов, а по точности и надёжности они не уступают последним и даже превосходят их. Таким образом реализуются современные системы оперативного управления процессами - operative process control (OPC), использующие компьютеры-серверы, которые обеспечивают необходимой информацией систему управления (рис. 10).

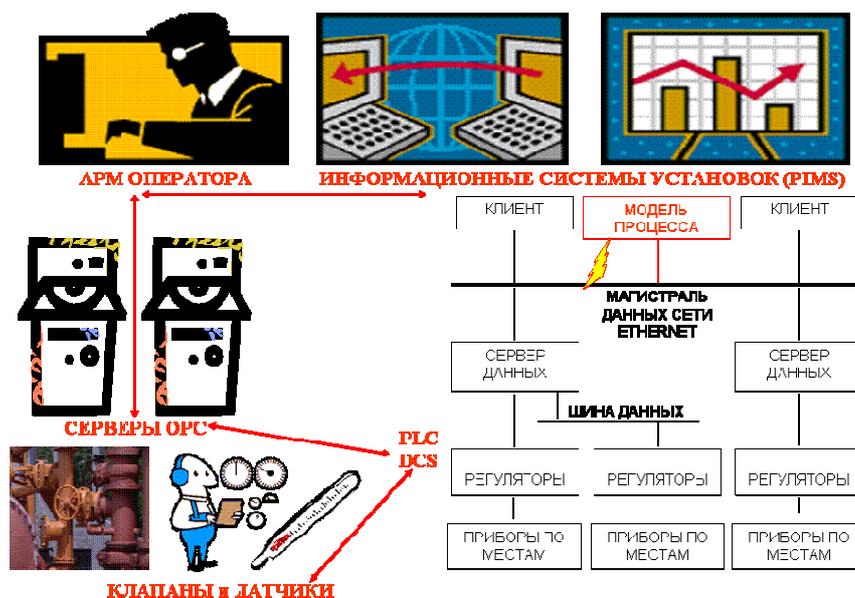


Рис. 10. Структура SCADA-системы.

Распределённая система управления (DCS) содержит три основных элемента:

- компьютер (обычно микрокомпьютер), снабжённый алгоритмами прямого цифрового управления и заменяющий собой регуляторы аналогового типа;
- интерфейс "специалист - компьютер" (обычно цветной дисплей компьютера) с клавиатурой;
- средства взаимодействия подсистем, реализуемые в виде каналов с последовательной передачей данных по *шине данных* между блоками компьютеров и по *магистральным шинам* локальных вычислительных сетей (ЛВС), например Ethernet, между рабочими станциями (компьютерами - клиентами).

Метод доступа Ethernet, пользующийся наибольшей популярностью, обеспечивает высокую скорость передачи данных и надёжность. Для него используется *топология "общая шина"*, поэтому сообщение, отправляемое одной рабочей станцией, принимается одновременно всеми остальными станциями, подключёнными к общей шине. Но поскольку сообщение включает адреса станций отправителя и адресата, то другие станции это сообщение игнорируют. Это - метод множественного доступа. При нём перед началом передачи рабочая станция определяет, свободен канал или занят. Если канал свободен, станция начинает передачу. В результате реализуется *информационно-управляющая система процесса - process information management system (PIMS)*.

Для визуализации и отображения изменения параметров технологических процессов в реальном масштабе времени используются *SCADA-системы (supervisory control and data acquisition - системы)*, реализуемые на компьютерах. В их задачу входит графическое представление любой требуемой информации технологического и другого характера о ходе протекания процесса, включая отслеживание и регистрацию аварийных сигналов (рис. 10).

SCADA-системы составляют основу *автоматизированного рабочего места (АРМ)* специалистов, обслуживающих реальные промышленные производства - операторов, технологов и диспетчеров. Любое АРМ включает в себя персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением (ПО) и устройствами отображения информации (дисплеями, принтерами, плоттерами и др.). Кроме того, в зависимости от вида деятельности специалиста на том или ином АРМ в состав оборудования могут входить средства телефонной и радиосвязи (АРМ диспетчера), комплекс измерительных приборов, анализаторов и т.п. (АРМ оператора), приборы контроля и автоматической

регистрации и расчёта параметров технологических процессов, а также технико-экономических показателей с применением SCADA-систем (АРМ технолога) и т.д.

Следует отметить, что на уровне АСУТП в комплексной информационной управляющей системе предприятия (КИУС-П) могут присутствовать:

- малоавтоматизированные подразделения, где имеются некоторые элементы низовой автоматики в части контроля *технико-экономических расчётов (ТЭР)* и *автоматизированные рабочие места (АРМы)* экономиста, кладовщика и табельщика;
- цеха-производства, имеющие системы автоматического регулирования (САР) и контроля над технологическими процессами с учётом технико-экономических показателей с рабочими местами начальника цеха, экономиста и кладовщика;
- высокоавтоматизированные подразделения, имеющие АСУТП с современными контроллерами и SCADA-системами, АРМами начальника цеха-производства, технолога, энергетика, механика, мастера КИПиА, экономиста, кладовщика и табельщика.

### **4.3. Автоматизированные системы оперативного управления (АСОУ)**

Современные АСУТП (см. раздел «Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП)») на базе промышленных контроллеров и SCADA-систем позволяют значительно повысить экономическую эффективность различных производств за счёт повышения точности регулирования технологических режимов, снижения влияния человеческого фактора, применения развитых средств диагностики и противоаварийной автоматики и т.д.

Однако АСУТП не исчерпывает всех имеющихся резервов для дальнейшего роста эффективности. Связано это с тем, что они работают сугубо на технологическом уровне, а для дальнейшего роста экономической эффективности требуется учёт гораздо большего числа дополнительных факторов, и, прежде всего, экономических – цен на сырьё, ресурсы и целевые продукты, конъюнктура рынка т.д.

Именно такому подходу к выбору оптимальных автоматизированных систем управления предприятием (АСУП) соответствует реализация автоматизированных систем оперативного управления (АСОУ), использующих MES-системы (Manufacturing Execution Systems – системы управления производством) для эффективного управления производствами.

Если рассматривать традиционную двухуровневую систему производственного предприятия «АСУТП-АСУП», то MES-системы занимают в ней промежуточное положение, выполняя роль поставщика информации из АСУТП в АСУП (рис. 11). Данные из MES-системы могут быть интегрированы с другими системами для улучшения мониторинга, отслеживания динамики процессов и выверки процесса производства. Они облегчают работу, как на уровне управления, так и на производственных участках. MES-системы организуют потоки информации из производственных участков в офис и обратно. Они могут отслеживать процесс производства в режиме реального времени, передавать информацию для контроля процесса, информацию о браке, создавать идентификаторы продуктов, данные о статусе процессов в том виде, в котором требуется.

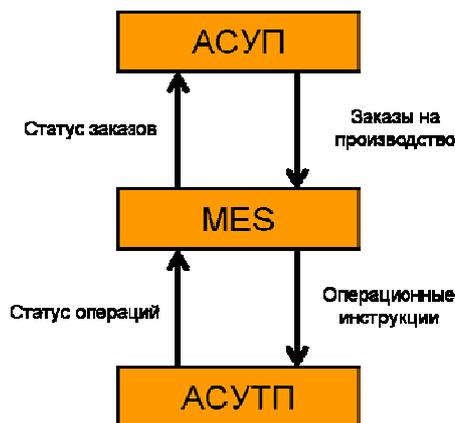


Рис. 11 Схематическое изображение взаимодействия АСУТП – MES – АСУП.

Задачей АСУТП является улучшение работы одного процесса или технологической линии. MES-системы ориентированы на анализ того, как данный отдельный процесс влияет на все производства предприятия. Одной из наиболее сильных сторон MES-систем является то, что они позволяют комбинировать основные бизнес-цели предприятия и локальные производственные процессы наиболее эффективным образом. Если АСУТП управляет различными технологическими установками, оптимально регулируя отдельные процессы, то MES-системы в зависимости от текущей рыночной ситуации могут оптимизировать все производства предприятия в целом.

Таким образом, на уровне АСОУ предприятия присутствуют подсистемы, которые обеспечивают:

- сбор и представление информации о состоянии технологического процесса, оборудования, показателей качества готовой продукции в реальном масштабе времени диспетчерской службе предприятия, производственному отделу и дирекции предприятия по сети *волоконно-оптической линии связи (ВОЛС)* и *модемной связи* с удалённых объектов;
- сбор интегрированных данных согласно ГОСТу с узлов учёта и АСУТП в группы учёта технико-экономических показателей и материальных потоков отдела главного метролога, отдела главного энергетика, в планово-экономический и аналитический отделы с дальнейшим их балансированием и ведением учёта затрат на производство.

#### **4.4. Автоматизированные системы управления предприятием (АСУП)**

Под *управлением предприятием* понимается организация деятельности предприятия с учётом изменений в окружающей экономической и социальной среде. Управленческий персонал распределяет финансовые, трудовые и материальные ресурсы таким образом, чтобы реализовать намеченные планы предприятия. Задача управления состоит в отслеживании внутренних и внешних процессов и адекватном реагировании на них, в результате чего изменение экономических условий должно способствовать развитию предприятия.

Автоматизированные системы управления предприятием (АСУП) способствуют решению комплекса задач, связанных с определением потребности предприятия в сырье, материалах, химикатах, в энергозатратах на выполнение производственной программы, в реализации плановых работ для основных и вспомогательных производств и т.п.

На этом уровне иерархии химического предприятия реализованы системы финансово-экономической и хозяйственной деятельности, решающие следующие задачи:

- управление закупками и продажами;
- регулирование движения денежных и материальных ресурсов;
- бухгалтерского учёта;
- управления персоналом.

Задачами АСУП являются:

- централизованный сбор информации;
- переработка информации с целью определения технико-экономических показателей и их анализа для своевременного принятия решений и реализации производственных планов;
- сбор и обработка информации по материально-бухгалтерскому учёту;
- передача необходимой информации в различные подсистемы управления предприятием.

АСУП состоит из управляющих подсистем и объектов управления, связанных между собой информационными каналами. Управляющая подсистема формирует и передаёт управляемым подсистемам задания по осуществлению производственного процесса. Выполнению задания обычно предшествует обработка некоторой информации, принятия решений об использовании оборудования, сырья, рабочей силы, тары, технологических режимов и т.п. Основанием для принятия решений служат результаты решения математических задач с использованием *информационно-функциональных моделей объектов* и следующей информации: допустимых затрат по основным видам сырья и энергии; производственной программы «прочих» производств (не вошедших в модель); возможностей по складированию и использованию запасов продукции и отходов; возможностей по отгрузке продукции внешним потребителям; данных о текущем состоянии оборудования производств и месячных графиков планово-предупредительных ремонтов; месячного плана производства и сведений о текущем выполнении производственной программы.

*Информационно-функциональная модель* представляет собой информационную схему предприятия, на которой изображены все существующие связи между подсистемами (между предприятием и внешними организациями, между различными подразделениями предприятия, между отдельными сотрудниками), указано, какие сведения передаются (план на месяц, количество сданной за день продукции, количество сырья, израсходованного в течение месяца и т.д.), в какой форме (в виде программы, письма, письменного или устного приказа или распоряжения, сводки о выпуске продукции и состоянии её на складе, технического и материального производственных отчётов и т.п.), с какой периодичностью (ежедневно, раз в месяц, квартал, год, по мере необходимости), как обрабатывается информация, и принимаются решения (в формализованном виде записываются методы обработки информации). Модель позволяет выявить существующие контуры управления, получить представление обо всей управленческой деятельности предприятия.

Одной из основных задач управления является задача отыскания оптимальной производственной программы при условии ограниченных ресурсов производства. Решение этой задачи для производства требует *построения математической модели*, учитывающей особенности объекта управления, состояние материально-технического снабжения и сбыта. Возможности производств определяются сырьевыми ресурсами, как находящимися на складе, так и направляемыми туда в течение планируемого периода; запасами тары, производимой на предприятии и поступающей извне; сроком службы оборудования; наличием рабочей силы.

Перед АСУП ставится главная задача – отработка производственной программы (какое количество каждого вида продукции, на каком оборудовании и по какому регламенту

нужно выпустить за планируемый период), выполнение которой обеспечило бы предприятию максимальную прибыль от реализации продукции.

При решении задач АСУП предприятие целесообразно представить как совокупность бизнес-процессов, организации, кадров, внешней среды, а также компьютерных информационных систем.

Все составляющие этой системы изменяются одновременно, и изменение одной составляющей ведет к изменению всех остальных.

*Бизнес-процессы.* Предприятие рассматривается как совокупность отдельных процессов, эффективность каждого из которых подлежит оценке. Такое представление деятельности позволяет ускорить реакцию на ее изменяющиеся внешние и внутренние условия, отслеживать состояние всех процессов и материальных ресурсов предприятия в реальном времени.

*Организация.* Использование информационных технологий ведет к изменениям организации работы предприятия. В результате совершенствуется его организационная структура, отпадает необходимость территориальной привязанности к месту работы, изменяются последовательность и содержание работ, увеличивается гибкость деятельности предприятия, преобразуется процесс управления.

Всех *сотрудников* предприятия можно условно разбить на группы в зависимости от типа производимой работы и отношения к информационной системе. *Работники умственного труда* — это *сотрудники, которые разрабатывают новые продукты, услуги и создают интеллектуальный потенциал фирмы*. На производственных предприятиях эта группа представлена персоналом отделов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), лабораторий, научно-исследовательских институтов (НИИ) при организациях. Ко *второй группе* относятся работники, имеющие дело с данными и делопроизводством. Это секретарский персонал, бухгалтерия. *Третью группу* составляют те, кто производит продукцию предприятия, то есть рабочие, непосредственно задействованные в процессе выпуска продукции или оказания услуг. Эти три группы сотрудников вносят разный вклад в информационную систему предприятия.

*Внешняя среда.* Под экономической средой предприятия понимаются внешние условия его функционирования: конкуренция на рынке, регулирование деятельности, характеристики рынков и т.д.

*Компьютерные информационные системы.* Современные компьютерные информационные системы включают в себя блоки современных подходов менеджмента; предполагается, что эти блоки будут использованы в практике предприятий. Среди таких частей информационных систем можно отметить типичные бизнес-процессы разных отраслей промышленности, системы показателей для контроля деятельности, систему поставок «just-in-time» (точно в срок) и множество других методов управления. Однако они часто оказываются невостребованными. Причина кроется не в российской специфике производства, как бывает в отношении финансов или учета. Здесь основная проблема — потребность менеджеров в перечисленных методах. Покупка информационной системы с реализованными в ней методами управления не значит, что они будут автоматически внедрены, как только начнется промышленная эксплуатация компьютерной системы. Методы управления больше относятся к культуре управления производством, чем к его компьютеризации. Потребность в ней должна возникнуть изначально — тогда функциональные блоки программного обеспечения способны принести пользу.

Внедрение *компьютерной информационной системы* на предприятии должно положительно отразиться как на уровне его *информационного обеспечения*, так и на *принципах управления*. Изменения в управлении предприятия происходят за счет внедрения нового уровня информационных технологий, предоставляющих дополнительные возможности сбора данных и анализа информации, а также за счет изменений во взглядах на работу организации.

Управление меняется параллельно с внедрением информационных технологий.

Необходимо отметить, что информационная архитектура компании должна соответствовать бизнес-архитектуре. Под *бизнес-архитектурой* понимается целостная организация бизнес-процессов, организационных, культурных и социальных областей деятельности предприятия, соответствующая целям его деятельности. Если информационные технологии не связаны с бизнес-архитектурой, то они превращаются в дорогое, но бесполезное приобретение.

Для соответствия целей деятельности предприятия способам их достижения разрабатывается и реализуется стратегия в области информационной системы. Она учитывает профиль предприятия, его цели, а также факторы успеха, которые удобно реализовать с использованием информационных технологий. Эти факторы могут меняться или устаревать под влиянием внешней среды. Поэтому на предприятии должно использоваться стратегическое управление, задачи которого — прогнозировать или обнаруживать изменения в требованиях рынка, условиях конкуренции, законодательстве и т.п., корректировать бизнес-цели и критические факторы успеха, постоянно поддерживать в соответствии все уровни предприятия, включая и уровень информационной архитектуры.

Стоит отметить, что использование информационных технологий относится к наиболее важным внутрифирменным вопросам. Суть вопроса состоит во взаимосвязи технологий и управления: как, с одной стороны, интегрировать технологические решения в систему управления, а с другой стороны, изменить управление компанией с использованием информационных технологий. Проще говоря, с внедрением информационных технологий происходит изменение задач высшего управленческого звена. Последние достижения в области ИТ, такие как значительное сокращение стоимости вычислительной техники, позволяющее автоматизировать большую часть рабочих мест, а также появление новых технологий в разработке программного обеспечения, по-иному расставляют акценты в процессе управления предприятием. Руководитель теперь должен выступать в роли главного управляющего по отношению к различным участникам информационного процесса. Возможно, такая постановка вопроса покажется слишком технократичной, но потребность в руководителе, исполняющем роль главного технолога, понемногу отпадает. Теперь он должен не только быть сведущим в хозяйственных операциях, но и иметь хорошую подготовку в области информационных технологий, а также обладать предпринимательскими знаниями.

Сегодня руководство предприятий часто не чувствует себя компетентным в вопросах информатизации, поэтому те принципы управления, которые реализуются посредством информационных технологий, остаются за пределами области его интересов. Они кажутся недоступными и нереализуемыми в существующих условиях.

На предприятиях большинство вопросов, связанных с информационными технологиями, возлагается на специалистов в области ИТ, которые имеют собственные представления о задачах работы подразделения информационных технологий предприятия. Они неспособны самостоятельно сопоставить стратегические интересы предприятия с интересами подразделения. Это задача высшего управляющего звена, а не главного специалиста по информационным технологиям и не эксперта по управлению предприятием, приглашенного со стороны.

Вопросы, которые наиболее остро сказываются на деятельности предприятия при внедрении информационных систем, — это *прозрачность деятельности предприятия и информационная безопасность*. Остановимся более подробно на прозрачности. Понятие «оптимальный уровень прозрачности» очень важно с точки зрения успешности функционирования информационной системы на предприятии. Разные уровни развития компаний предполагают и разный уровень прозрачности. Абсолютной прозрачности деятельности предприятия быть не может. С одной стороны, она не будет востребована, так как на управленческом уровне информация используется в агрегированном виде; с другой стороны, детализация информации — это очень дорогое удовольствие.

Следовательно, при использовании информационных систем нужно соблюдать определенный баланс между необходимым уровнем прозрачности и возможностью его реализации. Возможность реализации, в свою очередь, определяется как финансовыми параметрами предприятия, так и готовностью или желанием сотрудников обеспечить данный уровень прозрачности, предоставляя точные и подробные данные о работе участка. Иногда это требует больших усилий сотрудников, но все же незначительно повышает ценность информации для управления предприятием. В таких случаях попытка увеличить прозрачность ведет к информационной избыточности.

Все эти позиции должны находить своё отражение в деятельности предприятия, его управлении и учитываться в АСУП.

#### **4.5. Автоматизированные системы управления компанией (АСУК)**

Объектом управления АСУК является промышленная компания, выпускающая, например, химическую, нефтехимическую или другие виды продукции. Основной оценкой качества её работы может служить степень соответствия между потребностью в химической продукции и её выпуском.

Объект управления характеризуется распределённостью во времени и в пространстве, вследствие чего информационное обеспечение АСУК осуществляется с использованием больших автоматизированных информационных систем (АИС), в частности *гео-информационных систем* (ГИС).

Объект управления имеет изменяемое и часто большое время чистого запаздывания, переменную структуру, сильные внутренние связи и большое число управляющих воздействий, что крайне усложняет задачу управления. В процессе управления наиболее часто используются три группы взаимодействий: *оперативное руководство, управление развитием и управление кадрами*. Особенно важной задачей является *управление развитием*, она решается с применением моделей, предсказывающих поведение объекта на некоторое время вперёд. К таким моделям относится *модель скользящего планирования*, обеспечивающая возможность реализации принципа управления по возмущениям.

При разработке системы управления компанией большее внимание уделяется совокупности моделей её поведения, в определённом смысле соответствующих алгоритмам комплексного планирования и образующих основу автоматизированных систем управления компанией (АСУК).

В основе совокупности моделей лежит *технологическая модель*, позволяющая получить производные показатели с помощью пересчёта, в котором используются нормативные коэффициенты и статистические зависимости. Кроме этого широко используются модели оценки основных технико-экономических показателей и межпродуктового баланса.

*Модель оценки основных технико-экономических показателей* позволяет отобразить взаимосвязи отдельных технико-экономических показателей, а также временные зависимости для них. Модель с определённой точностью воспроизводит предысторию развития компании и позволяет получать расчётные величины показателей компании на основе некоторых априорных представлений о характере изменений отдельных показателей.

*Модель межпродуктового баланса* является отображением технологической структуры компании и с определённой степенью приближения представляется совокупностью уравнений и неравенств.

*Модели управления компанией* определяют общие рамки и структуру взаимодействия системы зависимых моделей для практического планирования, которые в совокупности являются её приближённой реализацией. Сначала решается упрощённая задача с

агрегированными (по номенклатуре и времени) показателями, затем для каждого из агрегированных периодов решается более детализированная задача с известными агрегированными показателями.

На стадии формирования заданий, поступающих от высшего руководящего органа компании, первой задачей планирования является ориентировочная оценка технико-экономических показателей компании. Как правило, на этой стадии имеются некоторые соображения о темпах развития компании и предполагаемых ресурсах, известны установки по производству продукции. По этим данным можно, используя зависимость технико-экономических показателей, получить ориентировочные требования к таким характеристикам деятельности компании, как производительность труда, фондоотдача, фондовооружённость и т.п.

Следующей является динамическая задача долгосрочного планирования с разбивкой на 3 – 5 лет, решение которой позволяет получить общее представление об основных направлениях развития компании в течение длительного периода.

Затем выделяется детализированная задача развития и размещения производства в краткосрочной и долгосрочной перспективе, решением которой являются:

- общий перспективный баланс производства и распределения всех продуктов;
- общие интенсивности технологических процессов и выбор районов строительства новых предприятий;
- прикрепление поставщиков к потребителям и определение объёмов поставок сырья, полупродуктов и конечных продуктов.

Группа вопросов, связанных с созданием производственных мощностей, решается при рассмотрении динамики капитального строительства и ввода мощностей на ближайшую и долгосрочную перспективу с разбивкой по годам.

Управление функционированием компании осуществляется на основе решения задачи планирования на год с разбивкой по кварталам. Решение этой задачи задаёт ввод мощностей в текущем году, квартальные объёмы поставок продукции компаниям-потребителям. В результате этого определяется план производства и снабжения по кварталам, дающий максимум годовой прибыли.

Необходимо отметить, что функционирование автоматизированной системы управления компанией (АСУК) и всех её иерархических уровней – АСУП, АСОУ, АСУТП и САР должно осуществляться на основе единой технической базы, информационного и математического обеспечения и предполагать полную совместимость используемых программно-аппаратных средств.

## 5. Автоматизированные обучающие системы (АОС)

Главная цель автоматизированных (компьютерных) обучающих систем (АОС) - повысить эффективность учебного процесса с учётом индивидуальности обучаемого, степени его подготовленности и запаса знаний. АОС создаёт для учащегося благоприятную среду обучения и даёт возможность:

- получать теоретические знания с использованием автоматизированных учебных курсов, так называемых тьюторских программ;
- приобретать практические навыки применения своих знаний с использованием тренажёрных комплексов и проведением с их помощью учебных игр;
- оценивать теоретическую и практическую подготовку обучаемых с использованием программ контроля знаний и тестирующих программ.

Для работы АОС требуется соответствующее программное, информационное, техническое, методическое, лингвистическое и правовое обеспечение. Важными структурными элементами АОС являются компьютеры, объединённые в ЛВС (LAN) и, при необходимости, в ГВС (WAN) и реализованные на них:

- расчётные модули для компьютерного моделирования реальных процессов;
- экспертные системы (ЭС);
- базы данных (БД) и базы знаний (БЗ).

Всё это позволяет, с одной стороны, корректировать процедуру обучения с учётом индивидуальности ученика и предоставляет ему право самостоятельно задавать последовательность, объём и темп предъявления учебной информации; с другой стороны, благодаря возможностям Интернет-технологий, организовать *дистанционное обучение* специалистов в различных областях знаний.

Особая роль при создании АОС принадлежит *тренажёрным комплексам*, позволяющим операторам промышленных производств, в том числе и химических, обучаться управлению реальными процессами. При этом центральная роль принадлежит *компьютерным моделям реальных процессов*, чаще всего *динамическим (имитационным) моделям*, адекватным действительности. Наличие таких моделей даёт возможность генерировать различные сценарии событий на реальном объекте с использованием его адекватной компьютерной модели и оценивать действия операторов производств по их воздействиям на поведение компьютерной модели процесса, а не на реальное производство. Это позволяет «отрабатывать» как штатные, так и нештатные ситуации (например, аварийные), возникающие при работе промышленных производств в режимах *нормальной эксплуатации объектов*, а также *при их пуске и останове*.

При этом к динамическим (имитационным) моделям реально протекающих процессов, используемым в тренажёрах, как правило, подключается динамический *блок регулирования*, моделирующий на компьютерах работу регуляторов (П, ПИ, ПИД или более сложное регулирование, например, каскадное), а также датчиков приборов (Д) и исполнительных механизмов (ИМ). В этом случае динамическую (имитационную) модель промышленного производства считают *виртуальным производством*.

Принципиальная схема функционирования тренажёрного комплекса с динамической (имитационной) компьютерной моделью представлена на рис. 12.



Рис. 12. Принципиальная схема функционирования тренажёрного комплекса с динамической (имитационной) компьютерной моделью.

Блок управления тренажёром (4) загружает сценарии событий из базы данных сценариев ситуаций (3), наблюдаемых в реальных условиях, которые передаются по каналам связи в качестве параметров виртуального производства (2). Обучаемый оператор через интерфейс тренажёра (1) обычно с использованием SCADA-системы визуализации предпринимает действия, аналогичные выполняемым в реальных условиях для правильного управления процессом, и результаты этих действий передаются по каналам связи сначала в блок управления (4) и через него для корректировки параметров виртуального производства (2). Результаты этой корректировки оцениваются интерфейсом тренажёра (1) с использованием SCADA-системы.

При этом обучение может проводиться как в режиме *реального времени* – real time (RT), то есть виртуальное производство функционирует с той же скоростью, что и реальное, так и в режиме *предсказания поведения процесса* – predictive process simulation (PPS), когда виртуальное производство реагирует на все воздействия существенно быстрее, чем реальное.

Виртуальные производства, реализуемые на компьютерах, то есть компьютерные модели процессов целесообразно создавать с применением пакетов моделирующих программ (ПМП), например, PRO-II, Hysys, ChemCAD, Aspen и других. Современные ПМП позволяют моделировать на компьютерах динамические режимы различных аппаратов, соединённых трубопроводами с подключением системы регуляторов и исполнительных механизмов. Это позволяет реализовать на компьютерах математические модели неорганических, органических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих и других производств путём правильного выбора в ПМП смесей индивидуальных веществ, методов расчёта их свойств, соединяемых между собой типовых аппаратов технологических схем производств.

В действительности, с применением динамической (имитационной) компьютерной модели реального процесса можно реализовать три варианта обучения операторов или инженеров-технологов, управляющих реальным производством.

*Первый вариант обучения* (альтернатива А) выполняется в среде одного из пакетов моделирующих программ (ПМП). Сценарии событий для обучения генерируются специалистом, осуществляющим обучение, путём задания различных параметров для динамической модели ПМП. Отслеживаются действия обучаемого (этот вариант более приемлем для инженерного персонала) по правильному «ведению» технологического процесса (рис. 12).

Достоинство этого способа обучения заключается в том, что не требуется специальных разработок для его реализации, а недостаток – необходимо умение работать с ПМП, что сложно для операторов производственных процессов. В связи с этим данный вариант

обучения рекомендован для инженерного персонала.

*Второй вариант обучения* (альтернатива В) реализуется через SCADA-систему, привычную среду для операторов химических производств (рис. 13), которая связана с виртуальным производством через динамический EXCEL-ИНТЕРФЕЙС.

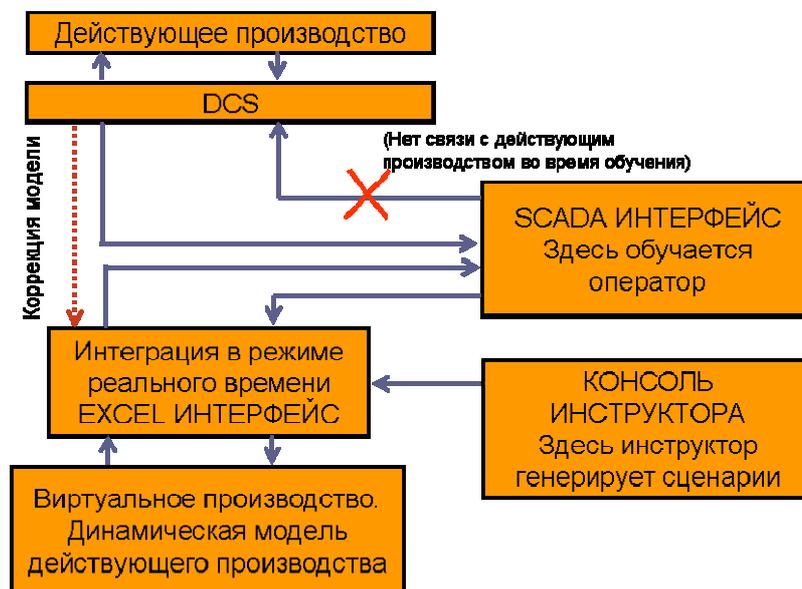


Рис. 13. Тренажёрный комплекс, отключенный от производства.

На время обучения SCADA-ИНТЕРФЕЙС не связан с действующим производством и распределённой системой управления DCS. Данные с реального производства используются для решения задачи идентификации и коррекции модели виртуального производства, решаемой предварительно до процесса обучения.

Инструктор генерирует сценарии событий через *консоль инструктора* (компьютер инструктора), который изменяет данные в соответствующем динамическом файле EXCEL-ИНТЕРФЕЙСА (рис. 13), в результате чего изменяются параметры виртуального производства. Действия оператора через SCADA-ИНТЕРФЕЙС по изменению параметров виртуального производства (рис. 13) оцениваются инструктором и обучаемым через консоль инструктора и SCADA-ИНТЕРФЕЙС.

*Третий вариант обучения* (альтернатива С) требует наибольшей предварительной работы для создания тренажёрного комплекса (рис. 14). Прежде всего, должны быть созданы адекватные динамические модули реальных процессов, для которых должны быть успешно решены задачи идентификации и коррекции параметров, исходя из экспериментальных данных. Эти модули могут создаваться, в том числе и с применением универсальных моделирующих программ (ПМП), и должны храниться в соответствующей базе данных (БД) процессов. Кроме того, для динамического модуля каждого из процессов должны быть разработаны сценарии возможных событий, необходимых для обучения, которые также помещаются в базу данных (БД) (рис. 14). Динамические модули отдельных процессов с соответствующим сценарием событий для обучения извлекаются из базы данных (БД) с использованием специального программного обеспечения через EXCEL-ИНТЕРФЕЙС и помещаются в память компьютера. Связь динамического модуля процесса со SCADA-системой осуществляется через EXCEL-ИНТЕРФЕЙС, в среде которого (SCADA-ИНТЕРФЕЙСА) происходит обучение оператора.

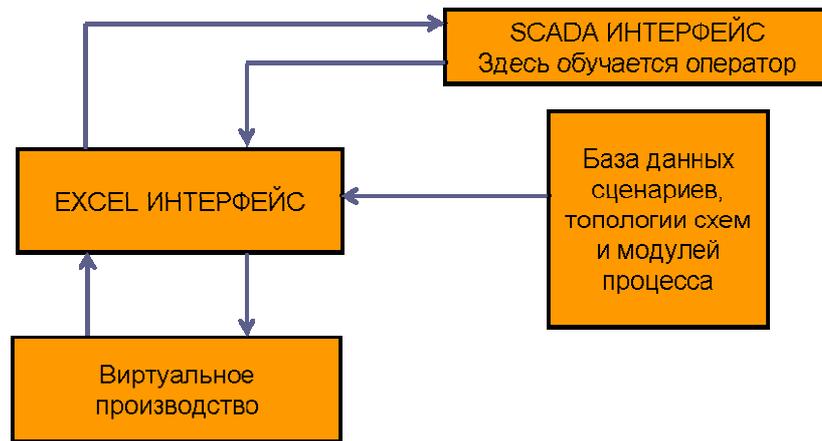


Рис. 14. Тренажёрный комплекс виртуальной реальности.

Тренажёр такого типа автономен, в отличие от второго варианта обучения, здесь не требуется связь с действующим производством для коррекции параметров его динамической модели.

Процесс обучения осуществляется автоматически через SCADA-систему путём реализации сгенерированных в базе данных (БД) соответствующих сценариев без участия инструктора. Это позволяет оптимальным образом адаптировать процесс обучения к индивидуальным способностям обучаемого, для чего реализуются специальные программные модули для обучения, базирующиеся на методологиях искусственного интеллекта (ИИ) и экспертных систем (ЭС).

## Вопросы для контроля знаний

1. Какую роль играют компьютерные модели химических производств в современных автоматизированных системах?
2. Каково назначение современных автоматизированных информационных систем (АИС)?
3. Описать общую структуру функционирования АИС при использовании технологии баз данных (БД).
4. Чем отличаются базы данных от банков данных? Каково назначение баз знаний?
5. Какими ресурсами должны располагать автоматизированные информационные системы (АИС)?
6. Комплексный интегрированный подход к созданию систем автоматизированного проектирования (САПР)?
7. Привести схемы типичной структуры функциональных блоков САПР и интеллектуальных САПР - ИСАПР.
8. Перечислить основные блоки автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) и их назначение? Что означает автоматизация эксперимента?
9. Каковы функции исследователя, использующего АСНИ?
10. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) и предприятиями (АСУП). Как они должны взаимодействовать?
11. Назначение автоматизированных систем обучения и промышленных тренажеров и принципы их работы.

## Предметный указатель

### **А**

автоматизация, 36  
автоматизированные информационные системы (АИС), 2, 5, 11  
автоматизированные обучающие системы (АОС), 2, 32  
автоматизированные системы научных исследований (АСНИ), 2, 15  
автоматизированные системы управления (АСУ), 2, 17  
автоматизированные системы управления компанией, 2, 3, 17, 20, 30, 31, 32  
автоматизированные системы управления предприятием, 2, 3, 17, 19, 26, 27, 28, 30, 32, 36  
автоматизированные системы управления технологическим производством, 2, 3, 17, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 32, 36  
адекватность, 33  
алгоритм, 8

### **В**

вычислительный алгоритм, 8

### **Д**

динамические модели, 5, 6, 20, 21, 22, 23, 31, 33, 34, 35

### **И**

идентификация, 3, 21, 22, 34, 35  
интенсивность источника, 31  
искусственный интеллект (ИИ), 3, 4, 8, 13, 35

### **К**

конструкционные параметры, 12

### **М**

математическая модель, 8, 11, 20, 28, 33  
математическое описание, 3, 16

### **Н**

неформализованные задачи (НФЗ), 4, 5

### **О**

оптимизация, 11, 12, 19, 21, 22, 23

### **П**

пакет моделирующих программ, 4  
пакеты моделирующих программ (ПМП), 8, 33, 34

### **С**

системы автоматизированного проектирования (САПР), 2, 10  
системы автоматического регулирования, 2, 4, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 32

### **Х**

химико-технологическая система, 10, 12, 23

### **Э**

экспертные системы (ЭС), 4, 8, 11, 32, 35  
эмпирическая модель, 20