

# MES-системы: взгляд изнутри



**Андреев Е. Б., Куцевич И. В., Куцевич Н. А.**

# **MES-системы: взгляд изнутри**

**КСМОСКОП**

**Москва  
2015**



**Андреев Е. Б., Куцевич И. В., Куцевич Н. А.**

А65

**MES-системы: взгляд изнутри / Е. Б. Андреев, И. В. Куцевич, Н. А. Куцевич**  
– М.: Издательство «РТСофт» – «Космоскоп», 2015. – 240 с.: илл.

ISBN 978-5-903545-21-6

Книга «MES-системы: взгляд изнутри» будет интересна руководителям и потенциальным разработчикам MES-систем управления производством, поскольку в ней рассматриваются вопросы создания информационных управляющих систем от стандартов к процессам и к инструментам разработки MES:

- для управления эффективным исполнением производственных операций;
- для регулирования, инициации и протоколирования работы предприятия по мере возникновения событий с использованием точных текущих данных;
- для предоставления производственных операций от момента появления заказа на производстве до доставки готового продукта;
- для представления наиболее важной информации о производственной деятельности всей организации и обо всей цепочке поставок.

Появление систем планово-диспетчерского управления, систем управления производственными фондами, энергоресурсами не только сделало прозрачным производство, но и сформировало условия создания информационно-аналитических систем, ориентированных на оптимизацию производства.

Представленный материал не является теоретическим, он в значительной мере основан на многолетнем практическом опыте компании «РТСофт».

УДК 681.51

ББК 32.96

**ISBN 978-5-903545-21-6**

© Андреев Е. Б.

© Куцевич И. В.

© Куцевич Н. А.

© Издательство «РТСофт» – «Космоскоп», 2015

# Содержание

<b>1. Из истории вопроса</b>	<b>7</b>
<b>2. MES-системы: базовые понятия</b>	<b>12</b>
2.1. Позиционирование, базовые функции и структурные компоненты	12
2.2. А что говорят стандарты?	16
2.2.1. От SADT к стандартам IDEFx при создании комплексных систем	17
2.2.2. Общие положения ISA-95	17
2.3. От видов деятельности к производственным процессам и MES	28
2.4. Оценка эффективности промышленных предприятий	35
2.4.1. Применение KPI – прямой путь к повышению эффективности предприятия	35
2.4.2. Оценка эффективности использования производственного оборудования на базе OEE	39
2.4.3. Управление простоями оборудования	42
2.4.4. Бенчмаркинг – одно из направлений повышения эффективности	46
2.4.5. Управление отклонениями в обеспечении эффективности	48
Резюме	54
<b>3. Системы управления производственными процессами в дискретном производстве</b>	<b>57</b>
3.1. Процессы оперативно-календарного планирования и диспетчеризации	59
3.2. Инструментальные средства создания ИС	67
3.2.1. Назначение системы	67
3.2.2. Функции системы	67
3.2.3. Структура системы	69
3.3. COTS-средства	72
3.3.1. Реализация функции оперативного планирования на базе Preactor FCS/APS	72
3.3.2. Программное обеспечение Wonderware MES	77
Резюме	79
<b>4. Процессы планирования, оперативно-диспетчерского управления и материального учета</b>	<b>80</b>
4.1. Планирование	80
4.2. Оперативно-диспетчерское управление	81
4.2.1. Задача интеграции информационных систем	83
4.2.2. Системы диспетчеризации	87
4.2.3. СКО (система коллективного отображения) в системе диспетчерского управления	93
4.2.4. Этапы разработки АСОДУ	96
4.2.5. Типовой подход к созданию АСОДУ	98



4.3. Базовые инструменты для создания технологических и диспетчерских систем	100
4.3.1. Системная платформа, или ОС производственного уровня	104
4.3.2. Коротко о БДРВ	111
4.3.3. Модели данных комплексной системы предприятия	115
4.4. Материальный учет	118
4.4.1. Технология применения	120
4.4.2. Расчет балансов	123
4.4.3. Сравнительные характеристики балансовых систем	124
Резюме	129
<b>5. Процесс контроля качества продукции</b>	131
5.1. Процесс контроля качества – базовая составляющая системы менеджмента качества предприятия	131
5.2. Существующий уровень автоматизации контроля качества	133
5.3. Информационные системы поддержки процесса контроля качества	134
5.3.1. Модули SPC	136
5.3.2. ЛИМС как инструмент создания систем качества	138
Резюме	149
<b>6. Процесс управления производственными активами предприятия</b>	150
6.1. О состоянии «как есть» и целях управления производственными активами	150
6.2. Процессы управления производственными активами	151
6.2.1. Процесс ведения НСИ, регламентной и технической документации	152
6.2.2. Процесс управления работами по техническому обслуживанию и ремонтам	153
6.2.3. Процесс управления трудовыми ресурсами (персоналом ремонтных подразделений предприятия)	155
6.2.4. Процесс управления материальными ресурсами	156
6.2.5. Анализ результатов управления производственными активами	157
6.3. Выбор решения: EAM-системы или модули ERP?	158
6.4. Основные факторы, определяющие сроки и стоимость внедрения	160
6.5. Место EAM-системы в информационном пространстве предприятия	161
6.5.1. EAM и АСУТП	161
6.5.2. EAM и системы управления инструментальным хозяйством	162
6.5.3. EAM и CAD\CAM\PDM	162
6.5.4. EAM и ГИС	152
6.5.5. EAM и CRM/ERP/OLAP	152
6.6. Описание существующих решений	153
6.7. Экономический эффект от внедрения EAM-систем	157
Резюме	158
<b>7. Процесс управления энергоресурсами</b>	159
7.1. Основные предпосылки создания АСУЭ ПП	159
7.2. Характеристика объекта автоматизации	160
7.2.1. Состав энергооборудования промышленных предприятий	160

7.2.2. Особенности энергооборудования как объекта автоматизации . . . . .	162
7.2.3. Особенности создания систем энергоснабжения предприятий . . . . .	163
7.3. Цели и функциональные задачи создания АСУЭ . . . . .	163
7.4. Структура АСУЭ и архитектурное решение . . . . .	167
7.5. Прикладные и расчетные задачи . . . . .	168
Резюме . . . . .	173
<b>8. Оптимизация процессов производства и процессов</b>	<b>175</b>
<b>управления производственными фондами</b>	
8.1. Системы оперативной оптимизации производственных процессов . . . . .	176
8.1.1. Определение стационарного состояния . . . . .	177
8.1.2. Предварительная обработка данных . . . . .	178
8.1.3. Согласование данных . . . . .	178
8.1.4. Оптимизация . . . . .	179
8.1.5. Процедура оперативного моделирования . . . . .	179
8.1.6. Основа моделирования потоков и последовательности	180
технологических процессов	
8.2. Управление техническим состоянием и целостностью ГТС . . . . .	182
8.2.1. Описание и характеристики процесса управления целостностью ГТС . .	183
8.2.2. Цели и задачи процесса управления целостностью объектов ГТС . . . .	188
8.2.3. Структура показателей целостности ГТС . . . . .	192
8.2.4. Организационная поддержка целостности . . . . .	196
8.2.5. Инструментарий СУТСЦ . . . . .	197
Резюме . . . . .	204
<b>9. Смежные системы</b> . . . . .	<b>206</b>
9.1. Система безопасности . . . . .	206
9.1.1. Предпосылки появления систем защиты данных	206
и инфраструктур систем управления	
9.1.2. Методология создания систем защиты . . . . .	207
9.1.3. Предлагаемое решение . . . . .	208
9.2. Система управления строительством и реконструкцией . . . . .	209
высокотехнологичных объектов АСУС ВО	
9.3. Система генерации отчетов . . . . .	213
9.3.1. Система формирования отчетов . . . . .	213
9.3.2. Отчетно-аналитические системы . . . . .	214
Резюме . . . . .	215
<b>Заключение</b> . . . . .	<b>217</b>
Основные источники получения экономического эффекта	220
от внедрения MES-систем	
Экономика внедрения . . . . .	221
Системный консалтинг как вид деятельности . . . . .	223
Словарь обозначений . . . . .	226
Литература . . . . .	230
Об авторах . . . . .	238



## ГЛАВА 1. Из истории вопроса

Для того чтобы глубже понять обозначенную в названии книги тематику, необходимо сделать краткий экскурс в историю автоматизации российских промышленных предприятий. Эффективной эту автоматизацию, при всем нашем желании, назвать, к сожалению, нельзя. Известно, что без понимания истории болезни невозможно вылечить больного. Так и в нашем случае – сначала необходимо выявить причины неэффективного управления российскими промышленными предприятиями и только после этого попытаться найти решение, способствующее улучшению сложившейся ситуации.

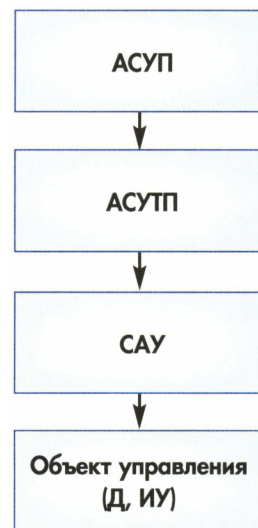
Конкретно заниматься созданием интегрированных систем управления промышленными предприятиями в России начали всего десять лет тому назад. Наиболее широкое обсуждение проблемы интеграции АСУТП и АСУП в специализированной периодической прессе пришлось на самое начало этого века – 2000–2003 гг. Чтобы не отсылать читателя к многочисленным журнальным статьям для поиска ответа на вопрос «А в чем, собственно, проблема?», мы взяли на себя эту трудоемкую работу, и вот что получилось.

На рис. 1 представлена типовая иерархическая структура управления промышленным предприятием, характерная для подавляющего большинства российских предприятий второй половины двадцатого века. Система управления была построена по трехуровневому принципу (можно говорить и о четырех уровнях, если выделить в качестве самостоятельного уровня объект управления с датчиками (Д) и исполнительными устройствами (ИУ)).

В любой системе управления, построенной по иерархическому принципу, предполагается движение информации в двух направлениях: «снизу вверх» (восходящий поток) и «сверху вниз» (нисходящий поток).

Информация о состоянии объекта автоматизации от различных датчиков технологического режима или состояния оборудования поступает на автоматические регуляторы (контроллеры) и частично в виде управляющих воздействий возвращается на исполнительные устройства. На этом уровне замыкаются контуры систем автоматического управления (САУ), а информация о параметрах технологического процесса и состоянии оборудования поступает выше – на уровень АСУТП. Здесь (в операторной/диспетчерской) информация отображается на экранах, табло и регистрируется. Оперативный персонал имеет возможность формировать управляющие воздействия: на регулятор – изменением задания, на объект – в режиме ручного дистанционного управления исполнительными устройствами.

Вверху, на уровне АСУП (в мировой практике этот уровень управления получил название ERP – Enterprise Resources Planning, планирование ресурсов предприятия), имеются структуры, обеспечивающие финансово-хозяйственную деятельность предприятия в целом, планирование и учет производства.



**Рис. 1.** Типовая иерархическая структура управления производственными фондами предприятия

Результатом их деятельности являются планы, задания, регламенты, которые в качестве управляющих воздействий «спускаются» на уровень АСУТП. Вот здесь и возникает главный вопрос: а на базе какой информации все эти задания и планы вырабатывались? Дело в том, что **автоматизированным** способом «поднять» **оперативную** информацию до уровня принятия стратегических решений долгое время не удавалось.

Взаимодействие между уровнями АСУТП и АСУП – *вертикальная интеграция* – базируется на организации потоков информации от нижнего уровня (датчиков и контроллеров) во внутренние и внешние компьютерные сети предприятия и через них – в административные системы управления. Данная задача решается путем объединения промышленных и административных сетей. Основная цель вертикальной интеграции – устранение препятствий на пути информационных потоков между уровнями АСУП и АСУТП для оперативного обмена данными.

На предприятиях автоматизированный обмен информацией часто бывал невозможен по ряду причин:

- ◆ отсутствовали физические каналы обмена данными (ЛВС – локальные вычислительные сети);
- ◆ при наличии каналов обмена не предусматривалась возможность их стандартизации;
- ◆ не все технологические процессы были автоматизированы на базе современных программно-аппаратных средств (много устаревших систем, подключение которых к сети было проблематичным);
- ◆ прочие причины.

В результате информация для принятия управленческих решений часто была не только **неоперативной** (устаревшей), но и **недоверенной** (человеческий фактор).

То же самое можно сказать и о горизонтальном взаимодействии (*горизонтальная интеграция*) автономных систем автоматизации технологических и производственных процессов, а также административных отделений цехового уровня. Не было необходимого обмена данными в реальном масштабе времени между всеми подразделениями основного и вспомогательного производства [1].

Ничего удивительного в таком «раздрае» с точки зрения взаимодействия различных подсистем системы управления предприятием нет. Сначала в Советском Союзе не было соответствующей вычислительной техники, и об использовании ЛВС в управлении речь не шла. По мере развития научно-технического прогресса автоматизация уровней АСУТП и АСУП стала осуществляться различными коллективами специалистов, подчиненными руководителям различных служб, автоматизация уровней была плохо скоординирована. Оба направления не были связаны между собой ни организационно, ни физически, ни информационно. Кроме того, автоматизация различных уровней управления строилась на разнородных технических и программных средствах, не предусматривала возможности стандартизации каналов обмена информацией между уровнями. Каждый уровень решал свой класс задач, и если «наверху» не хватало информации для принятия стратегических решений по управлению предприятием, то ее нехватку восполняли посредством телефонных звонков и записок.

Такое положение дел не могло не сказываться на эффективности функционирования предприятий. А промышленные предприятия из государственных постепенно превратились в ча-



стные, и новые хозяева не хотели мириться со сложившейся ситуацией. Вот в начале 90-х годов и началось переоснащение предприятий.

Положительные результаты этого переоснащения на уровне АСУТП очевидны: успешно пошел процесс замены морально и физически устаревших средств автоматизации на современные и надежные микропроцессорные системы (DCS, SCADA). На предприятиях появились специалисты, владеющие компьютерными системами и современными методами управления, специалисты по информационным технологиям (ИТ).

Особенностью АСУТП является то, что эти системы работают с потоками данных, поступающими в реальном масштабе времени, с высокой частотой (периоды опроса порядка секунд и даже долей секунд) и из большого числа источников (от сотен до десятков тысяч параметров). Эта информация хранится в базах данных реального времени (БДРВ) и используется для оперативного управления технологическим процессом. Но оперативная информация, успешно используемая в АСУТП, далеко не всегда пригодна для верхнего уровня (АСУП).

Для решения задач автоматизации управления административно-хозяйственной деятельностью предприятий (АСУП) в 90-х годах также стали широко внедряться типовые системы управления. По функциональным возможностям все эти системы были неравнозначны. Среди них имелись и так называемые коробочные продукты, реализующие очень небольшое количество функций (бухгалтерские, складские и т. п.), и мощные системы, способные моделировать происходящие на предприятии процессы управления (SAP/R3, Baan, Oracle Business Suite). Были представлены и системы среднего класса (JD Edward's, MFG/Pro, SytelLine, Renaissance, Concorde XAL, SunSystems, «БОСС-Корпорация», «Галактика», «Парус», «Ресурс» и др.), способные реализовать достаточно большое количество функций по различным направлениям – финансы, персонал, сбыт.

Особенностью всех этих систем является применение современных реляционных баз данных (РБД), таких как Oracle, Informix, Microsoft SQL Server и других, наиболее хорошо приспособленных для решения задач анализа. На этом уровне нужна в основном предварительно подготовленная, агрегированная информация о технологических процессах, состоянии оборудования, расходных показателях (данные типа средних за определенные промежутки времени, нарастающим итогом, объемы выработанной продукции и т. д.). Такие данные должны поступать в систему гораздо реже, чем данные реального времени, но они должны быть оперативными и достоверными.

Что же получилось в результате переоснащения на уровне АСУП? Внедрение в процесс управления современных программных комплексов не принесло ожидаемого эффекта. Основной недостаток таких систем заключался в том, что они изначально не могли **оперативно и адекватно** реагировать на реальные проблемы производства, которые возникают на предприятии. Системы автоматизированного планирования и управления производством развивались из бухгалтерских систем, которые хорошо выполняют учетную роль, но не показывают пути совершенствования производства. А именно эта задача стояла и стоит сейчас перед большинством отечественных предприятий [2].

На практике использование даже таких мощных систем, как SAP R/3, не позволяет решать задачу управления, а только задачу учета ресурсов. Недостаток оперативной технологической, диагностической, хозрасчетной информации становится все более актуальным и со-

проводится требованием ее обязательного предоставления. Обычно используемый ручной ввод (РВ) данных приводит к тому, что данные не являются оперативными, достоверными, поскольку вероятны ошибки при вводе. Минимизация субъективного фактора и повышение оперативности и гарантированности доставки данных диктуют требования предоставления данных в автоматизируемом режиме.

#### Врезка 1

##### **Пользователи информации, или «Кому все это нужно»?**

- ◆ Управление производством.
- ◆ Службы контроля.
- ◆ Технологические службы.
- ◆ Ремонтные службы.
- ◆ Службы контроля качества.
- ◆ Операторы оборудования.
- ◆ Плановые службы.
- ◆ Бухгалтерия.

#### Врезка 2

##### **Типовые производственные задачи**

- ◆ Постоянное повышение качества продукта.
- ◆ Повышение объемов производства.
- ◆ Повышение эффективности производства.
- ◆ Снижение длительности простоев.
- ◆ Снижение себестоимости.
- ◆ Сохранение инвестиций.

#### Врезка 3

##### **Управление производством**

**Цель:** Обеспечить выполнение плана в соответствии с запланированным объемом производства, затратами и качеством продукции.

##### **Типовые вопросы:**

- ◆ Соответствует ли выпуск плановым показателям? Где возникают узкие места?
- ◆ Что является причиной задержек?
- ◆ Соответствует ли реальная себестоимость расчетной?
- ◆ Каковы последние отклонения производственных показателей?

Анализ информационных потоков между системами АСУП и АСУТП показал, что только незначительная часть данных АСУТП (от 5 до 10 процентов) непосредственно может быть актуальной для АСУП. Значительная часть данных уровня АСУТП перед подачей на уровень АСУП подлежит обработке, в частности агрегированию.

Все это привело специалистов к выводу о том, что необходим «мост», через который информация могла бы беспрепятственно «перетекать» на самый верхний уровень системы управления (и обратно), что и обеспечит вертикальную интеграцию информационных потоков. Этот же мост следует использовать и для обмена данными между различными системами автоматизации технологических и производственных процессов и управленческим персоналом цехового уровня (горизонтальная интеграция).

Однако одного понимания необходимости такого моста было недостаточно. Для его практической реализации требовалось выполнение ряда объективных и субъективных условий. И на стыке веков стало возможным констатировать, что:

- ◆ на многих предприятиях уже создана достаточная сетевая инфраструктура (сети на уровне предприятия, стандартные промышленные шины на уровне АСУТП);
- ◆ на рынке средств автоматизации уже появились специализированные программные продукты различных типов, в том числе и от разработчиков SCADA-систем;
- ◆ и самое главное – проявилась заинтересованность практически всех служб и руководства всех уровней управления в оперативном получении объективных технологических данных (врезка 1).



Часто управленческие решения базируются на интуиции и опыте. Опыт и интуиция – это хорошо, но заметное влияние субъективного фактора на процесс принятия решения далеко не всегда гарантирует взвешенное, проверенное решение.

Наличие же оперативных технологических данных как исходной информации позволяет принять **качественные стратегические управленческие решения** для многих задач (врезка 2).

Объем и степень доступа к технологической информации зависят и от типа программного обеспечения, используемого в управленческих структурах предприятия, и от категории сотрудников – потребителей данной информации. На врезках 3–7 указаны цели и типовые вопросы различных служб предприятия.

Вопросов у специалистов различных служб предприятия на самом деле гораздо больше. Чтобы на них правильно ответить, необходимо иметь доступ к оперативной и достоверной информации.

Вот мы и подошли вместе с читателем к мысли о том, что для успешного (эффективного) функционирования предприятия тремя существовавшими до недавнего времени уровнями управления (САУ, АСУТП и АСУП) не обойтись. Требуется промежуточный (интеграционный) уровень, способный не только объединить информационные потоки предприятия (и вертикальные, и горизонтальные) и создать **единое информационное пространство** предприятия, но и обеспечить эффективное управление производством.

#### Врезка 4

##### Службы контроля

**Цель:** Оптимизация процесса, соблюдение правил техники безопасности.

##### Типовые вопросы:

- ❖ Стабилен ли данный контур управления?
- ❖ Почему сработал данный предохранительный механизм?
- ❖ Каким образом вчерашние изменения повлияли на сегодняшнюю производительность?
- ❖ Почему стан №5 не запускается в автоматическом режиме?

#### Врезка 5

##### Технологические службы

**Цель:** Повышение эффективности процесса, поддержание работоспособности оборудования.

##### Типовые вопросы:

- ❖ Почему перегревается данный насос?
- ❖ Что явилось причиной подъема температуры в регуляторе давления?
- ❖ Каковы параметры процесса при высоком или низком выходе продукции?
- ❖ Какова связь между производственными характеристиками оборудования и стабильностью?

#### Врезка 6

##### Плановые службы

**Цель:** Разработка графиков выпуска продукции.

##### Типовые вопросы:

- ❖ Как соотносится текущий коэффициент загрузки оборудования со средним?
- ❖ Соблюдается ли график производства?
- ❖ Каковы минимальные и максимальные показатели выпуска продукции в час?
- ❖ Каков фактический объем сегодняшнего выпуска по сравнению с расчетным?

#### Врезка 7

##### Бухгалтерия

**Цель:** Контроль и минимизация затрат производства.

##### Типовые вопросы:

- ❖ Есть ли доход от выпуска данного вида продукции?
- ❖ Каков текущий уровень потребления сырья и материалов по сравнению с предыдущим месяцем?
- ❖ Какова структура себестоимости продукции в этом месяце?

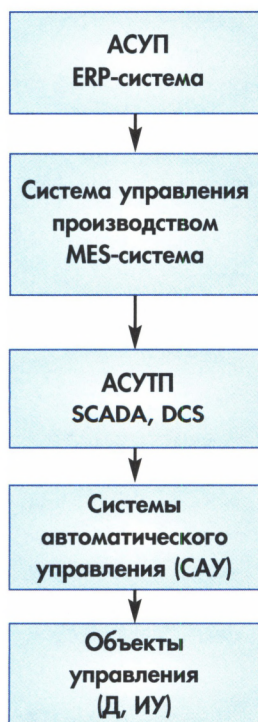
## ГЛАВА 2. MES-системы: базовые понятия

### 2.1. Позиционирование, базовые функции и структурные компоненты

В различных источниках этот архитектурный уровень управления называют по-разному. Это и понятно – конкретно заниматься созданием интегрированных систем управления предприятием в России еще только начинают, поэтому отсутствует и единая терминология.

В мировой практике сформировалась и закрепились идеология MES-систем (Manufacturing Execution Systems). По определению APICS (American Production and Inventory Control Society), MES-система – это информационная и коммуникационная система **производственной среды предприятия**. Более развернутое определение дала международная некоммерческая ассоциация MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association). MES-система – это **АСУ производственной деятельностью предприятия**, с помощью которой в режиме реального времени осуществляются контроль, документирование, планирование и оптимизация производственных процессов, от поступления сырья до выпуска готовой продукции [3].

Используя фактические технологические данные, MES-системы поддерживают всю производственную деятельность предприятия в режиме реального времени. Быстрый результативный отклик на изменяющиеся условия помогает эффективно управлять производственными операциями и процессами. Кроме того, MES-системы формируют данные о текущих производственных показателях, необходимые для функционирования ERP-систем. Таким образом, MES-система – это связующее звено между ориентированными на финансово-хозяйственные операции ERP-системами и оперативной производственной деятельностью предприятия на уровне цеха, участка или производственной линии.



**Рис. 2.** Структура комплексной автоматизированной системы управления промышленным предприятием

Отсюда вытекает, что комплексную (интегрированную) автоматизированную систему управления промышленным предприятием следует представлять в виде четырех взаимосвязанных уровней управления. Упрощенно структура такой системы показана на рис. 2.

Традиционно на контроллерном уровне решается задача сбора данных и управления устройствами низовой автоматики. Независимо от типа контроллерного оборудования данные для визуализации, формирования управляющих воздействий, подсистемы алармов, архивирования поднимаются по стандартным протоколам реального времени на уровень HMI (Human Machine Interface – человекомашинный интерфейс) SCADA-систем.

Клиентские конфигурации HMI- и SCADA-приложений на уровне управления технологическими процессами (АСУТП) позволяют в реальном времени отслеживать оперативную информацию в отдельных цехах или участках. Использование однородных подсистем на всех участках технологического процесса позволяет достаточно просто объединять данные на уровне управления произ-

водством (АСУПП) на основе уже выбранного инструментального средства. На практике «зоопарк» SCADA, DCS, HMI различных производителей систем осложняет задачу интеграции технологических данных, но использование стандартных прикладных протоколов реального времени делает интеграцию возможной. Современные продуктовые линейки и стандартные коммуникационные протоколы позволяют предоставить информацию в полном объеме всем системам и пользователям верхнего уровня.

Производственный контур управления (АСУПП) связан с информационной и коммуникационной средой, отражающей процесс производства на предприятии. Системы этого уровня не только **обеспечивают передачу данных** с технологического уровня – уровня управления реальными данными – в модули систем планирования ресурсами предприятия (АСУП), но и, самое главное, **позволяют управлять процессом производства** более гибко, уменьшая стоимость производства и увеличивая прибыль.

Основное назначение систем управления предприятием (АСУП) – автоматизация административно-хозяйственной деятельности предприятия. В такой структуре требования минимизации субъективного фактора и повышения оперативности и гарантированности доставки данных выполняются, поскольку предоставление данных реализуется в автоматизируемом режиме. Таким образом, опираясь на АСУПП, традиционные системы АСУП имеют тенденцию превращаться, на основе поступающей с производственного уровня информации, из систем учета административно-хозяйственной и производственной деятельности в средство реального управления предприятием.

При этом каждый уровень управления характеризуется своей интенсивностью циркулирующей в нем информации, своим масштабом времени и своим набором функций.

Контур управления уровня САУ – самый жесткий по времени реакции, которое должно измеряться долями секунд и миллисекундами. Это и понятно – здесь речь идет об автоматическом управлении.

Все остальные уровни системы управления предприятием – автоматизированные, т. е. человеко-машинные. Тем не менее все они имеют отношение к реальному времени. Уровень АСУТП – самый интенсивный по объему циркулирующей информации, но менее жесткий с точки зрения времени по отношению к уровню САУ. Реальным временем на этом уровне являются секунды, минуты, часы. В SCADA-системах происходит накопление и обработка большого числа технологических параметров и создается информационная база исходных данных для вышестоящего производственного уровня. Негарантированное время реакции на событие в технологическом процессе недопустимо. Различные каналы обмена (и их протоколы) характеризуются соответствующими приоритетами и определяются ответственностью выполняемых задач (алармы, архивы, работа с таблицами баз данных).

Оперативно-производственный уровень управления (АСУПП) опирается на объективную информацию, поступающую как от АСУТП, так и от других служб производства. Интенсивность информационных потоков здесь существенно ниже и связана с задачами оперативного планирования и оптимизации заданных производственных показателей (качество продукции, производительность, энергосбережение, себестоимость и т. д.). Временные циклы управления составляют минуты, часы, смены, сутки.



Стратегический уровень управления (АСУП) освобождается в этом случае от решения оперативных задач производства и обеспечивает поддержку бизнес-процессов предприятия в целом. Поток информации от производственного уровня становится минимальным и включает в себя агрегированную управленческую и отчетную информацию с типовыми (штатными) временами контроля день, декада, месяц. Сюда же поступает информация об аварийных ситуациях, требующих немедленного вмешательства высшего управленческого персонала предприятия [4].

Таким образом, оперативно-производственный уровень призван решать две фундаментальные задачи. Первая задача, назовем ее базовой, – это **интеграция информационных потоков и обеспечение единого информационного пространства предприятия**. Вторая задача – **реализация функций управления процессом производства**.

С функциями управления производственными процессами (MES) читателю еще предстоит познакомиться в последующих разделах. В этом же разделе предполагается подробнее остановиться на решении задачи интеграции.

На рис. 3 представлена обобщенная информационная система управления предприятием.

В общем случае обмен данными между уровнями системы управления по вертикали осуществляется во встречных направлениях.

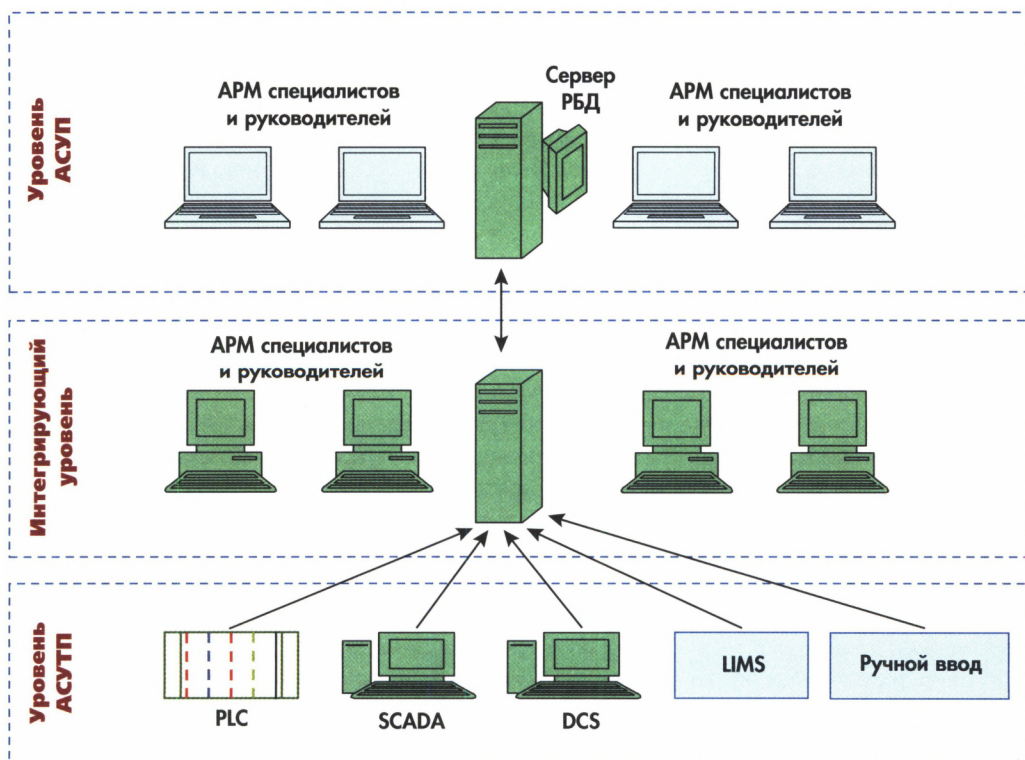


Рис. 3. Обобщенная информационная система управления предприятием



Восходящий поток формируется производственной информацией, поступающей с технологических установок, участков и цехов. В основном эта информация передается автоматизированным способом от действующих АСУТП, созданных на базе систем SCADA и DCS. Результаты лабораторных анализов формируются в лабораторных информационных системах (ЛИС, или LIMS – Laboratory Information Management System). Предусмотрен ручной ввод данных (РВ), которые не могут быть введены в систему автоматизированным способом.

Этот поток данных обеспечивает специалистов и руководителей производственного уровня сведениями о количественных и качественных показателях переработанного сырья и продуктах переработки, технологических режимах и их нарушениях, состоянии технологического оборудования, потреблении реагентов и энергоносителей, затратах труда и т.д. Большая часть этих данных является входной информацией для системы управления производством. Этот же уровень обеспечивает передачу необходимых технологических данных в модули систем планирования ресурсов предприятия (АСУП).

Нисходящий поток представляет собой производственные задания, графики работы и ремонтов, технологические регламенты, спецификации на качество вырабатываемых продуктов и т.п. Это и позволяет управлять процессом производства более гибко, уменьшая его стоимость и увеличивая прибыль.

Базовый или минимальный набор функций, реализуемый системой, задача которой заключается в интеграции всех уровней вертикали с точки зрения информационного пространства, может быть сведен всего лишь к двум основополагающим функциям:

- ◆ сбору, унификации, хранению, типовой обработке и предоставлению информации заинтересованным пользователям;
- ◆ способности к взаимодействию с источниками данных нижнего уровня, с одной стороны, и системой управления верхнего уровня, с другой, для обеспечения «бесшовности» интеграции уровней управления.

Программные продукты, обеспечивающие поддержку интеграционного уровня, можно разделить на несколько групп: базы данных, системы представления данных, системы управления производством и веб-технологии.

Вся информация должна быть размещена в едином архиве, так как дублирование данных не допускается. В данном разделе не рассматривается вопрос, на какой платформе должен быть создан архив – на платформе базы данных реального времени (БДРВ) или на платформе реляционной базы данных (РБД). Возможно и более простое хранилище данных. Выбор хранилища данных зависит от многих факторов. С точки зрения интеграции программное обеспечение базы данных должно поддерживать как оперативные каналы обмена данными (снизу), так и транзакционные обмены, свойственные системам АСУП (сверху).

В качестве средства представления данных часто используются SCADA-системы. Этот выбор обусловлен целым рядом причин. Здесь и наличие большого количества простых и сложных графических объектов со средствами анимации, и подсистемы алармов, трендов. К тому же современные SCADA-системы обеспечивают обмен информацией по стандартным протоколам (OPC, DDE, OLE, SQL) с другими системами и приложениями.

Коммуникационные возможности в автоматизации, как правило, ограничены. С применением современных веб-технологий коммуникация становится практически неограниченной. Отпадает необходимость в специальном программном обеспечении для представления данных – достаточно стандартного браузера. Большинство АРМ на предприятиях создается на базе веб-технологий. Более подробно с применением веб-технологий в автоматизации можно познакомиться в одном из последующих разделов.

Выбор инструментальных средств (программного обеспечения) определяется прежде всего конкретными условиями (сложившейся на предприятии структурой информационных потоков, используемым на разных уровнях программным обеспечением, действующими протоколами обмена и т. д.), а также потребностями в информации специалистов и руководителей всех уровней. В зависимости от уже используемых на конкретном предприятии решений, от понимания руководителями предприятия необходимости инструмента для принятия решений формируются и другие требования к готовым коммерческим (COTS – Commercial of the Shelf) продуктам для создания адаптированного к конкретному предприятию инструмента.

Производственные процессы уникальны для каждого предприятия, но подходы к созданию систем управления этими процессами не столь разнообразны. Все последующие разделы книги посвящены производственным процессам и их автоматизации. С чего же начать? Конечно, со стандартов.

## 2.2. А что говорят стандарты?

Для качественного выполнения проектов по созданию автоматизированных систем управления производственными процессами необходимы по крайней мере три следующих блока стандартов, являющихся предметом детального анализа применительно к производственным системам:

- ◆ Стандарты и нормативные документы общеинформационного характера, регламентирующие терминологию предметной области и описывающие структуру подсистем и интерфейсы взаимодействия. По сути, они отражают лишь языковой и частично методологический аспекты моделирования процессов. К таким документам относится методология SADT (методология структурного анализа и проектирования) [5].
- ◆ Документы директивного, руководящего или рекомендательного характера, например ISA-95 (ISA – International Society of Automation) по созданию систем производственного уровня, описывающие терминологию, модели, интерфейсы производственных процессов и соответствующих информационно-управляющих систем поддержки этих процессов.
- ◆ Стандарты и нормативные документы, непосредственно относящиеся к результату, вырабатываемому процессом моделирования, а также стандарты, относящиеся к предметной области – отраслевые стандарты и стандарты предприятий и корпораций [6, 7].

При создании систем типа MES предлагается руководствоваться всей рассматриваемой иерархией документов, регламентирующих (рекомендующих):

- ◆ методологию и инструменты моделирования производственных процессов;
- ◆ основные функции;
- ◆ распределение функций между MES и другими системами;
- ◆ объектно ориентированный подход к созданию систем в различных отраслях.

### **2.2.1. От SADT к стандартам IDEFx при создании комплексных систем**

В настоящее время методология SADT получила широкое распространение либо в виде методологии структурного анализа и проектирования (SADT) компании SofTech, либо как функциональный вариант в версии IDEFO, IDEF1, DFD.

Широкое применение информационных технологий для решения задач бизнеса резко активизировало деятельность по моделированию бизнес-процессов.

Для этого используется семейство стандартов IDEF (Integrated Computer Automated Manufacturing Definition), идея создания которых родилась в середине 70-х годов в BBC США как решение проблемы повышения производительности и эффективности информационных технологий, возникшей при реализации программы ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing). Часть этого семейства из 14 стандартов, относящихся к методам и технологиям создания моделей сложных систем и проектирования компьютерных систем, имеет непосредственное отношение к моделированию производственных и бизнес-процессов:

- ◆ IDEF0 (модель функций);
- ◆ IDEF1 и его расширение IDEF1X (информационная модель и модель данных соответственно);
- ◆ IDEF2 (динамическая модель);
- ◆ IDEF3 (модель процессов);
- ◆ IDEF4 (объектно ориентированные методы проектирования).

Имеется постановление Госстандарта России № 256-СТ от 02.07.2001 г. о принятии и введении в действие основанных на IDEF0 рекомендаций по стандартизации «Р 50-1-028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Методология функционального моделирования» (в рамках комплекса рекомендаций по стандартизации в области CALS-технологий) [8].

### **2.2.2. Общие положения ISA-95**

К стандартам и нормативным документам производственного характера относятся и документы Международного общества по автоматизации (International Society of Automation – ISA). Широко известен стандарт ISA-95, разработанный совместно с ANSI (American National Standards Institute – национальный институт стандартизации США). Первая часть стандарта

появилась в 1995 году и относилась к дискретному производству. С 2000 по 2005 годы было опубликовано несколько основополагающих документов этого стандарта под общим названием ISA-95 – Enterprise-Control System Integration (интеграция систем управления предприятием):

- ◆ ISA-95.00.01-2000, часть 1: Модели и технологии;
- ◆ ISA-95.00.02-2001, часть 2: Атрибуты объектной модели;
- ◆ ISA-95.00.03-2005, часть 3: Модели управления производственными процессами.

Затем последовала серия документов в развитие опубликованных ранее частей стандарта. Последние версии 1-й и 2-й частей стандарта ISA-95 были опубликованы в 2010 году. Эти документы и положены в основу настоящего подраздела.

Стандарт ISA-95 определяет терминологию и модели, используемые в интеграции MES-систем. Следует отметить также, что в отличие от стандарта ISA-88 стандарт ISA-95 охватывает и непрерывное производство.

### **Иерархическая структура системы управления**

Стандарт определяет несколько уровней иерархической структуры системы управления. Эти уровни выполняют различные функции на различных временных отрезках (рис. 4).

Структура системы управления предприятием, предложенная в стандарте, соответствует нашему пониманию иерархии в управлении (см. предыдущий раздел).

Представленные в стандарте модели описывают большинство функций, выполняемых на промышленном предприятии. Чтобы выделить для описания только функции или информацию, относящиеся к производственному процессу, определены следующие критерии:

- ◆ Функция обеспечивает безопасность производственного процесса.
- ◆ Функция обеспечивает надежность протекания производственного процесса.
- ◆ Функция обеспечивает эффективность функционирования производственного процесса.
- ◆ Функция обеспечивает соответствие нормативным производственным документам.

### **Обобщенные функции 3-го уровня (MES)**

Уровень 3 включает в себя следующие функции и виды деятельности:

- ◆ Составление отчетов по цехам/зонам, включая переменные издержки производства.
- ◆ Сбор и хранение данных о выпускаемой цехом/зоной продукции, степени использования оборудования, рабочей силы, сырья, запасных частей и энергоносителей.



- ◆ Сбор данных и проведение анализа в соответствии с требованиями инженерных функций (например, статистический анализ качества, эффективности соответствующих функций управления и т. д.).
- ◆ Функции управления кадрами типа сбора сведений об использовании рабочего времени (длительность, задания и т. д.), составления графиков отпусков, планирования загрузки, развития, повышения квалификации на рабочем месте и т. д.
- ◆ Составление подробного плана производства, включая ремонты, транспортирование материалов и прочие связанные с производством операции.
- ◆ Планирование мер по снижению издержек цехового уровня в условиях соблюдения графика производства, разработанного верхним уровнем (административно-хозяйственным).

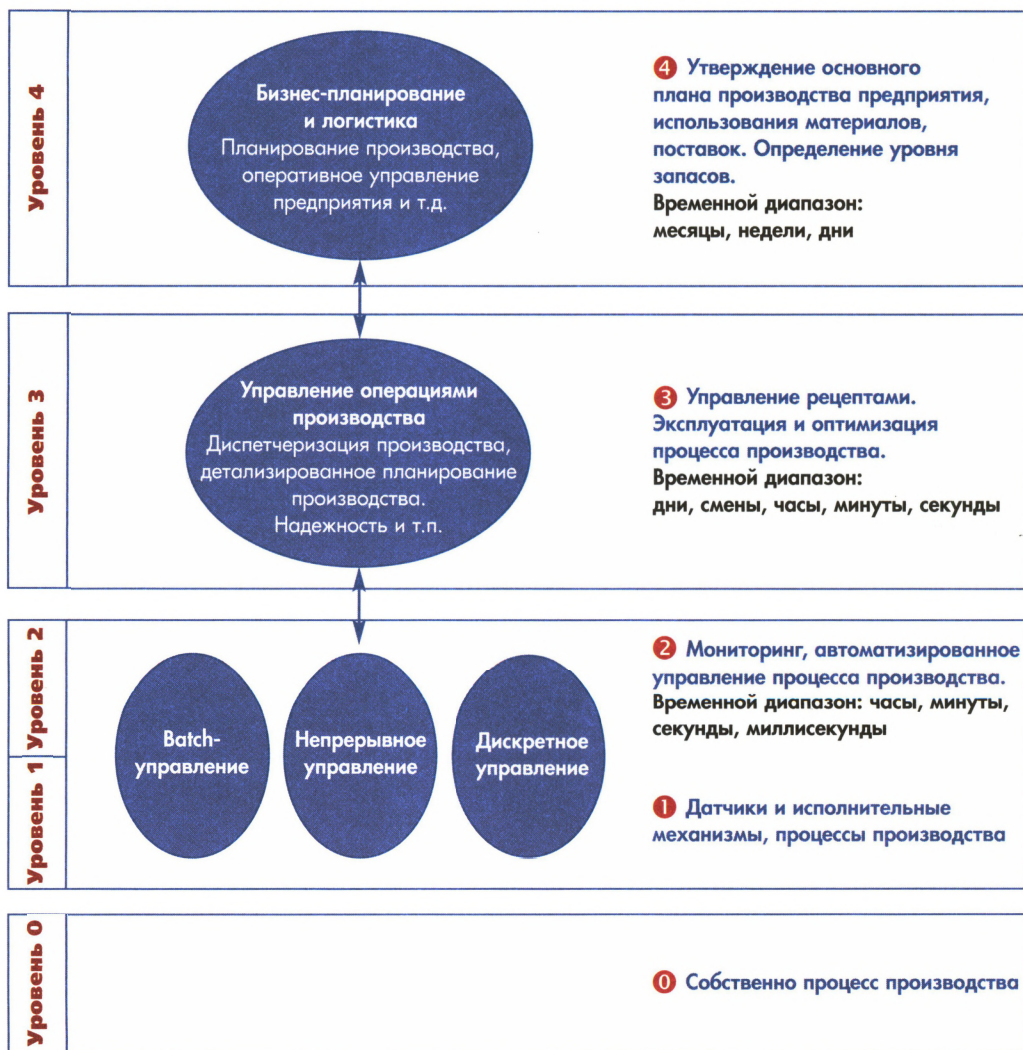


Рис. 4. Функциональная модель

- ◆ Корректировка производственных графиков для компенсации последствий сбоев производства.
- ◆ Управление производственной деятельностью.
- ◆ Управления техническим обслуживанием производственного оборудования.
- ◆ Управление лабораторией и контроль качества.
- ◆ Управление движением и хранением материалов.
- ◆ Преобразование бизнес-ориентированной информации, используемой на 4-м уровне, в информацию, используемую на 3-м и ниже уровнях.

В стандарте ISA-95 приведено описание дополнительных функций, которые могут быть отнесены как к управляющим функциям уровня предприятия, так и к производственным функциям:

- 1. Распределение ресурсов и управление** включает в себя функциональность управления ресурсами, напрямую связанную с управлением производством. Ресурсы могут представлять собой оборудование, инструменты, материалы, людские ресурсы, документы и др. Управление ресурсами может включать также складирование ресурсов, необходимых для выполнения производственных планов. Функции данной области управления позволяют определить готовность оборудования к производству, включая его размещение в требуемом месте. Эти функции ответственны за отображение реального состояния ресурсов и детальной истории их использования.
- 2. Диспетчеризация производства** включает в себя функциональность управления материальными потоками в форме работ, заказов, партий путем распределения нагрузки между персоналом или оборудованием. Информация о распределении ресурсов обычно представлена в виде последовательности, в которой должны быть выполнены работы, и может меняться в соответствии с реальной ситуацией на производстве. В процессе диспетчеризации могут меняться производственные планы с соблюдением основных параметров на основе информации о текущих возможностях производства.
- 3. Сбор и хранение информации** включает в себя функциональность получения оперативных производственных данных, характеризующих производственное оборудование и процессы. Функции этой области управления ответственны за отображение реального состояния производственного оборудования и процессов и детальной истории изменения производственных данных.
- 4. Менеджмент качества** включает в себя функциональность отображения данных реального времени, полученных в процессе производства и анализа, для своевременного контроля качества продукции и выявления проблем, требующих внимания. На основе предоставленной информации возможно своевременное решение возникающих проблем. Менеджмент качества включает также статистическое управление технологическим процессом и качеством (SPC/SQC - Statistical Process Control/Statistical Quality Control), автономный анализ производственных операций и анализ на базе лабораторной информационной системы (LIMS).

5. **Процесс управления производством** включает в себя функциональность мониторинга производства и автоматическое и автоматизированное (предложение операторам решений для изменения процесса) управление. Процесс включает также выдачу предупреждений персоналу об изменениях процесса производства, превышающих допустимые границы.
6. **Производственное планирование и отслеживание** включает в себя функциональность формирования производственного плана и отображения состояния производства и распределения работ. Информация о состоянии может включать информацию о назначении персонала на работу, о материалах, используемых в производстве, о текущих условиях производства и другую информацию, относящуюся к производству. Функциональность этого вида деятельности позволяет также отслеживать историю использования каждого материала до конечного продукта, полученного из этого материала.
7. **Анализ технических характеристик** включает в себя функциональность отображения поминутной отчетности по результатам выполнения производственных операций и сравнение плановых показателей с фактическими показателями за прошлые периоды. Результаты анализа технических характеристик включают такие показатели, как использование ресурсов, доступность ресурсов, время производственного цикла, соответствие плану, соответствие стандартам. Анализ технических характеристик может включать анализ статистического управления технологическим процессом и качеством и может оперировать информацией, полученной в процессе выполнения других функций.
8. **Детальное планирование** включает в себя функциональность отображения установленных последовательностей приоритетов, атрибутов, характеристик и производственных планов, связанных со спецификой изделий и технологией производства. При составлении детального плана представляется возможным отслеживать параллельную загрузку и сверхзагрузку оборудования для того, чтобы рассчитать точное время загрузки оборудования и контролировать соответствие регламентам.
9. **Ведение документооборота** включает в себя функциональность отображения форм документации, характеризующих производственно-хозяйственную деятельность. Формы могут быть в виде рабочих инструкций, рецептов, программ обработки материалов, отчетов о работе смены. Предоставляется возможность сравнивать плановые показатели с фактическими. Инструкции направляются в производство, включая предоставление данных операторам или заданий управляющему оборудованию.
10. **Управление персоналом** включает в себя функциональность предоставления информации о персонале с поминутным интервалом. Функции включают отслеживание времени работы и присутствия персонала на рабочих местах, сертификацию и позволяют выделить не прямые обязанности, выполняемые персоналом, такие как подготовка материалов, с целью начисления зарплаты на основе реального времени работы. Используя эту информацию, можно оптимизировать работу персонала.
11. **Управление техобслуживанием производства** включает в себя функциональность обслуживания оборудования и производственных инструментов. Функции гарантируют доступность оборудования для производства. Предусмотрена возможность составления графиков периодических и предупредительных ремонтов, предоставление информации о проведенных ремонтах.

Приведенные выше дополнительные функции есть не что иное как **11 типовых обобщенных функций MES-систем**, которые определила Международная ассоциация производителей систем управления производством (MESA International). Все они вошли в стандарт ISA-95.

Описанное деление функций позволяет на начальном этапе обследования предприятия при внедрении MES-системы выделить области деятельности, которые могут быть обследованы достаточно самостоятельно. Тем самым становится возможным поэтапное внедрение MES-системы, что минимизирует усилия на последующую интеграцию выделенных областей.

### Модель информационных потоков

Функциональная модель информационных потоков (потоков данных) представлена на рис. 5. Толстая пунктирная линия представляет собой границу раздела между функциями 3-го и 4-го уровней иерархической модели. Линии со стрелками обозначают наиболее важные информационные потоки управления производством.

На основе информации о принятых заказах от потребителей вырабатывается производственный заказ (1–2), являющийся основанием для разработки плана производства (2–3). Информация о производственных мощностях необходима для подготовки плана (3–2). Расчет себестоимости продукции производится на базе информации о затратах производства (3–8). В целях управления отгрузкой плановые показатели должны быть известны на складе готовой продукции (2–7). В свою очередь, информация о готовой продукции на складе необходима для планирования производства (7–2).

Для производства необходимы материалы и энергия (2–4). Запросы на техническое обслуживание оборудования обеспечиваются информационным потоком (3–10). Информация о

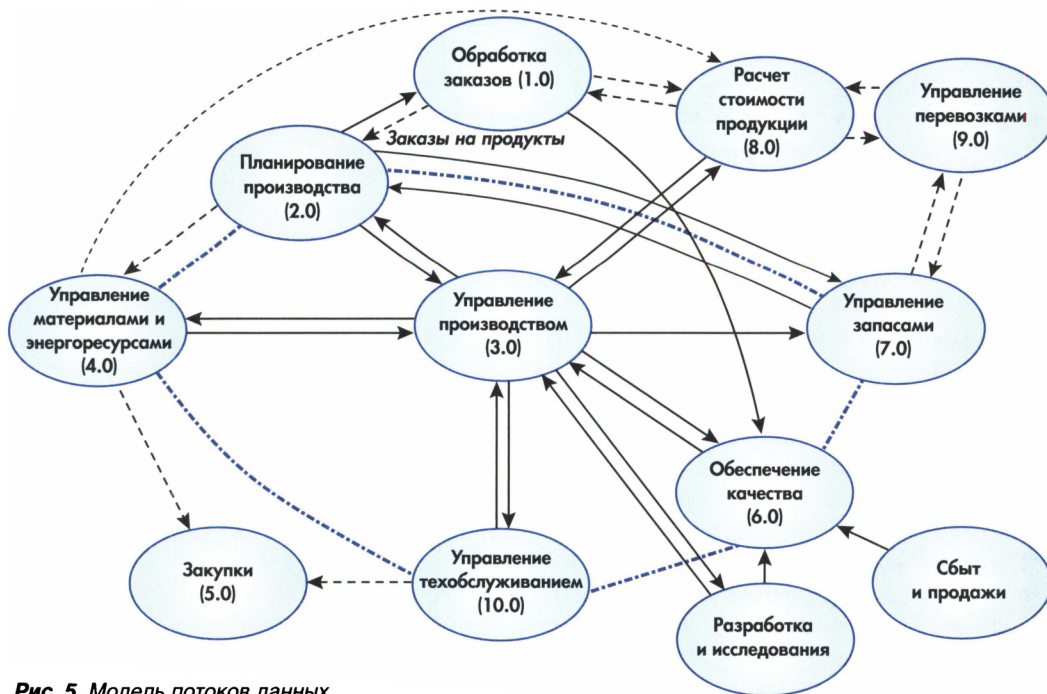


Рис. 5. Модель потоков данных



выполнении запроса на техническое обслуживание доводится до сведения заказчика (10–3). На основе данных о производстве (3–6) осуществляется контроль качества. Результаты этого контроля являются основанием для управления производством (6–3).

Думается, нет необходимости продолжать описание представленных на рис. 5 информационных потоков. В действительности этих потоков гораздо больше. Следует лишь отметить, что структура модели не отражает организационную структуру предприятия. Речь идет об организационной структуре функций. Разные предприятия могут распределять функции между различными структурными подразделениями.

## Модель управления производственными операциями

Операции по управлению производством включают в себя деятельность, которая может быть выполнена физическим оборудованием, человеческими усилиями и информационными системами (рис. 6).

В стандарте действия по управлению производственными операциями разделены на четыре основных категории:

- ◆ управление производственной деятельностью;
- ◆ управление техническим обслуживанием;
- ◆ управление качеством;
- ◆ управление запасами.

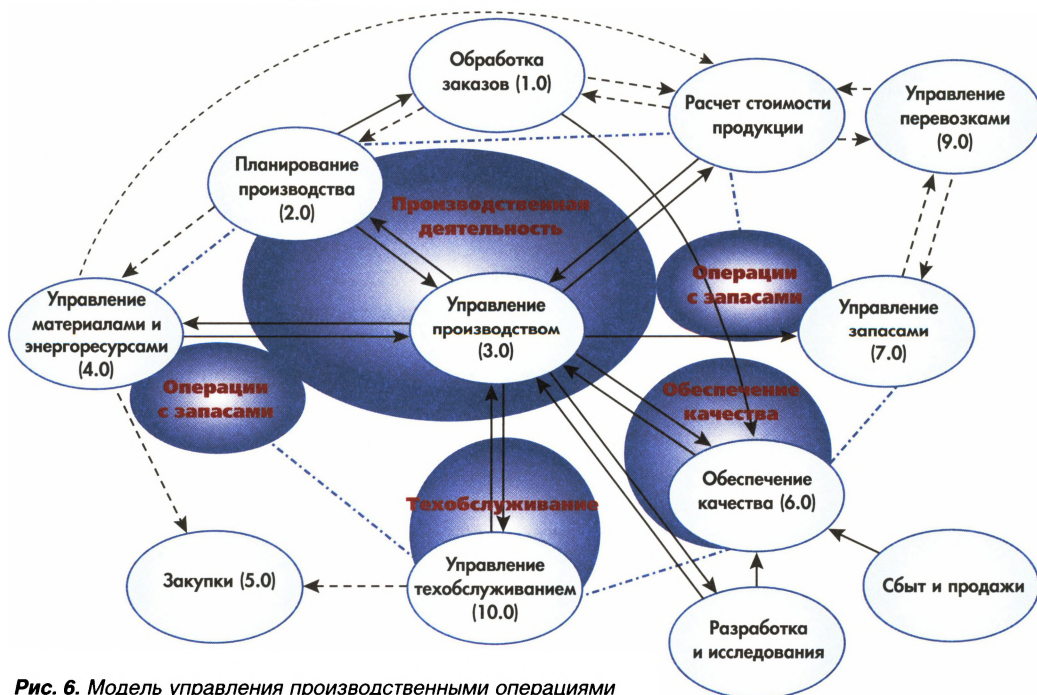


Рис. 6. Модель управления производственными операциями

На рис. 6 эти категории (области) управленческой деятельности отмечены цветом (штриховкой). Именно эти категории и моделируются в 3-й части стандарта:

1. Модель управления производственной деятельностью включает в себя деятельность по управлению собственно производством (3) и подмножество планирования производства (2).
2. Модель управления техническим обслуживанием включает в себя деятельность по управлению техническим обслуживанием (10).
3. Модель управления качеством включает в себя деятельность по обеспечению качества (6).
4. Модель управления запасами включает в себя деятельность по управлению запасами, в том числе материалами и продуктами (7), и деятельность по управлению энергоресурсами (4).

Таким образом, на рис. 6 представлены виды управленческой деятельности, отнесенные стандартом к производственному уровню.

Например, деятельность по управлению техническим обслуживанием включает следующие функции:

- ◆ Обеспечение превентивного, предупредительного технического обслуживания.
- ◆ Обеспечение оборудованием для мониторинга и предупреждения неисправностей, включая и диагностическое оборудование.
- ◆ Определение затрат на техническое обслуживание и составление отчетов о затратах на выполненные работы.
- ◆ Координация и мониторинг работ по контракту.
- ◆ Сопровождение затребованного технического обслуживания.
- ◆ Отчетность о выполненном техническом обслуживании, включая используемые запасные части, персонал и расходы.
- ◆ Координация запланированных работ с операторами и вышестоящим руководством.
- ◆ Обеспечение выполнения проверок производственного оборудования.
- ◆ Оказание поддержки при переходе на новую продукцию, которая влечет смену оборудования.
- ◆ Мониторинг и обновление файлов истории технического обслуживания.

Деятельность по обеспечению качества подразумевает реализацию следующих функций:

- ◆ Тестирование и проверка качества материалов (сырье, конечная и промежуточная продукция).

- ◆ Контроль возможностей оборудования для удовлетворения целей по качеству.
- ◆ Сертификация качества продукции.
- ◆ Установка стандартов качества продукции.
- ◆ Установка стандартов качества для персонала (сертификация и обучение).
- ◆ Установка стандартов для оборудования контроля качества.

На предприятии могут быть и другие виды деятельности, не рассматриваемые в данном стандарте.

Следовательно, под категорией можно понимать вид (виды) деятельности, представленный определенным набором функций, свойственных промышленному предприятию, его технологическому процессу.

Настоящий стандарт использует следующую иерархию: категория производственных операций – виды деятельности – набор детальных функций или задач. Типовая модель, представленная на рис. 7, относится к видам деятельности.

Типовая модель распространяется на четыре категории, перечисленные выше.

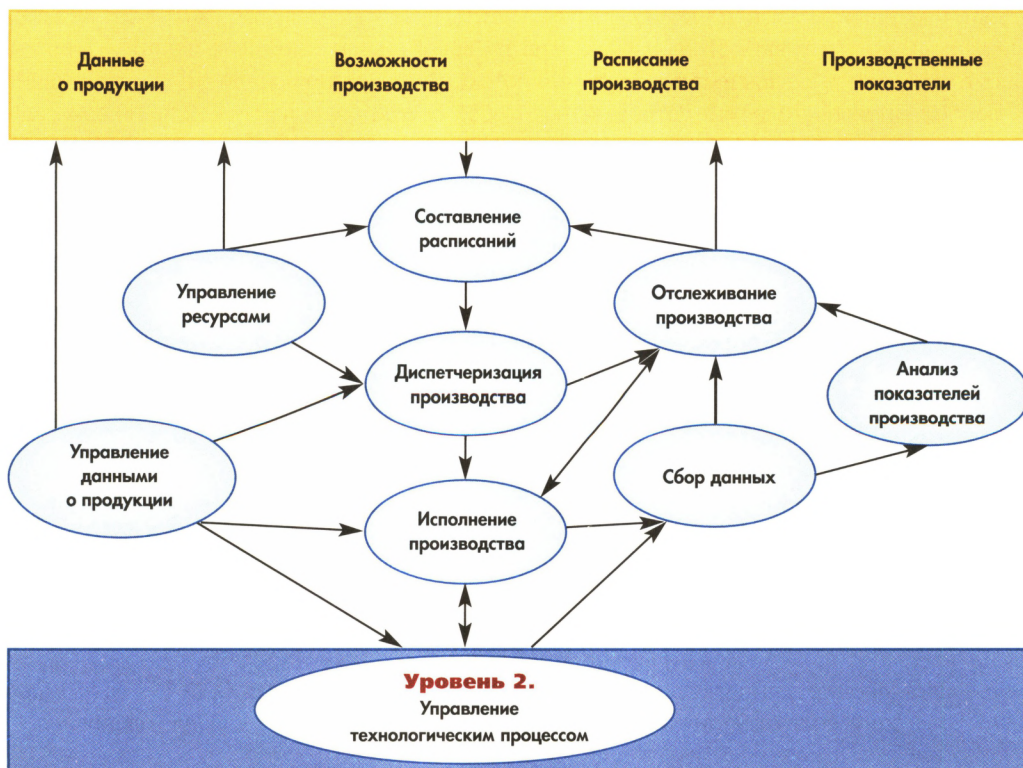


Рис. 7. Обобщенная модель производственной деятельности для категорий управления производством

Структура модели и категории не отражают организационную структуру предприятия, а представляют собой модель деятельности. Различные предприятия могут возложить обязанности по категориям, видам деятельности или отдельным функциям на различные организационные группы (подразделения).

Тем не менее такая же модель может быть создана и для других возможных категорий производственных операций.

Из рис. 7 видно, что в рамках категории к производственной деятельности относятся определение ресурсов, данные о продукции, диспетчеризация, отслеживание, сбор данных, анализ, подробное планирование и исполнение управления.

Обобщенная модель производственной деятельности определяет общий контур управления производством, который начинается с плана-графика. Затем происходит его преобразование в подробный план, в соответствии с которым осуществляется управление выполнением работ, сбор данных и преобразование собранных данных в ответную информацию.

Типовая модель производственной деятельности и подробные модели, рассмотренные в стандарте, не предназначены для фактического внедрения в производственные информационные системы. Однако они служат последовательной основой для таких систем. Цель этих моделей состоит в том, чтобы идентифицировать возможные потоки данных в рамках производственных категорий.

Овалы в модели указывают на виды деятельности, линии со стрелками указывают на потоки информации, которой обмениваются между собой различные виды деятельности. На рис. 7 отображены не все информационные потоки. В конкретной реализации информация о любой деятельности может потребоваться любой другой деятельности. Есть информационные потоки и между различными категориями.

При рассмотрении типовой модели речь не идет об организационной структуре системы, о структуре программного обеспечения или персонала. Модель предназначена для идентификации видов деятельности, для определения ролей, связанных с видами деятельности. Модель определяет то, что должно быть сделано, а не как это должно быть организовано. Различные подходы к организации предприятия влекут за собой и различное распределение ролей персонала или систем.

Рассмотренные в стандарте производственные модели являются обобщенными. Разграничение ролей (полномочий) между третьим и четвертым управленческим уровнем определяет само предприятие исходя из конкретной ситуации: сложившейся на предприятии сетевой инфраструктуры, ролевых функций специалистов и руководителей, количества работающих и многого другого. Таким образом, граница между тем, какие из операций по управлению производством, техническим обслуживанием, качеством и запасами выполняются персоналом 3-го уровня и персоналом 4-го уровня, не является инвариантной.

Рис. 8 наглядно это подтверждает. На рисунке пунктирные линии А, В, С, D, Е – возможные линии разграничения ответственности между персоналом 3-го и 4-го уровня управления.





Рис. 8. Возможные границы ответственности персонала 3-го и 4-го уровня

Каждому предприятию, решившемуся на внедрение модулей MES-уровня, еще предстоит определить эти границы в процессе обследования сложившихся информационных потоков. Даже на однотипных предприятиях эти границы могут быть различными – каждое конкретное предприятие действительно уникально. Но это совсем не означает, что надо отказаться от поиска унифицированного подхода к автоматизации производственной деятельности. И эта книга – яркое тому подтверждение. А кто ищет, тот всегда найдет.

## Выводы

Стандарт ISA-95 описывает большинство функций, реализуемых при управлении промышленными предприятиями, выстраивает иерархию видов деятельности, участвующих в управлении производством.

Модель информационных потоков предназначена для того, чтобы выработать общее понимание функций и потоков данных, участвующих в обмене информацией.

Модель управления производственными операциями является формальной и устанавливает общую терминологию для элементов обмена информацией. Все функции сгруппированы по видам деятельности и категориям.

Обобщенная модель управления производственными операциями определяет стандартный шаблон, который может быть применен к различным категориям управления.

В стандарте ISA-95 подчеркивается, что ни модель управления производственными операциями (категории), ни обобщенная модель производственной деятельности в рамках опре-

деленной категории не затрагивают организационную структуру предприятий. Речь идет лишь об идентификации видов деятельности, об определении ролей, связанных с видами деятельности, об организации функций, связанных с управленческой деятельностью. Каждое предприятие может распределять описанные функции между различными подразделениями в соответствии с организационной структурой.

Цель стандарта состоит в том, чтобы сократить риск, стоимость и ошибки, связанные с внедрением систем управления производственными операциями.

Каждый вид деятельности, описанный в стандарте, представляет собой набор действий, выполняющихся на производстве в ответ на требования бизнес-уровня. Это значит, что программные продукты класса MES должны иметь модули, способные реализовать функциональность, необходимую для ответа на эти требования.

### 2.3. От видов деятельности к производственным процессам и MES

Функционирование промышленного предприятия представляет собой реализацию целого ряда видов деятельности, осуществляемых различными структурными подразделениями. Некоторые виды деятельности относятся к прерогативе третьего (MES) уровня – управление собственным производством, управление техническим обслуживанием, управление качеством и т. д.

Обязанности по реализации различных видов деятельности каждое предприятие возлагает на структурные подразделения или группы в соответствии со сложившейся организацией.

Каждый вид деятельности представляет собой набор функций, которые реализуются персоналом в некоторой последовательности (как правило, типовой). Правила реализации функций прописаны в нормативно-регламентной базе.

Итогом осуществления любого вида деятельности является результат, направленный на достижение стратегической цели предприятия.

Для реализации контроля за ходом деятельности и полученными результатами руководством предприятия назначаются руководители, которые управляют вверенными им видами деятельности в случае отклонения полученного результата от заданного.

Из всего сказанного выше вытекает, что каждый вид деятельности предприятия можно представить в виде **рабочего процесса**, направленного на реализацию определенного набора функций в соответствии с нормативно-регламентной базой и имеющего целью достижение результата.

Итак, мы вплотную подошли к понятию **процессного подхода** к управлению. Сегодня уже можно утверждать, что процессный подход – это та база, которая необходима современной компании для выживания в условиях обострения конкуренции, для быстрого реагирования на изменения динамичной окружающей среды.

Наибольшую трудность в понимании, что такое процессный подход к управлению, вызывает само понятие «процесс». В русском языке это слово имеет слишком много значений и от-

тенков. В терминах стандарта ISO 9000:2000 процесс – это совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующая входы в выходы [9].

Это определение носит общий и неконкретный характер. Ситуация проясняется в другом определении, авторами которого являются М. Хаммер и Д. Чампи [10], создатели технологии реинжиниринга бизнес-процессов. В соответствии с этим определением, бизнес-процесс – это совокупность различных видов деятельности, в рамках которой на входе используется один или более видов ресурсов и на выходе создается продукт, представляющий ценность для потребителя.

Не будем утверждать, что это самое удачное определение процесса. Сегодня в периодической прессе можно найти еще десяток определений. Но в определении М. Хаммера и Д. Чампи содержатся основные компоненты - виды деятельности, ресурсы и результат, имеющий ценность для потребителя.

В рамках процессного подхода к управлению, который рассматривает предприятие как систему взаимосвязанных процессов (стандарт ISO 9001:2000), понятие бизнес-процесса является центральным.

Бизнес-процесс состоит из последовательности операций (функций), которые выполняют сотрудники предприятия для достижения цели бизнес-процесса. Функция бизнес-процесса, в свою очередь, может представлять собой отдельный бизнес-процесс. Таким образом, существует некоторая иерархия бизнес-процессов.

Каждый бизнес-процесс должен включать в свой состав целый ряд ключевых понятий (рис. 9):

- ◆ входы процесса;
- ◆ выходы процесса;
- ◆ потребитель;
- ◆ хозяин процесса;
- ◆ ресурсы;
- ◆ нормативно-регламентная база;
- ◆ показатели эффективности.

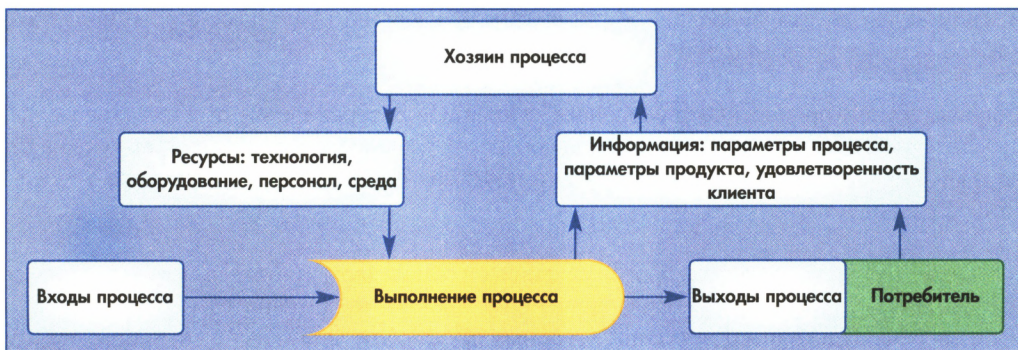


Рис. 9. Упрощенная схема процесса

Под **входами процесса** понимаются данные о сырье, продукции и т. д., которые преобразуются в выходы процесса в ходе его выполнения. Часто выходы одного процесса являются входами для другого.

**Выходы процесса** – это информация о продукции или услуге, ради которых существует процесс.

**Потребитель** – потребитель результатов процесса, степень удовлетворенности которого предназначена для оценки эффективности процесса.

**Хозяин (владелец) процесса** – должностное лицо, несущее ответственность за ход и результаты процесса. Владелец процесса является обязательным атрибутом бизнес-процесса, поскольку в противном случае процесс будет неконтролируемым.

**Владелец процесса** – это роль должностного лица. Владельцами производственных процессов назначаются в соответствии с организационной структурой главные специалисты и руководители предприятия. Распределение ролей между должностными лицами, предписанное организационной структурой предприятия, представляет собой так называемую **ролевую модель**.

**Ресурсы** выделяются в распоряжение хозяина процесса для его проведения. Они могут включать в себя как оборудование (производственное, контрольно-измерительное, офисное и др.), так и персонал, помещения, транспорт, связь, вспомогательные материалы, финансы, документацию.

Владелец процесса наделяется соответствующими правами. Наряду с этим он, и только он один, несет ответственность за эффективность процесса – это одно из незыблемых правил процессного подхода к управлению.

**Нормативно-регламентная база** – это документы, регламентирующие работу бизнес-процесса, должностные инструкции, методики. На каждую операцию внутри процесса разрабатывается рабочая инструкция, которая подробно описывает, каким образом осуществляются работы внутри операции, как используется оборудование и программное обеспечение.

**Показатели эффективности** – характеристики (информация), по которым хозяин процесса и высшее руководство могут судить о том, насколько эффективно выполняется процесс и достигаются ли запланированные результаты. В качестве таких показателей выступают ключевые показатели эффективности (КПЭ).

Образно говоря, процессное управление – это четкое распределение ответственности, ресурсов и информации для принятия управленческих решений, прозрачная отчетность на базе ключевых показателей эффективности, а также заинтересованность персонала в результатах своей работы.

В стандартах и периодической прессе закрепился общий термин «бизнес-процесс». Так как настоящая книга посвящена производственному уровню, то применительно к нему в дальнейшем речь будет идти о **производственных процессах**. Они могут быть частью «сквозных» бизнес-процессов предприятия или ограничиваться рамками производственного уров-

ня. Соответственно, все ключевые понятия бизнес-процессов в равной степени относятся и к производственным процессам.

Можно выделить несколько основных производственных процессов, свойственных промышленным предприятиям. В соответствии со стандартом ISA-95, к ним относятся: процесс управления собственно производством, процессы управления ресурсами, например управления техническим обслуживанием, процесс управления энергоресурсами и др. Процесс управления производством включает процессы оперативного планирования, диспетчеризации, управления качеством.

Этими процессами, естественно, не ограничивается перечень производственных процессов конкретного предприятия. Специфика предприятий обуславливает и другие виды деятельности, а значит, и другие производственные процессы. Количество процессов зависит от особенностей технологической схемы производства, количества работающих и оргструктуры предприятия.

О функциях управления некоторыми видами деятельности (производственными процессами) уже говорилось в предыдущем разделе. А сейчас поподробнее остановимся на управлении процессом собственно производством. В соответствии со стандартом ISA-95, функции управления производством охватывают большинство функций, связанных с производственными операциями и управлением.

Функции управления производством обычно включают в себя:

- ◆ управление процессом преобразования сырья в конечный продукт в соответствии с планом производства;
- ◆ осуществление инженерной деятельности и корректировка планов;
- ◆ предоставление отчетов о выпуске продукции и о затратах;
- ◆ оценка ограничений производственных мощностей и качества;
- ◆ самотестирование и диагностика производственного и управляющего оборудования.

Управление производственными операциями – это набор функций управления всеми производствами в пределах завода или цеха:

- ◆ производство продукции в соответствии с планом и номенклатурой;
- ◆ отчетная информация по производству продукции и ресурсам;
- ◆ мониторинг оборудования, измерительной аппаратуры и определение потребности в техническом обслуживании;
- ◆ подготовка оборудования для технического обслуживания и его возврат в эксплуатацию после ремонта;
- ◆ выполнение диагностики и самодиагностики производственного и управляющего оборудования;
- ◆ балансировка и оптимизация производства в рамках завода или цеха.



Внимательно ознакомившись с вышеперечисленными функциями, можно обнаружить целый ряд функций, свойственных диспетчеризации производства. Таким образом, диспетчеризация – один из основных производственных процессов в рамках управления производством. Процессу диспетчеризации свойственны все атрибуты производственного процесса – входы, выходы, показатели эффективности, наличие владельца.

Цель (выход) у каждого производственного процесса своя. Например, для процесса управления техническим обслуживанием целью может быть выполнение планово-предупредительного ремонта в заданный срок и с запланированными затратами, для процесса управления качеством – выпуск продукции, соответствующей стандарту предприятия, и т. п.

Прочитав все вышесказанное по поводу процессного управления, многие читатели могут задать справедливый вопрос: «Почему предприятия, применяя устаревшие подходы в управлении, не соответствующие требованиям ISO, до сих пор находят сбыт своей продукции и успешно ведут свой бизнес? Зачем тогда что-то менять в системе управления, например внедрять процессный подход и другие требования ISO?»

Ответ достаточно прост: в России пока заметное число предприятий находится на одном (одинаково низком) уровне развития своих систем управления. В этой ситуации прямые конкуренты, как правило, качественных преимуществ друг перед другом не имеют.

О преимуществах не спорят – так отреагировали западные компании на процессный подход к управлению, появившийся около 20 лет назад. Сейчас практически все компании наиболее развитых стран завершили переход на процессное управление и внедрили системы класса workflow (управление потоками работ) для интеграции своих ресурсов.

В России процессный подход пока не получил такого широкого распространения. Да, внедрение процессного подхода требует пересмотра устоявшихся взглядов на принципы управления, изменения иерархической структуры предприятия, ломки стереотипов. Именно это обычно и считается причиной тех проблем, с которыми сталкиваются российские предприятия в попытках перехода на процессное управление. К тому же есть множество неуспешных примеров его внедрения (30–70 процентов попыток внедрения по различным данным).

Авторы не ставят перед собой задачу агитации читателя за процессный подход к управлению. Каждый решает для себя эту проблему сам. Но если руководство предприятия согласно с репликой «Качественная продукция? Зачем? Берут любую!», то ему не надо ломать голову над внедрением процессного подхода. В таком случае лучше внедрять систему CRM (CRM – система, нацеленная на совершенствование работы с клиентами, а не производства).

Процессный подход изначально нацелен на совершенствование производства. Не случайно одним из основополагающих принципов этого подхода является ориентация на потребителя. А сам стандарт ISO 9001:2000, рассматривающий предприятие как систему взаимосвязанных процессов, называется «Системы менеджмента качества. Требования» (рис. 10).

Согласно этому стандарту организация должна:

1. Выявить процессы, необходимые для системы менеджмента качества и их применения внутри организации.
2. Определить последовательность этих процессов и их взаимосвязь.
3. Определить критерии и методы, необходимые для обеспечения уверенности в результативности как самих процессов, так и их управления;
4. Обеспечить уверенность в наличии ресурсов и информации, необходимых для поддержки хода реализации этих процессов и их мониторинга.
5. Наблюдать, измерять и осуществлять анализ этих процессов.
6. Проводить мероприятия, необходимые для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения этих процессов.

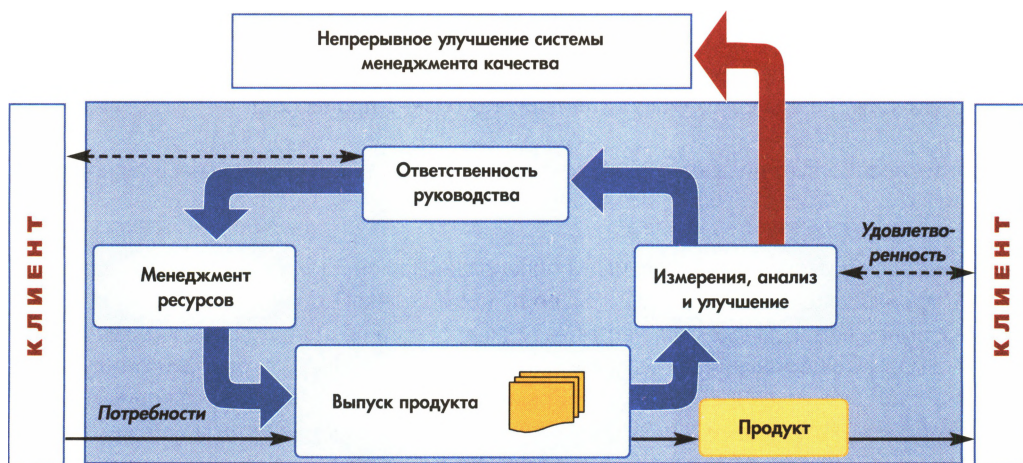


Рис. 10. Модель системы менеджмента качества, основанная на системном подходе

Применение процессного подхода рассматривается в мире как одно из ключевых условий успешного функционирования организации, как одна из базовых концепций современного менеджмента.

Не случайно внедрение процессного подхода является ключевым требованием стандарта ISO 9001 (п. 1). Считается, что если организации удалось ввести процессный подход по-настоящему, то можно сказать, что 90 процентов соответствия требованиям стандарта ISO 9001 уже достигнуто. Все остальное – локальные вопросы, которые могут быть решены владельцами процессов.

Среди преимуществ процессного подхода можно отметить:

- ◆ Прозрачность процессов за счет их описания и разумной формализации.
- ◆ Ориентированность на клиента.

- ◆ Нацеленность на результат.
- ◆ Гибкость, более оперативное принятие решений, проведение инноваций в связи с изменением внешней среды.
- ◆ Предоставление возможности руководителям заниматься своими прямыми обязанностями – организацией эффективного управления и стратегией развития, а не «текучкой».
- ◆ Стиль управления – делегирование полномочий и наделение ответственностью.
- ◆ Четкая система единоначалия – один руководитель сосредотачивает в своих руках руководство всей совокупностью операций и действий по процессу, направленных на достижение поставленной цели и получение заданного результата.
- ◆ Возможность построения эффективной системы мотивации, направленной на максимальный учет результатов работы.
- ◆ Не критичность для компании смены работников, поскольку есть механизм передачи знаний новым сотрудникам (регламенты бизнес-процессов).

Все это и способствует повышению эффективности, подтвержденной ключевыми показателями (КПЭ).

*Информация к размышлению.* Россия – полноправный член ВТО. Российским предприятиям, как производящим продукцию на экспорт, так и целиком ориентированным на национальный рынок (который уже стал частью международного по общим правилам для стран – членов ВТО), **уже необходимо** подтверждение соответствия своей продукции международному стандарту качества ISO 9001:2000. Всем отечественным предприятиям придется этот сертификат получать. Кстати сказать, у многих предприятий он уже есть. Но его каждые три года надо подтверждать. Соответствующий орган находится за границей, поэтому рассчитывать на привычный для русского менталитета способ получения и подтверждения сертификатов и лицензий не приходится. Но так думают «там», а в России на этот счет есть собственное мнение.

В начале второго раздела (раздел 2.1) MES-уровень рассматривался прежде всего как интеграционный. Речь шла о создании единого информационного пространства предприятия. С этой целью для сбора данных необходимо было организовывать доступ к различным источникам информации, имеющимся на предприятии (SCADA-системам, DCS, контроллерам, LIMS и т. п.). Для хранения собранных данных и их обработки требовалось ведение архива (БД). Для связи с верхним уровнем (ERP) и другими сторонними системами нужна была поддержка интерфейсов взаимодействия.

Вышеперечисленные функции, список которых можно продолжить, являются базовыми (не специализированными) и свойственны производственному уровню в целом. Все это – желаемая информационная инфраструктура, которую многие предприятия на сегодняшний день уже имеют. Но это не полноценная MES-система, так как она еще не наделена собственно производственными функциями.

Так где же заканчивается оболочка и начинается ядро, обслуживать которое и призваны MES-системы? Стандарт ISA-95 четко проявил основные функции (производственные процессы), входящие в компетенцию MES-систем.

Однако функционал MES очень широк. Нельзя сделать все сразу – надо выделить приоритетные задачи. С другой стороны, из того перечня одиннадцати функций, что предлагает ISA-95 (MESA), на предприятиях какая-то часть уже может оказаться реализованной. Одни функции закрывает ERP-система, другие – собственные разработки.

Да, решать одновременно все проблемы нельзя, но надо, по крайней мере, видеть все потенциальные области применения создаваемой системы управления производством. А увидеть их желательно уже на стадии обследования предприятия. Именно обследование должно стать той базой для обоснования подходов и способов решения конкретной проблемы и обеспечить комплексное видение всей совокупности вопросов, касающихся целесообразности построения MES-системы.

Конкретные задачи, которые нужно в первую очередь решать на уровне MES, во многом зависят и от специфики предприятия. Для производственных предприятий, а именно о них и идет речь в книге, часто первостепенными задачами становятся мониторинг и диспетчеризация.

Поводя итог, следует отметить, что, наряду с интеграционными функциями, третий уровень иерархической структуры управления предприятием начинает играть полноценную роль управленческого уровня – уровня управления производственными процессами, автоматизации которых и будут посвящены последующие главы книги.

## **2.4. Оценка эффективности промышленных предприятий**

### **2.4.1. Применение KPI – прямой путь к повышению эффективности предприятия**

Авторы отдают себе отчет в том, что аббревиатура KPI (Key Performance Indicators – ключевые показатели эффективности, КПЭ) хорошо знакома большинству читателей. Есть понимание и того, что оду этому инструменту можно петь бесконечно. Однако умолчать об этом чрезвычайно эффективном методе управления в данной книге просто невозможно.

Традиционное измерение эффективности деятельности предприятия, опирающееся только на финансовые показатели, полученные из систем бухгалтерского учета, устарело и не дает полной картины состояния предприятия, не позволяет построить точный прогноз его развития.

В настоящее время наиболее популярной и признанной в мире концепцией управления реализацией стратегии компании является сбалансированная система показателей (ССП, Balanced Scorecard – BSC). История создания этой концепции уходит в начало 90-х, а ее авторами считаются Д. Нортон и Р. Каплан (США).

ССП – это механизм последовательного доведения до персонала стратегических факторов успеха, целей компании и контроль их достижения через ключевые показатели эффективности. Основной принцип, положенный в основу ССП: управлять можно только тем, что можно измерить. И КПЭ являются, по сути, измерителями достижимости целей, а также характеристиками эффективности бизнес-процессов и работы каждого отдельного сотрудника. Поэтому ССП – инструмент не только стратегического, но и оперативного управления.

В концепции ССП определены четыре основных аспекта деятельности компании – четыре группы стратегических целей, достижение которых оценивается ключевыми показателями (рис. 11):

- ◆ финансовая;
- ◆ клиентская;
- ◆ внутренние бизнес-процессы;
- ◆ обучение и развитие.



**Рис. 11.** Четыре группы стратегических целей ССП

Не углубляясь в теорию ССП, следует лишь подчеркнуть, что среди групп целей совершенно естественно находится и группа, относящаяся к производству. ССП способствует предпринятию в оптимизации собственных бизнес-процессов и связывает эти бизнес-процессы со стратегией, так как эффективность основных бизнес-процессов определяет показателями эффективности предприятия в целом.

Внедрение ССП помогает предприятию:

- ◆ «связать» стратегию и тактику – стратегические цели компании с бизнес-процессами и повседневными действиями сотрудников;
- ◆ с помощью КПЭ оценивать:
  - а) результаты деятельности с точки зрения реализации стратегии, достижения стратегических целей;
  - б) эффективность бизнес-процессов, подразделений, включая отдельных сотрудников, а также всего предприятия в целом;
- ◆ более четко прогнозировать, а при умелом использовании и упреждать возникновение проблем.



Распределение КПЭ по уровням организационной структуры гарантирует, что деятельность на каждом уровне компании происходит согласно целям предприятия, определенным руководством. Соответствие КПЭ целям предприятия в свою очередь повышает управляемость организацией в целом.

Итак, КПЭ – это измерители, показывающие степень достижения стратегических и оперативных целей предприятия. Однако это и средство для оценки результативности и эффективности бизнес-процессов. Наконец, КПЭ являются также и инструментом измерения работы каждого отдельного сотрудника, создающим, таким образом, эффективную систему мотивации и стимулирования сотрудников компании.

Основные требования к КПЭ:

- ◆ ограниченное количество;
- ◆ единство для всей организации;
- ◆ измеримость, возможность дать показатель в цифровом выражении;
- ◆ прямая связь с важнейшими факторами успеха;
- ◆ подконтрольность, т. е. возможность влиять на факторы;
- ◆ стимул для сотрудников.

Количество КПЭ должно быть ограниченным (для реальности их выполнения и качества мониторинга). По рекомендации многих специалистов, нужно использовать от 10 до 20 показателей, не более. При большом числе показателей система отчетности становится тяжелым и неповоротливым инструментом. Кроме того, выбранные КПЭ должны стимулировать сотрудников на осуществление соответствующих действий.

Основные функции КПЭ:

- ◆ выявление закономерностей развития бизнеса в целом и отдельных его бизнес-процессов;
- ◆ предоставление менеджменту базы данных для поиска узких мест в бизнесе;
- ◆ помощь в принятии управленческих решений;
- ◆ представление в доступной и наглядной форме влияния того или иного процесса на результат;
- ◆ оценка работы каждого сотрудника и структурного подразделения;
- ◆ мотивация людей на достижение результатов;
- ◆ содействие разработке адекватной системы обучения, направленной на повышение профессионализма.

Система ключевых показателей эффективности – это инструмент информационного обеспечения процесса принятия управленческого решения. Поэтому система КПЭ должна не только обеспечить расчет показателей в цифровой форме, но и предусмотреть возможность их интерпретации с целью выявления узких мест в производственном процессе.

**Внедрение системы КПЭ** – процесс достаточно болезненный, требующий не только времени, но и последовательности, а также уверенности в правильности выбранного шага. Каплан и Нортон в своей работе «Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию» указывали, что 16 недель – достаточный срок для установления работающей сбалансированной системы показателей с использованием КПЭ. Но в России эти 16 недель часто выливаются в 16 и более месяцев. А кто-то вообще сказал, что КПЭ – это образ жизни, а не разовое мероприятие.

Основой для разработки КПЭ являются стратегические цели компании и бизнес-модель (организационная структура и ключевые бизнес-процессы).

Для достижения поставленных целей необходимо решить определенный комплекс задач. Например, необходимо увеличивать мощности, инвестировать в улучшение технологий, повышать качество продукции, изменять ассортимент продуктов, сокращать расходы на сырье, снижать трудозатраты, уменьшать управленческие расходы, повышать производительность труда и т. п. Эти задачи и обуславливают конкретные показатели эффективности, которые позволяют идентифицировать изменения в компании и служат подтверждением того, что цель достигнута.

Для отобранных КПЭ разрабатываются процедура и форматы отчетности.

Выбор системы КПЭ определяется не только стратегическими целями, но и спецификой промышленного предприятия и его подразделений.

Например, для одного из руководителей верхнего уровня предприятия (завода) - директора по производству может быть применена следующая система КПЭ: себестоимость производства, производительность труда, использование мощностей, запасы незавершенного производства и готовой продукции, выполнение плана по отгрузкам.

Для нефтедобывающего предприятия стратегической задачей является повышение уровня добычи нефти, что выражается в повышении дебета скважин, сокращении потерь при добыче и снижении себестоимости нефти. Поэтому для цеха капитального ремонта скважин (КРС) устанавливаются КПЭ, которые имеют не только непосредственное отношение к стратегическим задачам компании в целом, но и отражают специфику конкретного подразделения. В процессе проведения капитального ремонта скважина «консервируется», соответственно, время простоя определяет издержки упущенных возможностей по добыче. Производственная эффективность подземного ремонта определяется приростом дебета в тоннах на скважину, а экономическая эффективность – в удельной стоимости каждой тонны прироста дебета как отношение стоимости ремонта к тоннам прироста дебета.

Соответственно, для данного подразделения КПЭ могут иметь следующую структуру:

- ◆ Общее количество дней простоя скважин (определяет издержки упущенных возможностей).

- ◆ Средняя продолжительность ремонта (отношение факт – план).
- ◆ Удельная стоимость каждой тонны прироста дебета (отношение факт – план).
- ◆ Количество ремонтов (отношение факт – план).
- ◆ Средние затраты на ремонт одной скважины (отношение факт – план).

### 2.4.2. Оценка эффективности использования производственного оборудования на базе OEE

Выше уже было сказано, что система ключевых показателей эффективности – это инструмент информационного обеспечения процесса принятия управленческого решения. Но владельцам производственных процессов и руководству предприятия важна не сама констатация ухудшения того или иного ключевого показателя (например, повышение себестоимости продукции, понижение производительности труда и т. п.). Для принятия решения требуется прежде всего знание причин, вызвавших эти ухудшения.

На производственных предприятиях одной из основных причин снижения эффективности являются потери рабочего времени. Всем понятно, что оборудование функционирует в условиях, препятствующих повышению эффективности его использования. Часть этих условий объективна: нерабочее время, плановые остановки, потери скорости на вывод остановленного оборудования в номинальный режим работы и т. д. Но и здесь могут возникнуть вопросы: а действительно ли все остановки проходили планово или где-то были неплановые увеличения их длительности или количества? И если были, то в каком месте технологического процесса, когда и по какой причине?

С другой стороны, случаются неплановые простои, снижение скорости работы технологического оборудования по причинам нехватки сырья, сбоев в энергоснабжении, дефектов и отказов оборудования. Сюда же следует добавить и периоды, когда производится брак, так как эти периоды эквивалентны потерям производственного времени. В результате все это ведет не только к потерям в объемах производства, растет и себестоимость, так как многие виды затрат во время простоев и выпуска бракованной продукции остаются [11, 12].

Одним из современных подходов к повышению эффективности работы оборудования является система OEE (Overall Equipment Effectiveness - общая эффективность оборудования) –

Таблица 1. Большие потери

Причина	Категория	Примечание	Цель
Поломка	Потеря из-за простоев	Внеплановые простои	Свести к нулю
Настройка	Потеря из-за простоев	Смена и перенастройка инструментов	Минимизировать
Короткая остановка	Потеря скорости	Остановка на время меньше пяти минут	Свести к нулю
Снижение скорости	Потеря скорости	Работа на скорости ниже номинальной	Свести к нулю
Брак при запуске	Потеря качества	Брак на ранней стадии производства	Минимизировать
Брак при производстве	Потеря качества	Брак при обычной работе производства	Свести к нулю

система анализа общей эффективности работы оборудования, предназначенная для контроля и повышения эффективности производства и основанная на измерении и обработке конкретных производственных показателей.

Система показателей OEE базируется на представлении о шести основных причинах снижения эффективности оборудования: поломка (отказ), настройка (переналадка), короткая остановка, снижение скорости работы оборудования, брак при запуске оборудования, брак при производстве. Эти шесть причин снижения эффективности известны в мире как Six Big Losses – **шесть больших потерь** (таблица 1).

Система показателей OEE в управлении фондами была предложена в конце шестидесятых годов прошлого века японцем Накадзима, но начала использоваться за пределами Японии только в конце восьмидесятых.

В структуре OEE уже заложена методика анализа, которая сводится к поиску проблемных областей, будь то неоптимальная организация работы оборудования, низкая его производительность или брак получаемой продукции. В результате анализа выявляется причина снижения эффективности, на которой необходимо сфокусировать внимание.

OEE позволяет выявить потери и причины неэффективной работы оборудования. Наличие достоверных результатов измерения производительности фондов позволяет принимать взвешенные решения о капитальных вложениях, обеспечивающих более быстрый возврат инвестиций. На основе данных OEE делается вывод, можно ли улучшить производительность на существующем оборудовании или же его возможности фактически исчерпаны и для увеличения производительности необходимо новое [12].

## Расчет показателей OEE

Для анализа эффективности работы оборудования разработана система КПЭ. Анализ эффективности берет начало с *общего времени работы предприятия* (POT – Plant Operating Time). Второй важной составляющей является *время плановых остановок* (PSD – Planned Shut Down), т. е. время, которое необходимо исключить из анализа эффективности, поскольку производство в этот момент остановлено. Разница между общим временем работы предприятия и временем плановых остановок называется *планируемым производственным временем* (PPT – Planned Production Time):

$$PPT = POT - PSD$$

Система OEE исходит от планируемого производственного времени и анализирует потери времени с целью их уменьшения или устранения. Существуют три основных категории потерь: *потери на остановки* (DTL – Down Time Loss), *потери в скорости* (SL – Speed Loss) и *потери в качестве* (QL – Quality Loss).

## Доступность оборудования

Критерий доступности анализирует потери времени от остановок (DTL), включающие в себя любые внеплановые остановки: поломки и отказы оборудования, остановки из-за дефицита сырья или отсутствия места для складирования. Время переходов также входит в OEE-

анализ, так как оно является одной из форм простоя. Совсем устранить время перехода невозможно, но в большинстве случаев оно может быть сокращено. Рабочее время, оставшееся после учета остановок, называется *операционным временем* (OT – Operating Time):

$OT = PPT - DTL$ , а критерий доступности (Availability)  $A = OT/PPT$

### Производительность

Критерий производительности учитывает потери в скорости (SL), которые включают в себя все факторы, вызывающие снижение рабочей скорости оборудования по сравнению с максимально возможной: износ машин, использование некачественных материалов, неправильная подача, неэффективные действия оператора.

Расчет критерия производительности (Performance):

$P = (TP/OT)/IRR$ , где:

- TP (Total Pieces) – выпуск продукции (фактическое количество единиц продукции, выпущенное за операционное время OT);
- IRR (Ideal Run Rate) – норма производства (теоретически максимальное количество продукции, производимое в единицу времени).

### Качество

Критерий качества учитывает потери в качестве (QL), которые включают в себя производство несоответствующей стандартам продукции.

Расчет критерия качества (Quality):

$Q = GP/TP$ , где:

- GP (Good Pieces) – выпуск годной продукции (фактическое количество единиц годной продукции, выпущенное за операционное время OT).

**Показатель эффективности OEE** представляет собой произведение трех вычисленных ранее показателей:

$$OEE = A \cdot P \cdot Q$$

Наблюдение за значением OEE является отправной точкой анализа. Обнаружив, что значение OEE отличается от целевого (например, упало по сравнению с предыдущим периодом), можно определить, что повлияло на это падение. Анализируя значения каждого из трех коэффициентов и сравнивая их, например, со значениями за предыдущие периоды, причины потерь эффективности постепенно локализуются.

Показатель OEE можно использовать и для сравнения эффективности однотипного оборудования, например нескольких производственных линий. Лучший показатель в этом случае



может стать целью, к которой надо стремиться всем остальным линиям. С помощью этого показателя возможно и сравнение эффективности работы различных смен, работающих с одним оборудованием.

Таким образом, показатель OEE и его составляющие демонстрируют, как с помощью простого алгоритма расчета и анализа можно получить ответ на важнейший для руководителя предприятия вопрос: каким путем можно быстро и значительно увеличить выпуск продукции, не вводя дополнительных мощностей. OEE – это не просто показатель, а методология, позволяющая находить узкие места.

В международной практике показатель OEE менее 65 процентов принято считать плохим, от 65 до 75 процентов – удовлетворительным, более 75 процентов – хорошим (мировые промышленные лидеры имеют значения и более 85 процентов). Значения показателей OEE лучших мировых производителей приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения показателей OEE лучших мировых производителей	
Показатель	Значение
Доступность	90,0 %
Производительность	95,0 %
Качество	99,9 %
OEE	85,4 %

Из таблицы видно, что даже предприятия, выпускающие продукцию самого высокого качества, имеют большой резерв повышения эффективности производства, влияя на производительность и доступность.

### 2.4.3. Управление простоями оборудования

Реальный производственный процесс – это десятки и сотни возможных причин потерь рабочего времени, а следовательно, и снижения эффективности. Можно, конечно, пробовать устранить все причины сразу, но до сих пор это никому не удавалось. А вот установить причины, вносящие наибольший «вклад» в потери эффективности, вполне возможно. Следствие из правила Парето гласит, что 80 процентов потерь производственного времени обусловлены 20 процентами причин. В эти 20 процентов попадают и Six Big Losses, рассмотренные выше. И не случайно борьба за эффективность работы оборудования сводится к устранению именно этих причин.

Управление простоями (DTM – Downtime Management) заключается в более глубоком анализе причин остановки работы оборудования. Фактически задача управления простоями сводится к нахождению промежутков времени, когда оборудование не работало или работало с пониженной скоростью или качеством. Управление простоями и система показателей OEE являются близкими задачами и дополняют друг друга. В силу их схожести их часто рассматривают в паре, и системы, решающие эти задачи, называют OEE/DTM-системами.

В соответствии с методикой реализации систем OEE/DTM, анализ эффективности работы оборудования включает следующие составляющие:

- ◆ оборудование, работа которого подлежит анализу;
- ◆ модель времени;
- ◆ деревья причин;
- ◆ таблицы состояний;
- ◆ счетчики и алгоритмы.

Соотношение реального времени производства, в течение которого оборудование может производить продукцию, и других категорий времени, обусловленных различными потерями производственного времени, представляет собой модель времени (рис. 12).

Приведенная модель времени не является фиксированной, она может быть расширена дополнительными категориями.

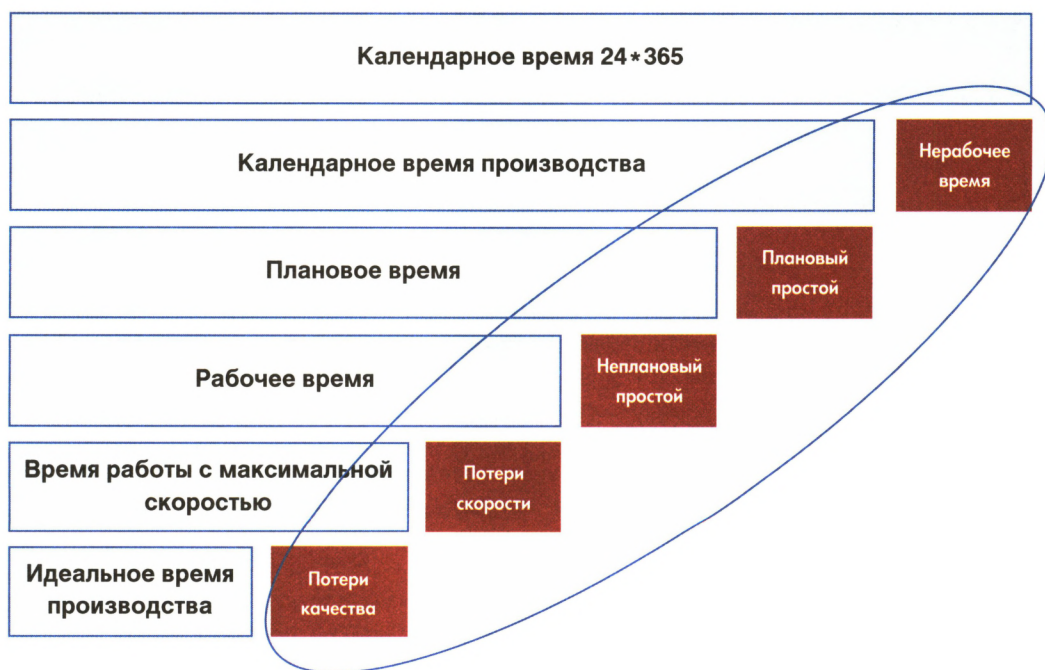


Рис. 12. Модель времени

**Дерево причин** является детализацией конкретной категории модели времени. В SIMATIC IT OEE/DTM дерево причин может иметь до четырех уровней иерархии. В таблице 3 приведен пример детализации категории времени *Простой* (уровень 1) одного из типов оборудования.

Таблица 3. Уровни дерева причин

Уровень	Название	Примеры
Уровень 1	Состояние	Работа, простой
Уровень 2	Основание	Поломка, настройка
Уровень 3	Причина	Электрическая часть, Механическая часть
Уровень 4	Детализация причины	Двигатель, ремень

Для каждой единицы оборудования можно создать свое дерево причин, но для предприятий с большим количеством единиц оборудования рекомендуется использовать типы оборудования.

**Таблицы состояний** (таблица 4) предназначены для автоматической классификации состояния оборудования на основе оперативных данных. Выбор значения уровня происходит из сконфигурированного ранее дерева причин.

Таблица 4. Таблица состояний

Значение тега	Уровень 1 Состояние	Уровень 2 Основание	Уровень 3 Причина	Уровень 4 Детализация причины
0	Остановка	Ожидание	Компонент	Блистер
1	Остановка	Поломка		
2	Работа			
...				

При мониторинге работы оборудования по изменению значения соответствующего тега будет происходить сканирование таблицы состояний и в базе данных будет сохраняться строка (запись DTM), в которой фиксируется время начала события, время конца события и значения четырех уровней дерева причин.

**Счетчики** представляют собой переменные, вычисляемые накопительным итогом. Примером счетчиков может являться количество произведенных единиц продукции, количество остановок оборудования, количество качественных или бракованных единиц продукции.

На основании счетчиков в дальнейшем вычисляются показатели эффективности по различным алгоритмам. В частности, могут быть вычислены уже известные показатели ОЕЕ (доступность, производительность и качество), некоторые показатели надежности (среднее время между простоями, среднее время ремонта), некоторые другие показатели.

### Реализация функции расчета КПЭ в MES-системе

Реализация функции расчета КПЭ в MES-системе промышленного предприятия позволяет измерить эффективность производства на всех уровнях управления и связать текущую деятельность производственных служб со стратегией развития предприятия.



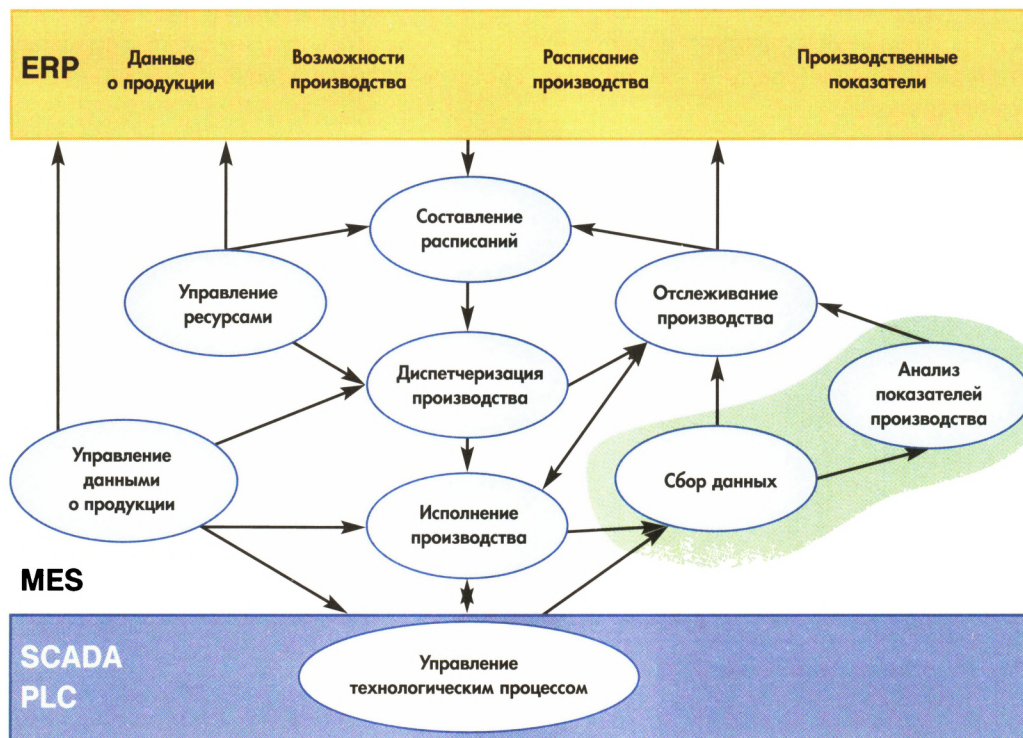


Рис. 13. Место функций для расчета КПЭ в стандарте ISA-95

Между тем на многих предприятиях, где уже внедрены MES-системы и накоплен значительный массив данных, он зачастую не используется для расчета КПЭ.

На рис. 13 представлены функции MES согласно стандарту ISA-95. Среди этих функций есть и такие, которые используются для расчета КПЭ, – сбор данных и анализ показателей производства.

Если исходить из того, что на предприятии уже созданы предпосылки для наращивания функциональности MES-системы, то есть по меньшей мере уже существует единое информационное пространство, то задача внедрения системы расчета показателей КПЭ упрощается. Правда, система показателей эффективности должна быть предварительно тщательно проработана.

Значения рассчитанных КПЭ поступают в общую информационную среду предприятия и начинают работать на повышение эффективности. Они могут быть внесены в различные отчеты, выводиться на АРМ заинтересованных пользователей, владельцев процессов и высшего руководства. Представление рассчитанных КПЭ – это отдельная тема. На АРМ их можно представить в виде гистограмм, круговых диаграмм, «спидометров» – полукруглых цветных шкал со стрелкой и т. п. Пример представления показателей ОЕЕ приведен на рис. 14. Таким образом, система КПЭ естественным образом интегрируется в информационную среду MES, а следовательно, и всего предприятия.

И последнее. А что же делать предприятиям, на которых полностью отсутствует MES-система? На этот вопрос существует **единственный ответ – начать внедрение MES с создания информационной среды и построения системы расчета ключевых показателей эффективности.**

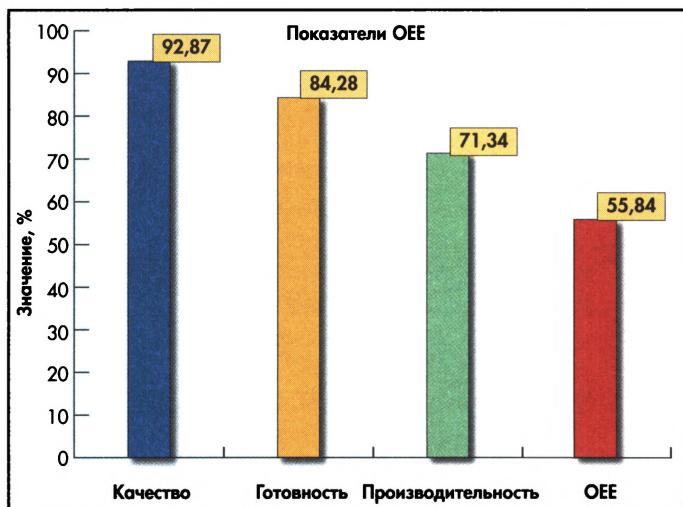


Рис. 14. Пример представления КПЭ в виде гистограмм

#### 2.4.4. Бенчмаркинг – одно из направлений повышения эффективности

Термин *бенчмаркинг* происходит от английских слов *bench* (уровень, высота) и *mark* (отметка). Так как русский язык славится своим богатством, то и переводов этого словосочетания существует множество. Приведем два таких перевода: *эталон при сравнении* и *анализ превосходства*. В бизнесе бенчмаркинг – это механизм сравнения показателей работы компании с показателями более успешных фирм. По определению Роберта Кэмпбелла, руководителя глобальной сети бенчмаркинга (GBN – Global Benchmarking Network), бенчмаркинг – это постоянный процесс изучения и оценки товаров, услуг и опыта производства самых серьезных конкурентов либо тех компаний, которые являются признанными лидерами в своих областях [13].

Таким образом, бенчмаркинг – это искусство обнаружения того, что другие делают лучше, изучение, усовершенствование и применение их методов работы. Отсюда следует, что бенчмаркинг можно рассматривать как одно из направлений маркетингового исследования.

В своем развитии бенчмаркинг прошел длительный эволюционный путь: от бенчмаркинга как реинжиниринга (начало 70-х годов) до стратегического бенчмаркинга как систематического процесса, направленного на оценку альтернатив, реализацию стратегий и усовершенствование характеристик производительности на основе изучения успешных стратегий внешних предприятий-партнеров.

В международной и отечественной практике имеется достаточно большое количество видов бенчмаркинга. Не претендуя на широту охвата видов и новизну, предложим в данном разделе следующую классификацию (рис. 15).



**Внутренний бенчмаркинг** – бенчмаркинг внутри отрасли, фирмы, предприятия, его подразделений и даже процессов. Нельзя забывать, что бенчмаркинг – эффективный инструмент и вне конкурентной среды.

**Конкурентный бенчмаркинг** – измерение характеристик своего предприятия и их сопоставление с характеристиками конкурентов. Для этого необходимо установить своих конкурентов на рынке, по какому-то признаку ранжировать их, определить собственное положение среди них и выбрать «эталон».

**Функциональный бенчмаркинг** заключается в сравнении определенной функции (функций) двух или более предприятий того же сектора экономики.

**Общий бенчмаркинг** предполагает сравнение определенной функции (функций) двух или более предприятий независимо от сектора экономики.

**Бенчмаркинг процесса** – это деятельность по изменению определенных показателей и функциональности процессов для их сопоставления с предприятиями, характеристика которых является совершенной в аналогичных процессах.

**Стратегический бенчмаркинг** – совмещение процесса бенчмаркинга и методологии стратегического планирования с целью выявления уникальных возможностей для завоевания предприятием конкурентных преимуществ. Исходные данные собираются при помощи любой из четырех возможных стратегий, представленных в левой части.



Рис. 15. Виды бенчмаркинга

Процесс бенчмаркинга включает в себя такие понятия, как объекты исследования, основные правила анализа, этапы бенчмаркинга, а также подходы к обучению на основе бенчмаркинга.

Выбор объектов исследования определяется самим предприятием и его сотрудниками. Анализ производства применяется к функциям, процессам, стратегиям и т. д. (рис. 15).

Единой методики осуществления бенчмаркинга на предприятии не существует. Число этапов бенчмаркинга бывает разным, поскольку процесс можно разбить на более мелкие шаги. Но базовые принципы бенчмаркинга везде одинаковы:

- ◆ определение объекта анализа превосходства (цели);
- ◆ выявление партнеров по анализу превосходства, т. е. поиск лучших предприятий;
- ◆ сбор информации;
- ◆ анализ информации;
- ◆ целенаправленное проведение в жизнь полученных сведений (внедрение) и дальнейшее развитие организации предприятия;
- ◆ контроль за процессом и повторение анализа.

Следует отметить, что бенчмаркинг, будучи механизмом сравнения показателей работы предприятий и компаний, подразумевает использование и ключевых показателей эффективности (КПЭ), и показателей эффективности работы оборудования (ОЕЕ), рассмотренных выше.

Так же как и внедрение КПЭ, бенчмаркинг не разовое мероприятие, а постоянный процесс. Анализ превосходства – это метод, делающий предприятие «обучающимся», предприятием, которое не останавливается на достигнутых результатах.

#### **2.4.5. Управление отклонениями в обеспечении эффективности**

Все предыдущие подразделы раздела 2.4 были посвящены эффективности функционирования предприятия, точнее – повышению эффективности. Единственный путь к повышению эффективности – это управление.

Одним из основополагающих принципов управления является **принцип управления по отклонению** (принцип Ползунова – Уатта). Суть этого принципа заключается в том, что управляющее воздействие реализуется только после того, как отклонение уже свершится. Под отклонением понимается разница между ожидаемым (заданным) значением и реально полученным (текущим). Измерив реально полученное значение, вычисляется отклонение, которое и инициирует управляющее воздействие. Таким образом, системы управления по отклонению – это системы с обратной связью, т. е. замкнутые системы.

В соответствии с этим принципом функционирует большинство САУ (систем **автоматического управления**) нижнего уровня. Замыкает систему управляющее воздействие регулятора (контроллера). При этом регулятору не нужно знать причины, вызвавшие отклонение, его «интересует» лишь сам факт его наличия.

На третьем уровне речь уже идет об **автоматизированном управлении** (в управлении участвует человек). Принцип управления остается тем же: управление по отклонению, но есть и существенные отличия. Во-первых, замыкает каждый контур управленческое решение,

принятое человеком (а не регулятором). Во-вторых, нужно не только констатировать отклонение – ухудшение того или иного ключевого показателя эффективности. Самым важным здесь является установление причин, вызвавших ухудшение. Тогда управленческое решение (управляющее воздействие) будет направлено именно на устранение причины и эффект от такого решения будет положительным.

**Обоснованные** значения КПЭ обеспечивают достижение стратегических целей предприятия. Именно эти обоснованные значения и являются «заданными» для автоматизированной системы управления.

Подход к эффективности предприятия со стороны КПЭ не является единственным. Ведь производственное предприятие – это прежде всего дорогостоящее оборудование и люди, его обслуживающие. Некачественное управление технологическими процессами может приносить значительные убытки в результате поломок оборудования, несчастных случаев, незапланированных простоев, производства некачественной продукции и т. п.

Исследования показывают, что объем производственных потерь из-за нештатных ситуаций составляет на предприятии в среднем 3–8 процентов. Эти цифры соответствуют небольшим накапливаемым потерям, а не убыткам вследствие крупных аварий и катастроф. В такой ситуации говорить об эффективности не имеет смысла. Так что же делать?

Ниже речь пойдет об управлении алармами, так как создание системы управления алармами – один из наиболее понятных способов повышения эффективности любого промышленного предприятия. Управление алармами – это тоже управление отклонениями, но отклонениями не от регламентных значений, а от предельно допустимых.

Состояние тревоги, **аларм** (Alarm), – это сообщение, предупреждающее оператора о возникновении определенной ситуации, которая может привести к серьезным последствиям и потому требующее его внимания, а часто и вмешательства. Причины, вызывающие состояние аларма, могут быть самыми разными. Неисправность может возникнуть в системе управления, в контроллерах, в каналах связи, в технологическом оборудовании. Может выйти из строя датчик или произойти сбой его метрологических характеристик. Параметры технологического процесса могут выйти за границы, установленные регламентом, и т. д.

Наступление эпохи микропроцессоров и широкое распространение современных систем управления (DCS и SCADA) упростило подачу сигналов тревоги при любом сбое технологического процесса, поскольку затраты на это невелики или равны нулю. Почти каждый технологический параметр стал сопровождаться алармом. Казалось бы, очень хорошо, все параметры находятся под недремлющим оком автоматики. Но «больше» не всегда означает «лучше».

В результате в настоящее время на большинстве предприятий имеются системы, подающие ежедневно огромное количество аварийных сигналов и уведомлений, что по меньшей мере мешает работе, а иногда приводит и к катастрофическим ситуациям [10]. Контроль за возрастающим числом алармов стал вызывать затруднения даже у опытных работников. А менее опытные не всегда понимают суть каждого аларма и последствия его игнорирования. Более того, точного назначения того или иного аларма иногда не знают даже инженеры. Да и проектирование системы алармов часто выполняется без предварительного тщательного инженерного анализа.

Именно эти соображения и послужили поводом для уменьшения числа алармов и предоставления операторам расширенных оперативных инструкций по действиям в случае их возникновения. Все это и есть предмет разработки **системы управления алармами**.

Многие специалисты считают фактическим стандартом для систем управления аварийными сигналами Документ № 191 ассоциации пользователей средств разработки и материалов (Engineering Equipment and Materials Users' Association – EEMUA). Полное название документа «Системы аварийной сигнализации: Руководство по разработке, управлению и поставке».

Согласно документу EEMUA аварийные сигналы следует формировать только тогда, когда необходимы ответные действия оператора. Основными показателями системы управления алармами являются распределение и частота аварийных сигналов, взаимная корреляция, время реакции оператора и изменения в его действиях в течение определенного интервала времени (таблица 5).

Таблица 5. Эталонные показатели для аварийных сигналов

	ЕЕМУА	Нефть и газ	Нефте-химия	Электро-энергетика	Другие отрасли
Среднее число аварийных сигналов в день	144	1200	1500	2000	900
Среднее число постоянных аварийных сигналов	9	50	100	65	35
Максимальное количество аварийных сигналов за 10 минут	10	220	180	350	180
Среднее число аварийных сигналов за 10 минут	1	6	9	8	5
Распределение по приоритету, % (низкий, средний, высокий)	80/15/5	25/40/35	25/40/35	25/40/35	25/40/35
Источник: Publication 191 (2009) EEMUA и Matrikon					

В соответствии с рекомендациями Документа № 191 EEMUA средняя частота аварийных сигналов не должна превышать одного сигнала за 10 минут или не более 144 сигналов в день (машиностроение). В большинстве отраслей промышленности показатели значительно выше и находятся в диапазоне 5–9 сигналов за 10 минут (см. таблицу 5).

На многих предприятиях высокий приоритет установлен для всех аварийных сигналов. Это неприемлемое решение. Рекомендации EEMUA распределения алармов по приоритету приведены в таблице 5. В этом случае оператор может отреагировать на те сигналы, которые действительно важны.

Помимо материалов ассоциации EEMUA по управлению алармами развивается и стандарт ISA SP18 «Управление системами аварийной сигнализации для обрабатывающих отраслей промышленности» [14].

Система управления аварийными сигналами должна быть нацелена на оператора, и в стандартах этому подходу уделяется большое внимание. Удобное отображение информации с помощью человекомашинного интерфейса является наиболее существенным аспектом системы управления аварийными сигналами. Сообщение об аларме должно быть сразу же абсолютно понятным для оператора, так как он единственный, кто реагирует на аварийные сигналы.

Необходимо больше внимания уделять повышению квалификации операторов производства – такой вывод делают многие специалисты. Инвестиции в операторов так же важны, как и инвестиции в современные системы управления технологическими процессами.

Управление аварийными сигналами – это постоянный процесс, который никогда не заканчивается.

Порядок мероприятий по эффективному внедрению системы управления алармами включает несколько этапов:

## **1. Организация архивной системы алармов и событий**

Фактически это означает, что предприятие должно иметь достаточно развитую информационную инфраструктуру, обеспечивающую единое информационное пространство. С одной стороны, каждая АСУТП, построенная на базе DCS или SCADA-системы, имеет свой архив алармов и событий. Но глубина такого архива ограничена, так как база данных АСУТП не предназначена для хранения больших массивов информации. С другой стороны, необходимо обеспечить доступ к архивной информации специалистам и руководителям, а это становится возможным лишь при наличии на предприятии единого централизованного архива алармов и событий.

Именно этот архив призван обеспечить совершенствование системы алармов и сохранность инвестиций благодаря контролю производственных параметров в течение длительного периода времени. Операторы используют хранящиеся в архиве данные для качественного управления технологическим процессом. Специалистам и руководству архив позволяет анализировать статистику алармов, вызвавших нештатные ситуации с негативными последствиями. Имея постоянный доступ к статистическим данным по алармам, руководство предприятия получает информацию о реальной эффективности системы управления алармами, а значит, и эффективности всего производства.

Следует подчеркнуть, что работа по созданию системы управления алармами только началась (рассматривается первый этап внедрения). Речь пока идет о статистической обработке алармов и методах представления информации для заинтересованных специалистов и руководителей.

На рис. 16 показан один из методов: в зависимости от среднего и максимального темпов поступления алармов оценивается состояние предприятия. Если параметры алармов лучше по-



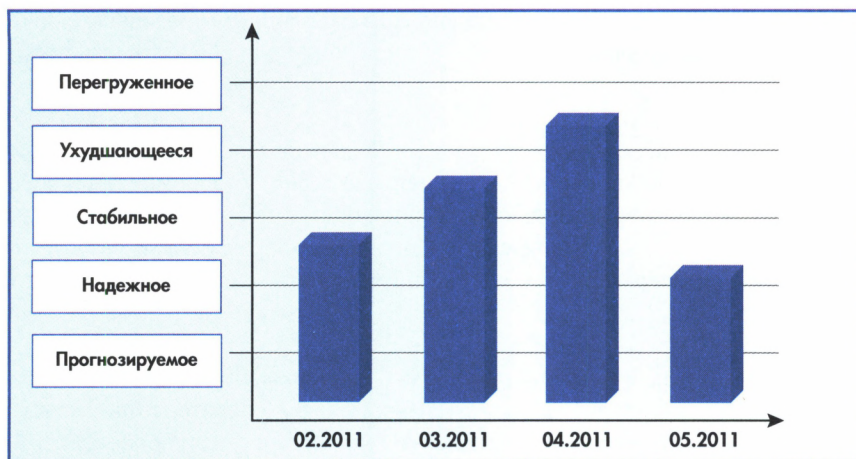


Рис. 16. Характеристики алармов на предприятии

казателей, рекомендуемых ЕЕМUA, то состояние описывается как *прогнозируемое*. Если показатели совпадают с рекомендованными, то состояние оценивается как *надежное*. По мере ухудшения показателей состояние бывает *стабильное*, *ухудшающееся* и *перегруженное*.

## 2. Разработка принципов управления алармами

Эти принципы представляют собой набор критериев и показателей, согласно которым определяются алармы и измеряется их эффективность. Подробно с этими принципами можно ознакомиться в Документе № 191 ЕЕМUA [15]. Примеры наиболее значимых критериев приведены ниже:

- ◆ что такое аларм;
- ◆ распределение приоритетов в зависимости от степени критичности и допустимого времени реакции;
- ◆ критерии эффективности алармов и действия по их прекращению.

## 3. Выявление «главной двадцатки»

Главная двадцатка – это перечень наиболее важных алармов и методов их устранения. При создании системы управления алармами этот этап очень важен. Список главной двадцатки может быть создан на еженедельных производственных планерках, заседаниях руководства. Дальнейший регулярный контроль списка позволяет не только снизить число алармов, но и выявить другие проблемы, связанные с настройкой, выбором датчиков и т. п.

Статистические отчеты по главной двадцатке могут быть представлены в различном виде:

- ◆ круговыми диаграммами с распределением алармов в процентах;
- ◆ таблицами с понедельным и общим количеством алармов за определенный период;
- ◆ временными графиками по наиболее важным алармам и т. п.

#### 4. Подготовка документации и справочной системы для операторов

Цель этого этапа состоит в переопределении граничных значений (уставок) и приоритетов алармов, а также в подготовке онлайн-оной документации для операторов, содержащей описания:

- ◆ причин возникновения конкретных алармов;
- ◆ способов проверки существования проблемы;
- ◆ корректирующих воздействий;
- ◆ возможных последствий при неправильной реакции на аларм.

Документируются возможные последствия игнорирования каждого аларма, а также временной интервал бездействия оператора, по истечении которого возникают указанные последствия. Приоритеты в зависимости от интервала бездействия и тяжести последствий в соответствии с рекомендациями ЕЕМUA приведены в таблице 6.

Таблица 6. Приоритеты в зависимости от интервала бездействия и тяжести последствий в соответствии с рекомендациями ЕЕМUA

Максимальный интервал бездействия	Несущественные последствия	Средние последствия	Серьезные последствия
Более 45 минут	Низкий	Низкий	Высокий
От 15 до 45 минут	Низкий	Высокий	Аварийный
Менее 15 минут	Низкий	Аварийный	Аварийный

В результате всю документацию по алармам можно оперативно просматривать в онлайн-ом режиме веб-средствами, а также в окне оперативного вывода сведений о последнем зарегистрированном аларме.

#### 5. Контроль изменений

Контроль изменений представляет собой систему мониторинга и проверки полномочий для изменения любых связанных с алармами параметров, в число которых входят граничные значения, уровни приоритетов, режим контроллера и его уставки, а также возможность создания, удаления, запрета и фильтрации алармов для любых производственных параметров.

Наконец, остается нерешенной еще одна задача – где должно располагаться «средство» подробного информирования оператора о возникшей проблеме и способах ее устранения: внутри или вне DCS. Категоричных рекомендаций пока не существует, поэтому можно реализовать и тот и другой способ. С учетом того, что быстрота отклика имеет очень большое значение, реализация в логике DCS часто оказывается наилучшим решением. Часто, но не всегда!

## Резюме

Настало время подвести некоторый итог, чтобы не потерять основную цель, преследуемую данной книгой.

Определено место, занимаемое MES-системами в рамках концепции построения комплексных автоматизированных систем управления производственными процессами. Рассмотрение основных положений стандарта ISA-95 позволило выявить функции, свойственные производственному уровню. Вот некоторые из них: детальное планирование производства, диспетчеризация и отслеживание производства, анализ производительности, учет простоев, отслеживание качества продукции, управление запасами материалов и готовой продукции, управление производственными фондами и т. д.

Обоснован процессный подход к управлению, повлекший за собой введение таких важнейших понятий, как владелец процесса, нормативно-регламентная база, показатели эффективности производства.

Повышение эффективности промышленного предприятия – это та самая «жар-птица», которую желает «поймать» руководитель каждого предприятия. В этой связи рассмотрены пути повышения эффективности и методы ее оценки, в частности на основе КПЭ. Расчет КПЭ – это единственный на сегодняшний день способ понять место предприятия на конкурирующем рынке.

Венец всей этой последовательной цепочки – управление производственными процессами на базе отклонений КПЭ от значений, позволяющих предприятию достичь стратегических целей.

Логическим завершением изложенных теоретических аспектов построения системы управления производственными процессами является ее автоматизация. Под автоматизацией подразумевается создание информационно-управляющей системы, способной решать рассмотренный выше комплекс задач по управлению производством.

Вот тут-то и начинается самое сложное. Брожение умов, вызванное идеей внедрения MES-систем, продолжается уже десять лет, но ясного представления о том, что именно нужно делать, у многих пока еще нет.

Подходов, как и в случае со SCADA-системами в середине 90-х, тоже несколько. Тогда при разработке АСУТП у потребителя было два пути:

1. Разработать свою собственную SCADA-систему с помощью доморощенных кулибин, благо Россия ими еще не оскудела.
2. Воспользоваться готовыми SCADA-продуктами, широко представленными на мировом рынке.

Тогда победил здравый смысл – выбор был сделан в пользу второго пути. Авторы надеются, что разрабатывать *свою* MES-систему не рискнет даже самый отчаянный руководитель! А впрочем, для маленьких предприятий не закрыт и этот путь.

Готовый продукт почти всегда лучше, чем собственная разработка, если он подходит для задач, стоящих перед предприятием. Нет смысла, например, пытаться создать свою технологическую базу данных. То, что будет создано, почти наверняка окажется хуже и обойдется дороже того решения, которое уже много лет успешно конкурирует на открытом рынке.

Но и выбор готовой MES-системы – задача сложная, ни в какое сравнение не идущая с выбором SCADA-системы. Риски несоизмеримы – цена вопроса может оказаться слишком высокой!

Тонким моментом здесь является естественное желание заказчика минимизировать расходы на создание MES-системы, с одной стороны, и заранее оценить отдачу от ее использования – с другой. Большинство современных промышленных систем являются **модульными**, а значит, допускают поэтапное внедрение. Это помогает минимизировать первоначальные затраты, но в этом случае заказчик должен убедиться, что система позволит ему решать различные задачи повышения эффективности производства, даже если на текущем этапе будет использована лишь часть ее возможностей.

Поэтому можно понять трудности, которые испытывают специалисты и руководители предприятий, особенно сейчас, когда на российском рынке есть серьезные системные интеграторы и серьезные продавцы, но нет явных лидеров. Нужно сравнивать технические решения. Нужно сравнивать ценовые предложения. Нужно оценить свои силы и опыт системного интегратора.

Здесь надо сразу же оговориться, что речь не идет о разовом внедрении полнофункциональной MES-системы. Такая задача может оказаться непосильной даже для очень крепкого во всех смыслах слова предприятия. Это тот самый случай, когда стрелять надо не залпом, а отдельными, но точными выстрелами.

Так что же все-таки делать? На каком решении остановиться?

Известно, что давать советы – дело неблагодарное. Даже самые проверенные решения могут в определенной ситуации дать сбой. Потому ограничимся рассмотрением двух вариантов.

На протяжении последних лет некоторые фирмы, сделав удачное частное решение для конкретного производства, совершенствовали свой программный продукт, доводя его до коробочного. Ряду фирм удалось создать таким путем решения, которые впоследствии стали брендами. Но все эти решения можно назвать **отраслевыми**, так как работают они в конкретной отрасли (Aspentech – химическая и нефтехимическая промышленность, Honeywell – химическая и нефтеперерабатывающая, Rockwell Automation – сборочное производство, пищевая промышленность, изготовление пластмасс и т. д.).

И в России есть подобные разработки, созданные, как правило, системными интеграторами для конкретных предприятий.

Второй вариант – решение **на базе системной платформы**. Системная платформа, с одной стороны, может стать прочным каркасом для будущей MES-системы (гарантированная интеграция с АСУТП, база данных, веб-сервер). С другой стороны, крупные компании добав-

ляют к системной платформе широкую линейку продуктов под задачи производственного уровня. Создав каркас, можно последовательно добавлять к нему MES-компоненты, постепенно расширяя функциональный состав строящейся системы. Такой подход позволяет построить решение по автоматизации производства в любой отрасли.

Беда всех западных MES – отсутствие учета специфики постсоветских предприятий. Все программные продукты требуют доводки и адаптации. Поэтому полноценное внедрение MES сейчас невозможно без участия компании-интегратора.

И еще. Читатель взял в руки эту книгу не для того, чтобы бесконечно знакомиться с теоретическими аспектами построения MES-систем. Его интерес, вероятно, более прагматичен – приоткрыть дверь в кухню и собственными глазами увидеть, как же готовится это вкусное блюдо под названием MES.

Не согласиться с этим нельзя. Поэтому несколько следующих разделов книги будут посвящены автоматизации ряда производственных процессов, наиболее характерных, по мнению авторов, для российских предприятий.



## ГЛАВА 3. Системы управления производственными процессами в дискретном производстве

Все производства с точки зрения технологических процессов в первом приближении можно разделить на три типа:

- ◆ **Дискретное производство**, в котором исходный материал (сырье) при переработке в конечный продукт претерпевает более одного передела с прерыванием технологического процесса. Здесь речь идет о производстве дискретных категорий продукции: автомобилей, компьютеров, деталей. Дискретное производство характеризуется большим набором комплектующих, жестким регламентом последовательностей операций, перемещений, доставкой к определенным местам (складам) комплектующих в запланированном количестве, контролем незавершенного производства. Примерами дискретного производства является машиностроение, производство транспортных средств, электроники, промышленного оборудования и др.
- ◆ **Дозирование и смешивание**, обеспечивающие ведение рецептов при производстве продуктов, управление технологическими регламентами по дозированию и отслеживание используемого оборудования, его надлежащего состояния, виды простоев. Дозирование и смешивание характерны для пищевых комбинатов, производства фармацевтической и химической продукции.
- ◆ **Непрерывное производство** представляет собой совокупность непрерывных технологических процессов, организованных в виде производственной линии, участка, цеха или предприятия в целом. Непрерывность производства определяется характером основной технологии (добыча, транспорт и переработка нефти и газа, производство электроэнергии и т. п.). Такой тип производства характеризуется сложностью управления технологическими режимами, состоянием оборудования, закупаемыми и потребляемыми энергоресурсами. К предприятиям с непрерывным производством относятся практически все предприятия нефтегазовой отрасли, в значительной части химические и металлургические заводы, предприятия легкой, деревообрабатывающей, горно-обогатительной промышленности и др.

По данным международной ассоциации инженеров-технологов, дискретное производство существует более чем на 75 процентах промышленных предприятий мира. Даже там, где, казалось бы, производство носит исключительно непрерывный характер, в качестве вспомогательных присутствуют дискретные процессы. И именно вспомогательные подразделения, использующие, например, инструментальные или ремонтные участки, часто являются узким местом, лимитирующим объем выпуска основного продукта.

Для российских предприятий часто бывает характерным наличие двух, а то и всех трех типов производств, так как предприятия реализуют полный производственный цикл.

Поэтому не случайно первая версия стандарта ISA (ISA-88) была разработана для управления производственными процессами, характерными для дискретных производств. Стандарт ISA-95 охватывает уже и управление процессами непрерывного производства (см. раздел 2.2.2).

В соответствии с этими стандартами одним из основных производственных процессов промышленных предприятий является процесс оперативного планирования. На российском рынке автоматизированных систем управления долгое время большинство фирм в лучшем случае предлагали системы уровня ERP, решающие в основном задачи объемного планирования. Специализированные же системы (уровня MES), адаптированные для решения наиболее значимых для оптимизации дискретного производства задач оперативного планирования и управления производственными процессами, на нашем рынке были представлены слабо.

Таблица 7. Основные производственные процессы дискретного производства

№	Основные процессы	Владелец процесса
1	Оперативно-календарное планирование	ПЭО (плано-экономический отдел)
2	Оперативно-диспетчерское управление	начальник отдела АСУТП
3	Материальный учет	
4	Отслеживание качества продукции	ОТК
5	Управление эффективностью производства	начальник цеха

В таблице 7 в качестве примера представлен перечень процессов дискретного производства, в той или иной степени автоматизированных сегодня на российских предприятиях.

Представленный в таблице 7 перечень является обобщенным и зависит от размера предприятия, уровня автоматизации предприятия, зрелости производственного руководства.

Этот перечень производственных процессов, с одной стороны, укладывается в рамки правил структурирования систем управления, в основу которых положен стандарт ISO 9001:2000:

- ◆ количество процессов в организации напрямую зависит от численности персонала и структуры организации;
- ◆ разграничение между процессами целесообразно проводить по границам крупных структурных подразделений;
- ◆ разбиение деятельности предприятия на отдельные процессы целесообразно вести с наложением процессов на структуру предприятия. В этом случае оптимизация количества процессов упрощается.

С другой стороны, в перечне автоматизированных процессов присутствуют процессы оперативно-календарного планирования (детальное планирование) и оперативного диспетчерского управления. Именно на обозначенных процессах мы остановимся более детально, поскольку эти две функции определяют MES-систему как систему оперативного характера, нацеленную на формирование расписаний работы оборудования и оперативное управление производственными процессами в цеху. Они, как правило, являются информационным ядром любой MES-системы.

Есть и третья сторона этого вопроса: Россия находится лишь на начальном этапе внедрения систем подобного класса, а это означает, что компании-интеграторы должны быть готовы к реализации проектов по созданию систем управления производственного уровня, которые бы обеспечивали более широкий охват производственных функций.

### 3.1. Процессы оперативно-календарного планирования и диспетчеризации

Планирование – это определение целей и задач предприятия на определенную перспективу с анализом способов их реализации и ресурсного обеспечения. Создание систем оперативно-календарного планирования и диспетчеризации позволяет обеспечить наблюдаемость, идентифицируемость и управляемость технологических процессов и материальных потоков, создает условия прозрачности производства.

До создания информационной поддержки производственных процессов планирования, диспетчеризации важно точно представлять процесс, целевые функции процесса, среди которых:

- ◆ обеспечение прозрачности выполнения планов с точностью до операции. Для принятия оперативных решений принципиально понимание не только наличия отклонения от плана при производстве разных типов продукции, но и знания, чем вызвано отклонение;
- ◆ повышение загрузки оборудования;
- ◆ формирование управляющих воздействий с возможностью оценки обратной реакции на них;
- ◆ повышение качества выпускаемой продукции.

Создание информационно-управляющих систем позволяет метрировать, т. е. оперативно вычислять параметры, отображающие отслеживаемость процесса производства изделия пооперационно, измерять загрузку оборудования, контролировать отклонения качества изделия, такие как геометрические размеры, компонентный состав и т. п., используя SPC.

В оперативном планировании применяются следующие основные методы: объемный, календарный, а также их разновидности: объемно-календарный и объемно-динамический.

**Объемный метод** предназначен для распределения годовых объемов производства и продажи продукции по отдельным подразделениям и более коротким временным периодам – квартал, месяц, декада, неделя, день и час. С его помощью формируются месячные производственные программы основных цехов и планируются сроки выпуска продукции или выполнения заказов во всех выпускающих продукцию подразделениях предприятия.

**Календарный метод** применяется для планирования конкретных временных сроков запуска и выпуска продукции, расчета нормативов деятельности производственного цикла и опе-

режений производства отдельных работ относительно выпуска головных изделий. Данный метод основывается на использовании прогрессивных норм времени для расчета производственных циклов изготовления отдельных деталей, планируемых комплектов продукции и выполнения сборочных процессов.

**Объемно-календарный метод** позволяет планировать одновременно сроки и объемы выполняемых работ в целом на весь предусмотренный период времени – год, квартал, месяц, декада, неделя, день. С помощью этого метода рассчитывается продолжительность производственного цикла выпуска и поставки продукции на рынок, показатели загрузки технологического оборудования и сборочных центров в подразделениях предприятия.

**Объемно-динамический метод** предусматривает тесное взаимодействие планово-расчетных показателей: сроков, объемов и динамики производства продукции. В условиях рынка этот метод позволяет наиболее полно учитывать объемы спроса на рынке и производственные возможности предприятия.

Одной из задач оперативного планирования является создание на предприятии условий для скоординированного и ритмичного хода всех производственных процессов с целью поставки на рынок актуального товара надлежащего качества. При этом подразумевается обеспечение рационального использования производственных ресурсов и максимальное получение прибыли.

Оперативно-производственное планирование тесно интегрировано с диспетчеризацией, включающей оперативно-производственный учет, контроль и управление выполнением планов посредством устранения отклонений.

На каждом этапе планирования существуют различные критерии качества плана, и поэтому на каждом этапе используются разные алгоритмы его формирования. На определенных этапах необходим расчет плана изготовления комплектующих единиц, входящих в состав готовой продукции. При ежедневном планировании важно обеспечить своевременное выполнение календарного плана. В данном случае предполагается, что производственная программа выпуска готовой продукции с расчетом на некоторый горизонт планирования уже существует.

В основе планирования лежит структура планово-учетных единиц, используемых на различных этапах планирования, при анализе составленных планов. Структура планово-учетных единиц представляет собой иерархическое дерево, на нижнем уровне которого находятся технологические операции. К планово-учетным единицам верхнего уровня можно отнести при серийном производстве тип изделия или при индивидуальном производстве – внешний заказ. Планово-учетная единица верхнего уровня должна удовлетворять ряду требований:

- ◆ отражать объем заказов на складе готовой продукции;
- ◆ обеспечивать связи с выполняемыми заказами;
- ◆ обеспечивать изготовление деталей и сборочных единиц партиями возможно более крупного размера.

Указанные требования противоречивы, но компромисс достижим, если изготовление продукции и производственный учет ведется по партиям изделий и их компонентов, финансо-

вый учет и отгрузка продукции осуществляется по заказам. В таком случае планово-учетной единицей верхнего уровня устанавливается группа планирования, которая представляет собой набор некоторого количества изделий и компонентов, одновременно запускаемых в производство. Критерием включения в этот набор может быть близкий конструкторский и технологический состав изделий разных типов. Использование группы планирования в качестве базовой планово-учетной единицы позволяет устанавливать достаточно большие размеры производственных партий, и каждая партия деталей и сборочных единиц изготавливается не для одного заказа и даже не на один плановый период, а для обеспечения установленной группы планирования.

В группу планирования входят партии запуска и партии выпуска изделий и их компонентов. В одной группе планирования используется только одна партия запуска изделий каждого типа. Партий выпуска изделий одного типа может быть несколько. Сроки изготовления партий выпуска могут относиться к различным планово-учетным периодам. При этом размеры партий выпуска устанавливаются либо по имеющейся мощности производства, либо по ожидаемой потребности в продукции для сбыта. Каждая партия выпуска изделий в группе планирования является планово-учетной единицей, находящейся в иерархии ниже группы планирования и типа изделия. И партия выпуска в группе планирования может предназначаться для одного или нескольких заказов, каждый из которых также является планово-учетной единицей.

Но непосредственная связь партий выпуска с заказами не обязательна, поскольку для одного заказа могут выполняться несколько партий выпуска и даже несколько групп планирования. Поэтому вводят еще одну планово-учетную единицу, находящуюся иерархически ниже заказа и называемую производственной спецификацией. Под производственной спецификацией понимается некоторый перечень продукции с указанием технологии производства, при этом устанавливается связь между упомянутым перечнем и спецификацией заказа. Спецификация внешнего заказа может содержать ряд позиций с различными типами продукции и различными сроками изготовления этой продукции. Таким образом, под производственной спецификацией понимается набор изделий и запасных частей из спецификации одного заказа с одинаковой установленной датой поставки. Так же как и для группы планирования, в одну производственную спецификацию логично включать изделия разных типов с близким конструкторско-технологическим составом и компоненты. Количество изделий каждого вида в одной производственной спецификации не должно превышать максимально возможной величины партии выпуска этих изделий.

Описанные выше иерархические связи планово-учетных единиц представлены в таблице 8.

Рассматриваемая таблица представляет собой пример или разновидность главного плана-графика производства, формируемого в ERP-системе. Но по сравнению с типовой формой плана-графика в ERP в таблице 8 содержится дополнительная информация о партиях выпуска готовой продукции и производственных спецификациях заказов, что явно улучшает качество календарного планирования.

Определение размеров партий запуска и выпуска деталей и сборочных единиц в рамках каждой группы планирования, а также сроков начала и окончания их производства является главной задачей календарного планирования. Количество объектов в партии запуска должно быть не меньше количества, необходимого для сборки партии запуска сборочных единиц, в которую эти объекты входят.



Таблица 8.

Группа планирования	Тип изделия	Партия выпуска	Дата выпуска	Заказ	Производств. спецификация	Дата по договору	Кол-во
1	СК4751	1	15.06	1	1	25.06	4
				2	3	15.06	2
		2	30.07	1	2	30.07	4
	СК6547	1	25.06	1	1	25.06	3
	СК8576	1	20.07	2	4	20.07	5
				4	8	20.07	3
2	КТ2361	1	25.06	1	5	25.06	6
	КТ1542	1	10.07	3	6	10.07	3
				2	7	10.08	2
	КТ1542	2	30.08	5	9	30.08	6
3	СК4751	3	20.08	1	10	30.08	4
	СК6547	2	30.08				2
	СК8576	2	15.09	4	11	15.09	4

Плановые сроки изготовления партий изделий рассчитываются по установленным моментам окончания изготовления партий готовой продукции, а для этого учитываются:

- ◆ коэффициент интенсивности производства;
- ◆ плановая трудоемкость на каждом центре изготовления;
- ◆ количество рабочих смен;
- ◆ число цехов, количество операций в техпроцессе;
- ◆ нормативный коэффициент передачи партии с операции на операцию в часах;
- ◆ нормативный коэффициент передачи партии из цеха в цех в часах;
- ◆ нормативный коэффициент передачи партии предприятию смежнику в сутках.

Для отслеживания как объемных, так и календарных планов выстраивают процесс диспетчеризации. Под диспетчеризацией производства понимается централизованное руководство работой всех подразделений предприятия на основе плана-графика, регулярного контроля и учета текущего хода производства. Для реализации функций диспетчеризации в соста-

ве планово-диспетчерского отдела создается диспетчерское подразделение, отвечающее за поддержание бесперебойного хода производства в соответствии с планом запуска-выпуска продукции на всех стадиях изготовления.

Основными принципами диспетчеризации являются централизация, плановость, оперативность, профилактика отклонений от заданного графика работ.

**Централизация** означает осуществление контроля из единого центра ПДО и обязательных распоряжений главного или сменного диспетчера для всех начальников цехов и отделов.

**Плановость** означает отслеживание исполнения месячных сменно-суточных планов, соблюдение сроков запуска-выпуска.

**Оперативность** диспетчерской службы основывается на конкретных действиях руководства, полной осведомленности о состоянии работы в любом звене производства, на постоянном контроле хода производственного процесса и принятии незамедлительных мер по устранению возникающих отклонений.

**Профилактика отклонений** заключается в контроле качества сменно-суточных планов, их обеспеченности, понимании пропускной способности каждого участка, его слабых сторон.

Оперативный контроль охватывает ежедневный учет сдачи цехами по графику деталей, сборочных единиц и изделий, состояние межцеховых передач и заделов в производстве, равномерность хода производства, выявление отклонений и их устранение.

В журнале диспетчерской службы регистрируются все отклонения от плана за смену, новые срочные задания, сообщения поставщиков о задержке в отправке грузов и разные поручения, которые необходимо выполнить диспетчерской службе.

Исходной информацией для отслеживания бесперебойной работы являются сменно-суточный план, данные оперативного учета исполнения плана, информация об обеспеченности сменных заданий необходимыми ресурсами, перечень позиций плана, идущих с опережением или отставанием, данные журнала диспетчерской службы. В журнале диспетчер фиксирует принятые меры, отслеживает планы мероприятий, влияющих на производственный процесс, например, проведение ремонтных работ.

Столь детальный анализ задач календарного планирования позволяет:

1. Соотнести календарное планирование с предприятием в целом. Вышеупомянутые коэффициенты являются усредненными, не учитывающими особенности текущей ситуации в части состояния технологического оборудования, проведенных ремонтных и профилактических работ, уровня квалификации персонала. На уровне ERP-системы представленный уровень оперативно-календарного планирования вполне достаточен и соотнесен со сменно-суточным контролем, но существенные ресурсы повышения производительности труда, снижения издержек находятся на цеховом уровне. Единицей контроля на цеховом уровне становится операция, а периодичность планирования определяется часами и минутами. Поэтому трудно переоценить важность цехового оперативно-календарного планирования или расписания производства, поскольку,

опускаясь на уровень технологии, где задействовано технологическое оборудование и значительная часть персонала, открываются широкие возможности для оптимизации производства.

2. Формализовать процессы оперативно-календарного планирования и диспетчеризации на цеховом уровне в унификации с интерфейсом процессов оперативно-календарного планирования уровня предприятия. Главный план-график производства, сменно-суточный план для цеха являются основой для построения внутрицеховых расписаний с привязкой каждой операции к станку, к исполнителю операции, к заказу запчастей для выполнения операции;
3. Создать информационную систему, поддерживающую процессы оперативно-календарного планирования и диспетчеризации цехового уровня, предоставляющую в диспетчерскую службу предприятия в реальном времени данные о состоянии исполнения позиций плана, об отклонениях, получать указания из ПДО об объеме незавершенного производства.

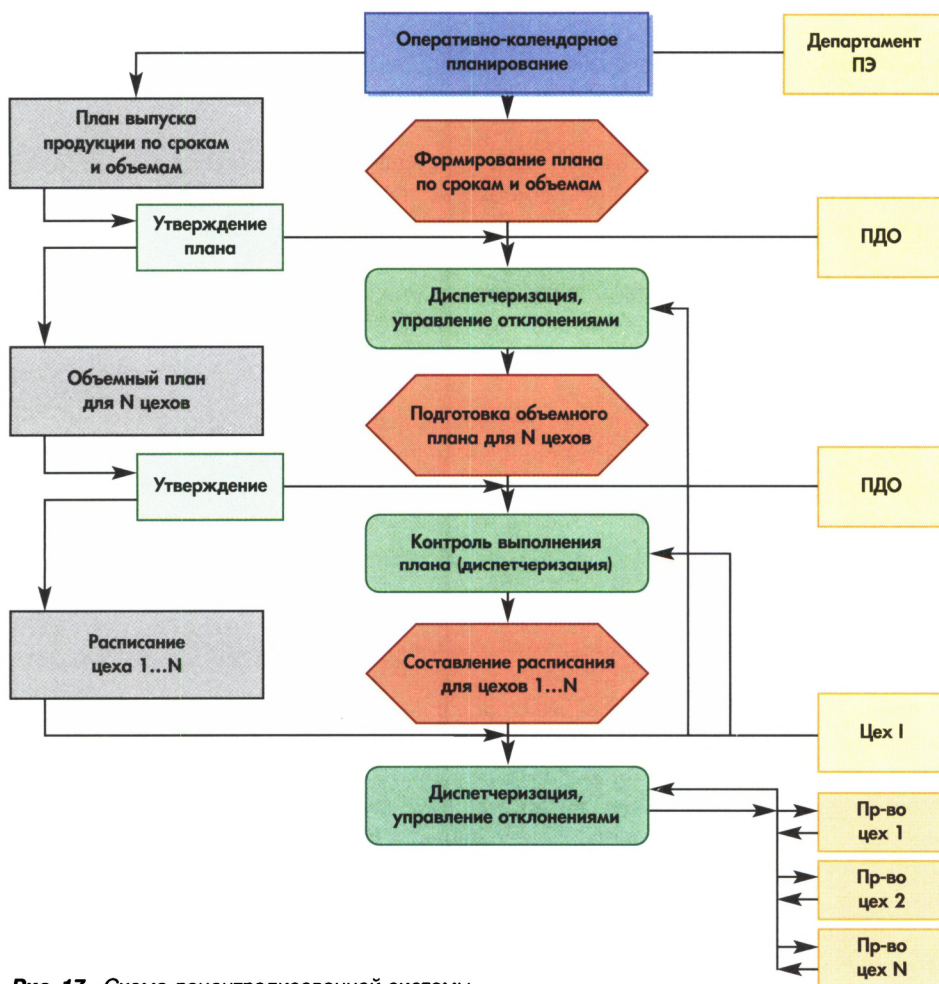


Рис. 17. Схема децентрализованной системы

В современной производственной деятельности важную роль играет как точное соблюдение сроков поставки, так и оптимизация ресурсов предприятия, что привело к созданию и использованию систем APS, реализующих функции детализированного планирования.

На рис. 17 представлен процесс оперативного планирования. Сначала строится объемный план, далее формируется объемный план для цехов. После формирования объемного плана предприятия рассчитывается детальный план для каждого цеха с помощью MES-системы. Детализированный план (расписание) составляется только на цеховом уровне. В результате на каждое рабочее место формируется задание с указанием сроков начала и окончания каждой операции.

Взаимосвязь систем MES и ERP состоит в том, что ERP-система формирует объемные планы для цехов, а с помощью MES-системы каждый цех формирует детализированные расписания.

В данной системе рассматриваются два контура диспетчеризации: внешний контур, отслеживающий возможность выполнения заданного объема при существующих временных ограничениях на горизонт планирования и сроки выпуска конкретной продукции, и внутренний. Отклонения, появившиеся во внутреннем контуре, могут привести к рассогласованию во внешнем контуре и, как результат, к коррекции текущего производственного расписания. И наоборот, отклонения, возникшие при межцеховых взаимосвязях, запаздывании поставок, могут также привести к изменению производственного расписания.

На рис. 17 представлены свойства, сопровождающие процесс:

- ◆ документы в виде согласованных и утвержденных планов (на рисунке выделены серым цветом);
- ◆ роли в процессе или подразделения, отвечающие за выполнение функций (выделены желтым цветом),
- ◆ подпроцессы диспетчеризации (выделены зеленым цветом).

Задачи составления расписаний работы оборудования относятся к классу сложных комбинаторных задач. ERP-системы в типовом виде не обеспечивают оперативное формирование детализированных планов для тысяч единиц оборудования, отслеживание всех изменений, происходящих в цехах и на участках. Эти функции делегируются MES-системам, которые могут эффективно составлять и корректировать расписания, отслеживать их выполнимость оперативно и точно.

При формировании объемно-календарных планов важно помнить, что в различных производствах планово-учетные единицы могут быть представлены с различной степенью детализации. Часто задача планирования для единичного и мелкосерийного производства сводится к упрощенным задачам планирования серийного производства путем специального группирования ДСЕ (детали и сборочные единицы) и оборудования. Процесс детализированного оперативно-календарного планирования включает в себя две функции:

- ◆ Расчет производственного расписания.







может быть выполнен, а составить расписание на тех же данных и с тем же горизонтом планирования невозможно, потому что объемное планирование не учитывает предшествование операций или выполнение операций в соответствии с технологической картой процесса.

Преодолеть недостатки схемы децентрализованного планирования можно за счет замены функции объемного планирования схемой с использованием APS-систем (рис. 18), поддерживающих функции детализированного планирования.

Функции APS не претендуют на высокую точность составления плана и не используют достаточно важные критерии цехового уровня. Но на этом этапе решается задача о сроках выпуска той или иной продукции с учетом сроков поставок всей производственной цепочки «поставщики – предприятие – партнеры – дистрибьюторы». Точность APS-систем вполне достаточна, чтобы получить план работы всех цехов предприятия на определенный период времени. APS-системы вводят в свои модели условие предшествования операций. Данный план спускается на цеховой уровень. Далее рассчитывается более детально план для каждого цеха с помощью MES-системы. В результате на каждое рабочее место формируется задание с указанием сроков начала и окончания каждой операции.

Централизованная модель планирования требует интеграции трех различных типов систем управления: ERP, APS и MES. Точность таких планов на порядок выше, чем при использовании децентрализованной модели.

## **3.2. Инструментальные средства создания ИС**

### **3.2.1. Назначение системы**

Система оперативного управления производственными процессами дискретного производства предназначена для решения следующих производственных задач:

- ◆ оперативное планирование производства;
- ◆ диспетчеризация производства;
- ◆ отслеживание производства;
- ◆ контроль состояния и распределения ресурсов;
- ◆ определение продукции;
- ◆ контроль качества продукции;
- ◆ анализ эффективности оборудования.

### **3.2.2. Функции системы**

Основными функциями MES являются:

В части задач оперативного планирования производства:

- ◆ составление основного производственного расписания;
- ◆ корректировка производственного расписания с учетом портфеля заказов, доступности ресурсов (материалов, оборудования, персонала);
- ◆ прогноз потребностей в материалах, оснастке и трудовых ресурсах,
- ◆ перепланирование в случае возникновения событий, ведущих к отклонению от ранее утвержденного расписания.

В части задач диспетчеризации производства:

- ◆ мониторинг технологического процесса по контрольным точкам (включая сбор информации по ключевым технологическим и режимным параметрам, их отображение на мнемосхемах в виде таблиц и графиков);
- ◆ формирование и контроль исполнения сменно-суточных заданий;
- ◆ формирование и выдача электронных инструкций оперативному персоналу.
- ◆ отслеживание производственных событий (изменение статуса технологического оборудования, начала, окончания производственных операций, события потребления материалов и их количества);
- ◆ отслеживание перемещений материалов по операциям и переделам с учетом возможности разделения, комбинирования партий;
- ◆ регистрация ключевых параметров технологических процессов, режимных параметров, их отклонений от заданных уставок;
- ◆ связывание идентификационных данных продукции с зарегистрированными производственными событиями;
- ◆ формирование генеалогии продукции и материалов.

В части задач контроля состояния и распределения ресурсов:

- ◆ расчет и контроль незавершенного производства;
- ◆ расчет баланса материальных потоков по партиям;
- ◆ учет и контроль рабочего времени в привязке к оборудованию, партиям.

В части задач контроля качества продукции:

- ◆ регистрация параметров и фактов отклонения технологических параметров от заданных в спецификациях значений;
- ◆ возможность анализа исторической информации в табличном виде и в виде трендов (с привязкой к партии продукции);
- ◆ связывание информации по результатам лабораторных анализов с идентификационной информацией партии;
- ◆ оценка количество металлов в продукции на основе данных лабораторных испытаний.

В части задач анализа эффективности оборудования:

- ◆ учет и анализ загрузки оборудования;
- ◆ учет и анализ простоев оборудования;
- ◆ расчет коэффициентов эффективности оборудования.

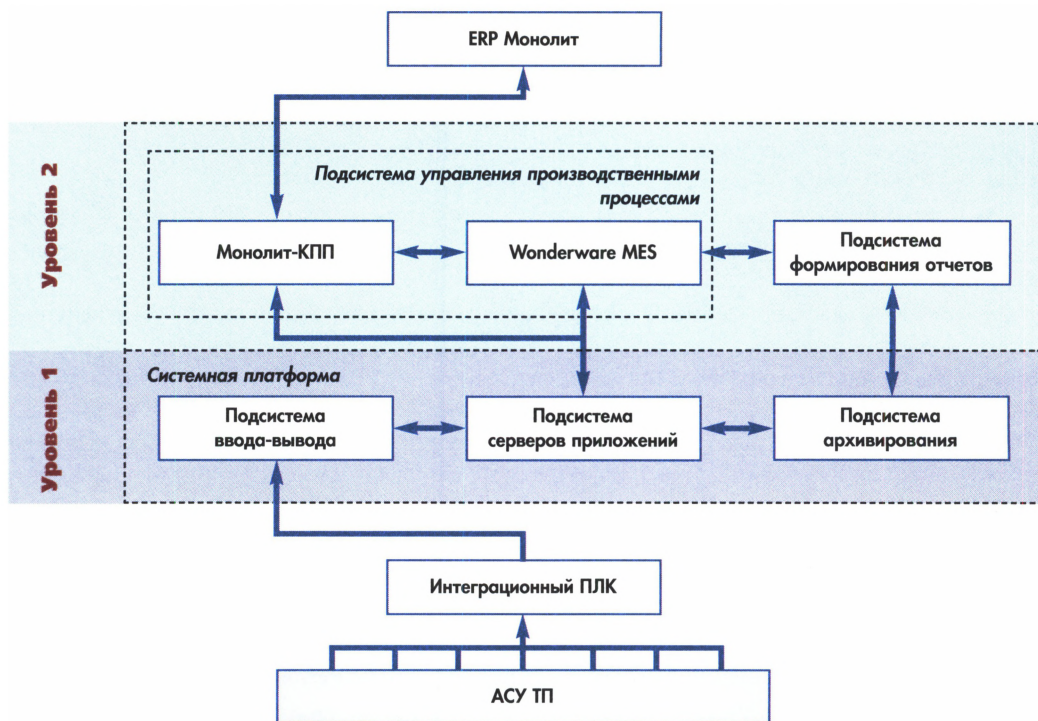
В части задач определения продукции:

- ◆ ведение информационной модели производства;
- ◆ ведение спецификаций продукции (количественные и качественные параметры), базы технологических рецептов;
- ◆ ведение и хранение базы электронных технологических инструкций.

### **3.2.3. Структура системы**

На рис. 19 представлена обобщенная структура системы. Функционально в системе можно выделить структурные элементы (подсистемы), среди которых:

- ◆ интеграционный ПЛК;
- ◆ системная платформа;
- ◆ подсистема оперативного управления производством:
  - оперативное планирование;
  - управление материальными потоками;
  - управление качеством продукции;
  - диспетчеризация, отслеживание операций;
  - анализ эффективности производства;
- ◆ подсистема формирования отчетов.



**Рис. 19.** Обобщенная структура системы управления производством

Интеграционный программируемый логический контроллер (ПЛК) обеспечивает сбор данных от локальных систем уровня АСУТП по имеющимся на текущий момент протоколам, а также агрегацию поступающих данных от нижестоящих систем, формирование производственных событий и передачу преобразованных данных в подсистему оперативного управления производством.

Системная платформа состоит из:

- ◆ подсистемы ввода-вывода;
- ◆ подсистемы серверов приложений;
- ◆ подсистемы архивирования.

Подсистема ввода-вывода системной платформы обеспечивает сбор данных с уровня АСУТП. Максимальное количество тэгов с учетом запаса на возможное расширение системы определяется на этапе технического проектирования. Возможно резервирование подсистемы ввода-вывода и ее функционирование в режиме горячего резервирования.

Подсистема серверов приложений должна обеспечивать информационную интеграцию всех подсистем создаваемой системы на основе объектной модели производства.

Подсистема архивирования данных обеспечивает архивирование информации, поступающей из подсистемы ввода-вывода, в режиме реального времени. Система предусматривает

архивирование необходимого количества тэгов с заданной частотой дискретизации. Максимальное количество архивируемых тэгов с учетом запаса на возможное расширение системы и частота дискретизации определяются на этапе технического проектирования.

Подсистема оперативного управления производством обеспечивает выполнение основных целевых функций системы, описанных в разделе 3.2.2.

Наконец, подсистема формирования отчетов обеспечивает формирование производственных отчетов и доступ к ним через веб-интерфейс.

### **Состав комплекса технических средств системы**

Проектная структура комплекса технических средств уточняется на этапе технического проектирования. Базовый комплекс технических средств системы включает:

- ◆ интеграционный ПЛК;
- ◆ серверное оборудование;
- ◆ автоматизированные рабочие места (АРМ);
- ◆ сеть передачи данных.

В состав серверного оборудования входят серверы приложений, сервер баз данных MES, сервер архивирования технологической информации Historian, сервер отчетов и сервер ввода-вывода.

Проектом предусматривается установка АРМ операторов, специалистов и руководителей.

Сеть передачи данных должна входить в существующую корпоративную сеть предприятия как новый сегмент (подсеть).

### **Структура и состав программного обеспечения**

К числу основных поставщиков инструментальных средств для создания систем оперативно-календарного планирования можно отнести тех, кто десятки лет поставляет на рынки ERP-системы, поставщиков APS-систем и систем поддержки детализированного планирования расписаний. На рынок систем детализированного планирования цехового уровня устремились как разработчики ERP-систем (например, специализированные модули от SAP), так и SCADA. Появились также специализированные компании, которые на опыте ERP начали создавать «цельные» системы планирования, включающие все уровни планирования, от объемного до детализированного календарного (PSIPenta).

Ниже представлено краткое описание продуктов компании Preactor, традиционно ориентированных на задачи детализированного оперативно-календарного планирования, включая APS. Применение подобного класса продуктов предпочтительно там, где внедрена ERP-система с поддержкой функций объемного планирования.



В подсистемах диспетчерского управления, управления качеством и т. д. компаниями «РТСофт» используется программное обеспечение ведущих мировых компаний Microsoft и Wonderware последних версий (см. раздел ниже).

В качестве системного программного обеспечения применяются операционные системы Microsoft семейства Windows. На серверах используются серверные операционные системы Windows, на АРМ используются операционные системы Windows XP Professional.

Базовое программное обеспечение строится на программных продуктах Wonderware и включает в себя системы управления базами данных Microsoft SQL Server.

В качестве базового программного обеспечения сервера приложений используется Wonderware Application Server.

В качестве базового программного обеспечения подсистемы архивирования технологической информации используется Wonderware Historian Server.

Подсистема управления производственными процессами использует в качестве базового программного обеспечения Wonderware MES.

Для сервера производственной отчетности системы базовым программным обеспечением является Wonderware Information Server.

### 3.3. COTS-средства

#### **3.3.1. Реализация функции оперативного планирования на базе Preactor FCS/APS**

Тенденции современного производственного процесса таковы, что компании стремятся сокращать объемы складских запасов для уменьшения издержек, но в то же время они должны быть готовы удовлетворять спрос во все более короткие сроки. Для достижения этих противоречивых задач компании вынуждены искать способы оптимизации производственного процесса, например сокращение времени на наладку и переналадку при смене продуктов. Программное обеспечение Preactor было разработано именно для достижения этих целей:

- ◆ Расчет производственного расписания загрузки оборудования по различным критериям.
- ◆ Формирование и модификация оперативных производственных планов цеха с учетом имеющихся межоперационных заделов и текущего состояния технологического оборудования.
- ◆ Формирование сменно-суточных заданий на рабочие места цеха.
- ◆ Формирование оперативных маршрутных карт по всем партиям запуска с контролем их прохождения по рабочим местам.

- ◆ Формирование и автоматическая коррекция планово-учетного графика изготовления комплектов деталей.
- ◆ Представление результатов расчета расписания в виде таблиц текущего состояния партий запуска, графиков обработки партий деталей.
- ◆ Расчет времени простоя оборудования и не использования деталей.
- ◆ Печать внутрицеховых документов: сменно-суточные задания на рабочие места, оперативные маршрутные карты, рабочие наряды, планово-учетные графики изготовления изделий и пр.

ПО Preactor было разработано, чтобы улучшить, а не заменить уже действующие системы. ПО Preactor довольно часто интегрируется вместе с системой планирования ресурсов предприятия (ERP), пакетами для бухгалтерского учета, инструментами сбора данных, пакетами для построения прогнозов и ведения планирования спроса.

Для расчета производственных расписаний на отечественных предприятиях все еще используются статические инструменты, такие как сетевые графики и т. п. Но события, вносящие существенные изменения в расписания, происходят столь часто и в таких количествах, что возможности статического инструмента, и тем более человека, не позволяют учитывать их в полном объеме и поддерживать расписание в оптимальном состоянии. В результате оперативный план быстро перестает соответствовать действительности и теряет свою актуальность. Как следствие, уровень организации производства резко падает, снижается его рентабельность.

ПО Preactor обеспечивает возможность построения детального календарного графика деятельности и интерактивную среду для планирования, которая необходима компании для более гибкого реагирования и осуществления своевременных поставок в условиях меняющегося спроса.

Решения Preactor в области оперативного и календарного планирования предлагают компаниям возможность контролировать текущую ситуацию и прогнозировать, к каким результатам приведут принимаемые решения в будущем. Они позволяют отследить текущую загрузку, моделируют воздействие непредвиденных обстоятельств на производительность и время исполнения заказов, а также предоставляют инструментарий для проверки возможных вариантов до принятия важных решений.

Preactor – это целая линейка продуктов, которые, базируясь на одной технологии, имеют разные уровни функциональности и разные ценовые уровни, так что пользователь может выбрать ту версию, которая лучше всего отвечает его потребностям и бюджетным ограничениям.

Благодаря единому принципу действия, поддерживаемому всеми версиями, переход от использования одной версии к другой, более продвинутой, легко осуществим. Разработаны три основных типа инструментов для текущего и календарного планирования, а именно:

- ◆ для календарного планирования с ограничениями ресурсов (Finite Capacity Scheduling Tools – FCS);

- ◆ для планирования загрузки ресурсов (Capacity Planning Tools);
- ◆ для улучшенного оперативного и календарного планирования (Advanced Planning and Scheduling Tools – APS).

Рассматриваемый набор инструментов включает Preactor версий 100 FCS, 200 FCS, 300 FCS (рис. 20), которые позволяют алгоритмизировать построение качественных и надежных календарных графиков производства на периоды от нескольких дней до нескольких месяцев вперед (рис. 21). Обычно они используются для помощи в принятии повседневных решений для распределения заказов и оперативного реагирования на производственном уровне.



Рис. 20. Семейство продуктов Preactor

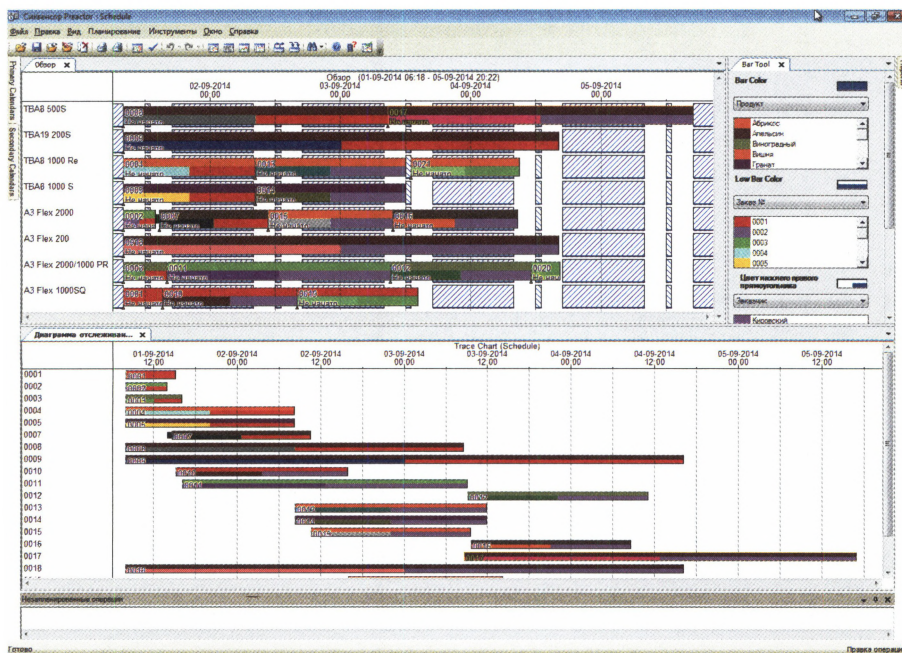
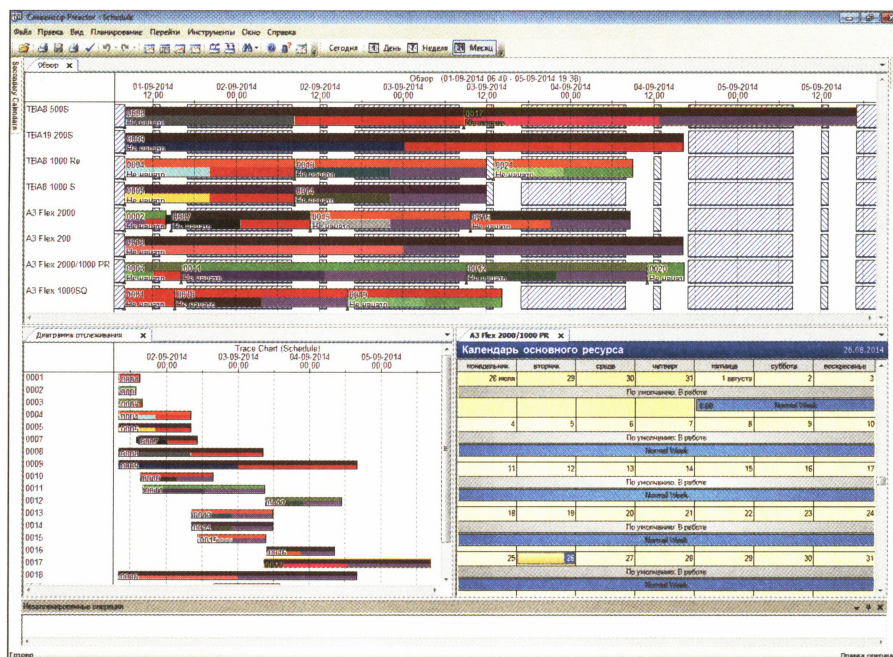


Рис. 21. Детализированный план-график

Версия 100 FCS предназначена для небольших компаний с ограниченным бюджетом и обычно используется отдельно. Эта версия готова к непосредственному применению и имеет ограниченные возможности дополнительных или специальных настроек.

Версии 200 FCS и 300 FCS более гибкие и имеют больший набор опций для сложных приложений. Например, в версии 200 FCS предлагаются варианты учета ситуаций, связанных с переналадкой оборудования для перехода на изготовление нового продукта, возможна разбивка заказа на партии в зависимости от принимаемых решений по планированию, а в версии 300 FCS предусмотрены множественные ограничения по ресурсам на отдельную операцию. Версия Preactor 300 FCS также может быть настроена под планирование производительности. Различные приложения для оперативного и календарного планирования различаются по своим функциям. Данная версия предназначена для планирования того, что, где и когда производить, основываясь на информации о предполагаемом спросе, наличии готового товара на складе и принципах заказа комплектующих. В совокупности с информацией о текущих заказах эти данные являются основой для выработки основного производственного плана.

Версия Preactor 400 APS имеет дополнительные алгоритмы, позволяющие работать даже с самыми сложными приложениями и при составлении графика деятельности принимать во внимание не только оборудование, трудовые ресурсы, инструментарий, но и материалы (рис. 22).



**Рис. 22.** Составление графика с учетом оборудования, трудовых ресурсов, инструментария и материалов

Версия имеет несколько встроенных решений, которые позволяют минимизировать время переналадки при переходе на производство нового продукта, определять предпочтительный алгоритм действий, находить проблемные места в производственном процессе. Если предлагаемые решения не отвечают требованиям пользователя, существует возможность добавления специально разработанных функций.

Версия Preactor 400 APS имеет функции автоматического связывания индивидуальных заказов, например при выполнении окончательной сборки. Часто системы ERP создают производственные заказы для каждого уровня спецификации изделий (BOM, Bill of Materials) и



Таблица 9. Сравнение версий продуктов семейства Preactor

Функциональные возможности	FPS 300	APS 400, 500
Прямое, обратное и двунаправленное планирование	✓	✓
Планирование с учетом критериев (приоритеты, даты)	✓	✓
Возможность ручного управления операциями	✓	✓
Автоматический выбор альтернативных маршрутов. Параллельное выполнение операций	✓	✓
Измерение производительности в разрезе деталей, часов, партий	✓	✓
Работа с конечными и бесконечными ресурсами, поддержка сменных календарей	✓	✓
Автоматический выбор ресурсов внутри группы	✓	✓
Возможность самостоятельного определения состояния ресурса (обслуживание, поломка)	✓	✓
Графические и структурные отчеты	✓	✓
Диаграмма Ганта, схемы простоев, контроль исполнения заказов	✓	✓
Печать сменных заданий, дневных планов	✓	✓
Настраиваемые пользователем базы данных, меню и отчеты	✓	✓
Сортировка, перемещение, повтор партий, отмена заказов	✓	✓
Оценка возможности производства для заказа (ATP)	✓	✓
Возможность интеграции с внешними программами с помощью ActiveX	✓	✓
Максимальная длительность операции и интервал задержки между операциями	✓	✓
Разбиение и объединение партий при загрузке данных из MRP		✓
Последовательное и параллельное планирование операций различных заказов		✓
Сервер управления цепочками поставок		✓
Модуль динамического управления доступностью Материалов		✓
Распределенное межзаводское планирование		✓

могут объединять производство комплектующих для разных заказов. Версия Preactor 400 APS дает возможность использовать эту информацию и рассчитывать время выполнения зависимых заказов, основываясь на задаваемых пользователем правилах. Подобные связи используются в качестве критериев при создании расписания, с тем чтобы, если, например, продукт, производимый по одному заказу, задерживается, можно было определить последствия для выполнения заказов, которые зависят от него. Эта информация может быть ис-



пользована и для создания заказов на поставку комплектующих и для клиентских заказов, так чтобы все потоки были очевидны. Ниже приведена таблица сравнения функциональных возможностей программных продуктов семейства Preactor (таблица 9).

Перечень функций для сравнения значительно сокращен авторами для удобства чтения книги.

Известно, что современные системы, используемые в управлении предприятиями, не могут существовать сами по себе без связи с другим программным обеспечением. Preactor основан на современных отраслевых стандартах (.NET и MS SQL Server) и поддерживает практически все общепринятые на сегодняшний день технологии интеграции программного обеспечения: XML-, CSV-файлы, Active X, .NET, SQL Server Integration Services и другие.

### **3.3.2. Программное обеспечение Wonderware MES**

Программное обеспечение Wonderware MES предоставляет предприятиям полнофункциональную систему оперативного управления производством, позволяющую эффективно управлять операциями, отслеживать передвижение и потребление материалов, использование активов и ресурсов.

ПО Wonderware MES 4.0 содержит два модуля, Operations и Performance, совместно реализующие полные функциональные возможности MES.

Wonderware MES/Operations помогает производственным компаниям управлять производственными операциями, исполнять их и документировать. С его помощью можно фиксировать, контролировать и администрировать такие процессы, как потребление материалов, управление спецификациями и процедуры исполнения автоматических и ручных операций.

Программное обеспечение Wonderware MES в реальном времени обеспечивает визуализацию всего спектра производственных процессов: от планирования и задания параметров до действительного исполнения производственных операций. В ходе производства можно в реальном времени или хронологически отслеживать: расходование материалов и людских ресурсов, партии изделий, запасы для текущих работ, выход продукции и готовых изделий, а также другие важные производственные показатели. Можно создать полное генеалогическое дерево всех производственных операций, которое будет доступно операторам и другим сотрудникам предприятия.

Гибкость производственных процессов является ключевым условием, но для того, чтобы повысить ее, владельцу необходимо глубоко понимать свои производственные процессы и предвидеть возможные события на предприятии. Wonderware MES не только предоставляет в реальном времени необходимую для повышения гибкости информацию о производстве, но и выдает ее в нужный момент именно тем сотрудникам, которым она требуется.

Ключевой задачей для многих производителей является повышение согласованности исполнения технологических последовательностей. Ее решение начинается с правильной интерпретации производственных инструкций и процедур. ПО Wonderware MES/Operations обеспечивает централизованное конфигурирование и сопровождение этапов и процедур производства, ведомостей и спецификаций на материалы. Оно позволяет обеспечить более

стабильные производственные показатели благодаря принципу использования шаблонов. Базовые шаблоны могут создаваться группой разработчиков и впоследствии многократно использоваться инженерами предприятий для быстрого выстраивания производственных процессов.

ПО Wonderware MES/Operations интегрировано с продуктами Wonderware InTouch и Wonderware System Platform, что позволяет регистрировать весь массив производственной информации и предоставлять его оперативному персоналу и другим сотрудникам через интуитивный пользовательский интерфейс.

Приложение Wonderware Information Server также интегрировано с системой Wonderware MES/Operations, что обеспечивает доступ к производственной веб-отчетности через Интернет любым заинтересованным сотрудникам. Wonderware Information Server можно настроить таким образом, чтобы каждый пользователь видел только ту информацию, которая ему необходима для повышения эффективности труда.

ПО Wonderware MES/Performance позволяет производственным компаниям тщательно собирать все важнейшие данные о производительности оборудования и использовать их для оптимизации возможностей своих производственных ресурсов, поддерживая и стимулируя инициативы «бережливого производства».

Для успешной эксплуатации производственного оборудования нужны высококачественные актуальные данные о его простоях и эффективности работы. Во многих компаниях мониторинг простоев и оценка основных причин производственных потерь осуществляются с применением бумажных носителей или вообще отсутствуют. ПО Wonderware MES/Performance интегрируется с существующими системами автоматизации и генерирует высокоточные и своевременные отчеты о качестве работы оборудования. Кратковременные события, которые в случае бумагооборота обычно вообще не регистрируются, теперь можно систематизировать в порядке их важности. Эти кратковременные события могут быть причиной значительного процента простоев, но благодаря возможностям их отслеживания, обеспечиваемым системой Wonderware MES, специалисты теперь могут наглядно оценивать их влияние на продолжительность простоев и корректировать их последствия. Автоматический контроль эффективности оборудования оперативно выявляет эффективно работающие участки и узкие места.

ПО Wonderware MES/Performance позволяет отслеживать неограниченное число возможных кодов причин простоя оборудования и производить неограниченное число измерений итоговой эффективности оборудования (ОЕЕ) – одного из наиболее распространенных показателей текущей эффективности оборудования. Наглядность показателей КПЭ, отражающих эффективность использования ресурсов в реальном времени, позволяет операторам принимать необходимые меры, а также создает отправную точку для последующего улучшения производительности.

Продукты Wonderware уровня 1 (рис. 4) будут рассмотрены ниже.

## Резюме

Трудно переоценить процесс оперативно-календарного планирования цехового уровня и, соответственно, автоматизацию данного процесса для качественной организации и оптимизации процесса производства. С одной стороны, правильно составленный график позволяет прогнозировать выпуск изделий, их объем на заданный период. Маркетинговые и сбытовые структуры достаточно уверенно могут работать на рынке. С другой стороны, производственные подразделения, получая конкретный план для каждого рабочего места, должны достигать его выполнения. Мотивационные схемы в цехах могут обоснованно отстраиваться от выполнения плана по каждому исполнителю. Учетные данные по результатам исполнения плана в сравнении с плановыми являются исходной информацией для совершенствования оперативно-календарного планирования, уточнения стандартов, норм.

Важной задачей при внедрении систем оперативно-календарного планирования является встраивание в существующий на предприятии ландшафт автоматизированных систем. На предприятии могут быть внедрены системы класса ERP в разном объеме, в каком-то объеме АСУТП, диспетчерская система АСОДУ, система управления проектами (для проектно ориентированных организаций). Значительный объем существующих систем автоматизации усложняет задачу позиционирования и внедрения системы оперативно-календарного планирования, но и результат в виде создания комплексной системы может превзойти ожидания.

## ГЛАВА 4. Процессы планирования, оперативно-диспетчерского управления и материального учета

Процесс управления производством, ресурсами производства строится по циклу PDCA (Plan – Do – Check – Act), известной модели непрерывного улучшения процессов:

- ◆ **Планирование.** Оцените свои возможности и спланируйте желаемое изменение.
- ◆ **Выполнение.** Осуществите запланированные мероприятия и оцените полученное изменение.
- ◆ **Проверка.** Проанализируйте результаты контроля и сделайте выводы.
- ◆ **Действия.** Действуйте на основе выводов, сделанных на предыдущем этапе. Если изменение оказалось успешным, используйте полученный опыт для проведения более значительных изменений. Если нет, еще раз повторите цикл, но по другому плану.

Цикл PDCA известен также под двумя другими названиями: цикл Шухарта и цикл Деминга. У. Шухарт впервые описал концепцию PDCA в 1939 г. в своей книге «Статистические методы с точки зрения управления качеством». Идея цикличности, отметил он, отражает ту мысль, что основой успешного развития предприятия является постоянная оценка практики управления, совмещенная с готовностью менеджеров поддерживать оригинальные идеи и отказываться от неудачного опыта. Э. Деминг первым назвал цикл PDCA циклом Шухарта – в честь своего наставника и учителя. Э. Деминг пропагандировал использование этого цикла в качестве основного способа достижения непрерывного улучшения процессов. Э. Деминг вдохновил японцев на использование цикла PDCA, и они назвали этот цикл циклом Деминга.

### 4.1. Планирование

Повышение эффективности функционирования производства в первую очередь связано с улучшением методологии и инструментария производственного и инвестиционного планирования, решением задач оптимизации производственных планов, отражающих различные сценарии изменения технологического состояния производства. Для этого используется сложный математический аппарат, направленный на решение задач линейного и нелинейного математического программирования. Структурно коммерческие продукты включают в себя набор программных модулей, процессоров, библиотек, с помощью которых осуществляется генерация модели в виде матрицы задачи математического программирования, с последующей настройкой и формированием выходных отчетных форм. Центровые блоки инструментариев обеспечивают соединение моделей отдельных установок в общую модель производства.

В базе данных содержится полный спектр базовых моделей установок производства в весовых и объемных вариантах.

К особенностям таких инструментов следует отнести зависимость от типа непрерывного производства. Так, для нефтепереработки и нефтехимии широкое распространение получают продукты RPMS (Refinery and Petrochemical Modeling System) от компании Honeywell Hi-Spec Solutions, PIMS от компании AspenTech и др.

Поскольку мы останавливаемся на более универсальных (не специализированных) продуктовых линейках, то ограничимся таким введением.

## 4.2. Оперативно-диспетчерское управление

Диспетчеризация своими корнями уходит в далекий 18-й век, когда начался переход от ремесленного производства к промышленному. По определению, диспетчеризация (от англ. *dispatch* – быстро выполнять) – это централизация оперативного контроля и координация управления производственными процессами с целью обеспечения согласованной работы отдельных звеньев предприятия или группы предприятий для достижения наивысших технико-экономических показателей.

С годами менялись и расширялись функции диспетчеризации. Но ее главная цель фактически не претерпела изменений: целью диспетчеризации по-прежнему остается повышение эффективности производства. Не изменилась и «платформа», на которой «стоит» система диспетчеризации – в основе этого процесса всегда была и по сей день остается **информация**. Только методы и средства ее сбора, передачи и представления с годами существенно изменились.

Сегодня управление промышленными предприятиями осуществляется иерархической многоуровневой системой. Базовыми функциями любой информационно-управляющей системы являются сбор, унификация, хранение, типовая обработка и предоставление информации заинтересованным пользователям. Поэтому диспетчерское управление производством предполагает два важнейших аспекта – **централизацию и интеграцию**.

Слово «централизация» здесь употреблено в смысле полноты информации, необходимой диспетчеру для реализации своих функций.

Интеграция, как уже известно, предполагает создание единого информационного пространства предприятия на базе всеобъемлющей системы мониторинга технологических, хозяйственных параметров и параметров, характеризующих состояние технологического оборудования.

Технологический уровень многих предприятий уже оборудован АСУТП на базе современных программно-технических средств – SCADA и DCS. Для автоматизации управления производственно-хозяйственной деятельностью на предприятиях последние годы активно внедрялись ERP-системы на базе SAP/R3, Oracle E – Business Suite и т. п.

Основным препятствием при обмене информацией долгое время были интерфейсы между системами управления нижнего и верхнего уровня. И все это потому, что внизу большое



разнообразие программно-технических средств автоматизации, современных, а иногда и морально устаревших.

Появление на российском рынке специализированных программных продуктов, способных взять на себя «интегрирующую» функцию, в корне изменило сложившуюся ситуацию. Одно из таких решений – использование баз данных реального времени для сбора и хранения огромных объемов данных.

Степень важности задач управления производством зависит от периода, которое переживает предприятие. *Теоретически* решение задачи интеграции должно предшествовать разработке системы управления производством, в частности системы диспетчеризации. Но в силу большого количества причин российские предприятия к началу 21-го века оказались на различном уровне с точки зрения внедрения информационных технологий в автоматизацию производства. Поэтому *практически* каждое предприятие выбирает свой путь с учетом создавшейся ситуации.

Комплекс программно-технических средств диспетчеризации является информационным фундаментом всей автоматизированной системы управления производственными процессами. Процесс диспетчеризации, координирующий и связывающий воедино весь цикл управления производством, обеспечивает своего рода мост между оперативным управлением процессом производства и организационно-экономическим управлением деятельностью всего предприятия.

В этом плане автоматизированная система оперативного диспетчерского управления (АСОДУ) имеет две базовые компоненты по сбору информации:

- ◆ Сбор всех оперативных данных в автоматическом или ручном режимах со всех локальных источников в интересах MES- и ERP-систем.
- ◆ Сбор всех оперативных данных в форматах, ориентированных на диспетчера, в виде специализированных экранных форм и отчетов.

Наверное, поэтому для большинства российских предприятий задача диспетчеризации и мониторинга производственного процесса является наиболее востребованной и занимает первое место в списке задач производственного уровня. Важность процесса диспетчеризации подчеркивается и приведенными ниже выдержками результатов обследования одного из нефтеперерабатывающих заводов.

### **Из характеристики установки селективной очистки масел**

*Данные с установки не могут передаваться автоматически в связи с тем, что функционирующая на сегодняшний день система автоматизации не поддерживает передачу данных в другие приложения, нет связи с локальной вычислительной сетью (ЛВС) завода.*

### **Из характеристики резервуарных парков**

*Резервуары снабжены уровнемерами, данные с которых отображаются на вторичных приборах. Операторы фиксируют уровень в резервуарах и в ручную, по калибровочным таблицам,*

рассчитывают массу продукта, используя плотность и температуру, сообщенные из лаборатории.

### **Центральная диспетчерская**

*В центральной диспетчерской предприятия собираются данные с ряда локальных систем автоматизации отдельных установок и участков, также каждые 4 часа по телефону передаются данные с установок, не оснащенных современными системами автоматизации.*

*Отчетные документы используются главными специалистами предприятия для оперативно-диспетчерского анализа производства. Однако существует потребность предоставления информации в смежные процессы.*

### **Планово-экономический отдел**

*Экономисты вручную в книгах материальных балансов составляют балансы по нефтепродуктам всех установок для всех производств.*

*Баланс ведется за день и нарастающим итогом с начала месяца, с учетом остатков нефтепродуктов и потерь. Сходимость баланса за день проверяется вручную, часто производятся согласования данных и подгонки. По этим данным составляются оперативные сводки.*

В этих выдержках хорошо просматриваются и «оперативность», и «достоверность» информации, на базе которой принимаются управленческие решения. Читатель не может не согласиться с нами — **так не должно быть!**

А как должно быть?

#### **4.2.1. Задача интеграции информационных систем**

В книге часто употребляется слово «предприятие». Настало время сделать некоторые уточнения. Есть предприятия, у которых технологические объекты удалены от диспетчерских пунктов на десятки, а то и сотни километров. К таким предприятиям прежде всего следует отнести предприятия добычи и транспорта нефти и газа. Процесс диспетчеризации на таких предприятиях обеспечивается многоуровневыми системами, отражающими их организационную структуру. Для межуровневого взаимодействия используется протяженные каналы связи (в том числе и радиоканал). А протяженность каналов связи измеряется километрами и десятками километров.

Например, диспетчерское управление единой системой газоснабжения (ЕСГ) строится по четырехуровневому принципу:

- ◆ ЦПДД – центральный производственно-диспетчерский департамент «Газпрома»;
- ◆ ПДС – производственно-диспетчерская служба газотранспортных предприятий (ГТП);
- ◆ ДП – диспетчерские пункты линейно-производственных управлений (ЛПУ).

- ◆ ДП – диспетчерские пункты компрессорных станций (КС).

Линейно-производственные управления (филиалы ГТП) и есть те самые территориально распределенные предприятия, в зону ответственности которых входят компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС), крановые площадки и другие объекты.

В нефтедобыче такая иерархия выглядит примерно следующим образом:

- ◆ ЦИТС – центральная инженерно-технологическая (в том числе и диспетчерская) служба НГДУ;
- ◆ ДП – диспетчерские пункты промыслов (цехов);
- ◆ АСУТП ДНС, КНС, УПН (операторные), телемеханика кустов скважин и т. д.

Для таких предприятий характерен **иерархический** способ построения информационной системы. Данные реального времени от АСУТП через коммуникационные серверы поднимаются на интеграционный уровень в базу данных реального времени. Далее часть данных реального времени и данные, характеризующие расходные показатели и состояние оборудования, поднимаются на уровень предприятия. Управляющие воздействия верхнего уровня на технологические объекты реализуются в обратном направлении через интеграционный уровень.

Построение диспетчерских комплексов по иерархической схеме предлагается рассмотреть на примере добычи нефти (рис. 23).

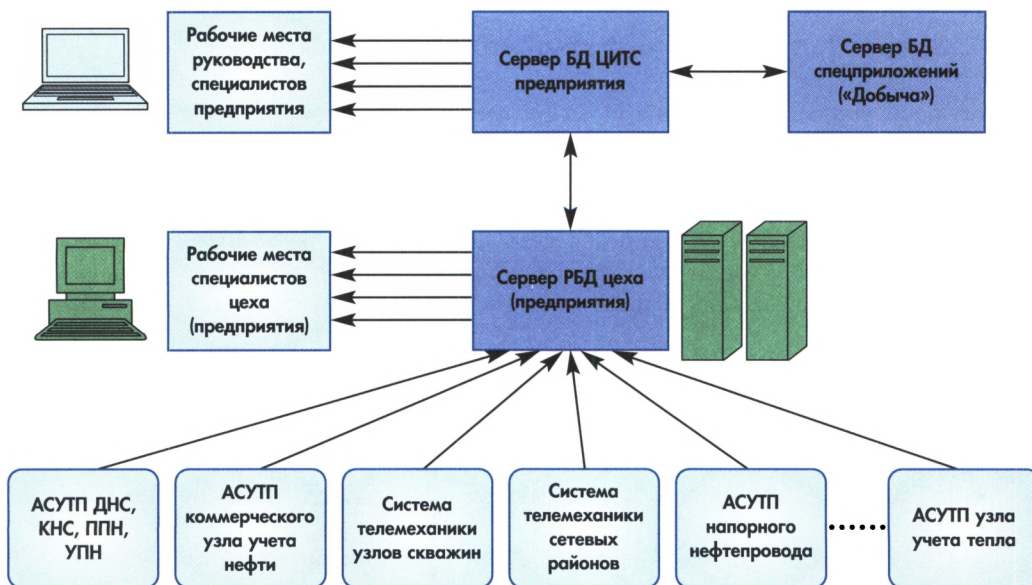


Рис. 23. Пример схемы сбора данных для предприятия нефтедобычи

В системе просматриваются три уровня: технологический, уровень цеха (промысла) и уровень предприятия.

Технологический уровень представлен системами АСУТП различного назначения и выполненными на базе различных аппаратно-программных средств. Среди них могут быть АСУТП ДНС, КНС, УПН, ЦПС (см. список сокращений), телемеханика кустов скважин, АСУТП энергетических объектов и т. п. С коммуникационных серверов этого уровня данные реального времени «поднимаются» на уровень цеха.

Оперативно-технологический сервер уровня цеха предназначен для сбора оперативных данных от различных источников технологической информации (АСУТП) и учетной информации (системы коммерческого и технологического учета), а также их архивирования и агрегирования. База данных этого уровня представляет собой базу данных реального времени (БДРВ).

На уровне предприятия (ЦИТС) – корпоративный сервер на платформе базы данных реляционного типа (например, ORACLE). Здесь же – веб-портал, представленный корпоративным информационным сервером. Основная задача этого сервера – обеспечение информацией АРМ специалистов и руководителей.

С другой стороны, есть предприятия, технологические объекты которых являются «площадными», то есть расположенными компактно на определенной площади. В таком случае и диспетчерские пункты находятся рядом. К таким предприятиям можно отнести подавляющее большинство предприятий перерабатывающих отраслей – нефтепереработки, нефтехимии, фармацевтической, пищевой промышленности, машиностроения и т. д. Для межуровневого взаимодействия в таких случаях используются проводные каналы связи, протяженность каналов – сотни метров, километры.

В этом случае возможны два варианта реализации информационных систем: централизованный или диспетчерский.

**Централизованный вариант** информационной системы строится по двухуровневому принципу. Первый уровень представлен коммуникационными серверами АСУТП всех заводских объектов, второй уровень – центральным сервером БДРВ. По направлению информационных потоков и потоков управления централизованная система отличается от иерархической.

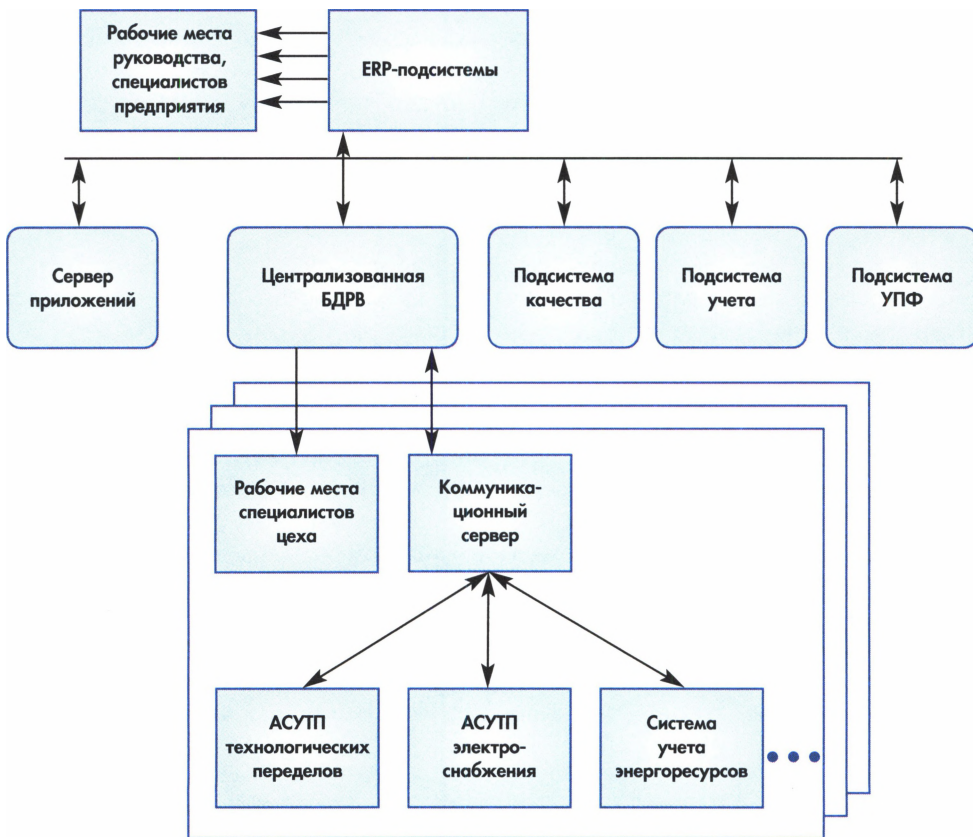
Централизованный вариант ориентирован на постоянное сохранение всей технологической информации на интеграционном уровне. Приложения уровней АСУП и АСУТП используют данные интеграционного уровня и могут не сохранять на своем уровне даже обработанную информацию – при необходимости имеется возможность обратиться к данным интеграционного уровня. Каналы связи быстры и надежны. Соответствующее приложение, например бизнес-уровня, всегда может получить результат по известному алгоритму, запросив данные с интеграционного уровня (рис. 24).

Первый уровень представлен коммуникационными серверами АСУТП. Второй уровень – сервером БДРВ, сервером приложений и веб-сервером. С одной стороны, уровень коммуникационных серверов обеспечивает связь с РСУ или ИИС по соответствующим протоколам, а с другой – связь с базой данных реального времени.

Сервер БДРВ – это отказоустойчивый сервер, обеспечивающий непрерывный сбор данных с коммуникационных серверов. Сервер приложений – сервер, на котором хранятся клиентские приложения и копии приложений, установленных на коммуникационных серверах. Сервер приложений является также местом хранения и сетевой разработки клиентских приложений. Клиентские приложения, функционирующие в зоне ЛВС предприятия, автоматически должны получать их обновленные версии в случае внесения изменений.

*Примечание.* Централизованные системы мы уже «проходили» в 70-х годах прошлого века. Но тогда это понятие относилось к уровню АСУТП и суть его состояла в следующем: все сигналы от датчиков технологических параметров установки (от термодпар, датчиков давления, расхода, уровня и других) заводились на управляющую вычислительную машину (УВМ). Порочность такой системы заключалась в том, что УВМ была крайне ненадежна, да и резервировать ее было очень дорого. И количество проводов и кабелей для подключения объекта управления к машине было огромным (сотни параметров – сотни каналов связи). С появлением DCS все встало на свои места: контроллеры, имеющие высокую надежность, приблизились к объекту, и система стала распределенной.

Надежность современных компьютеров не вызывает сомнения, резервирование делает их практически безотказными. Несколько десятков километров сетевого кабеля тоже «не пе-



**Рис. 24.** Централизованный вариант построения диспетчерской системы (УПФ – управление производственными фондами)



регружать» стоимость проекта. Все это позволяет посмотреть на централизованную структуру другими глазами.

**Диспетчерский вариант** (рис. 25) предполагает, что интеграционные приложения распределены по цехам. Такой вариант построения информационной системы можно встретить прежде всего с явно выраженной хозрасчетной цеховой организацией производства, где цех как мини-предприятие. MES-решение представлено сервером базы данных и клиентскими приложениями, реализованными в цехах. А на верхнем уровне имеется база данных реляционного типа для решения бизнес-задач.

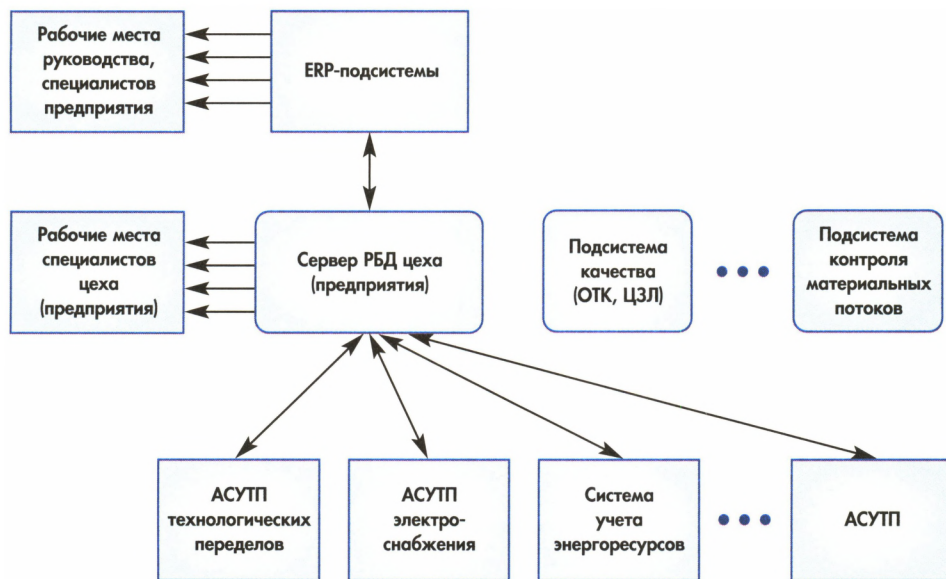


Рис. 25. Диспетчерская схема построения

Каждый из этих вариантов имеет право на жизнь – создаваемая информационная система должна подстраиваться под сложившуюся годами организационную структуру предприятия, под существующие потоки информации, т. е. под конкретное предприятие. Структура информационной системы может носить и смешанный характер, а степень компромисса между ними обычно выясняется при реализации конкретного проекта.

#### 4.2.2. Системы диспетчеризации

При построении системы диспетчеризации задача интеграции так или иначе должна быть решена. Если система диспетчеризации строится на пустом месте, сначала должна быть решена задача интеграции информационных потоков. И только после этого (или параллельно) решается задача собственно диспетчеризации.

В данном разделе речь пойдет о диспетчеризации как об одном из производственных процессов (хотя и очень важном) системы управления. И сразу же встает ряд вопросов: о какой информации, ориентированной на диспетчера, идет речь и каким образом желательно эту информацию представить диспетчеру? Ответы на эти и многие другие вопросы предлагаются ниже.

## Задачи и функции

В силу того что предлагаемая книга не является «отраслевой», хотя выше и приведены примеры из нефтегазовой отрасли, в этом разделе имеет смысл говорить лишь об **обобщенных** задачах и функциях, стоящих перед диспетчеризацией.

Внедрение АСОДУ имеет целью повышение эффективности предприятия, лучшее использование производственных мощностей на основе оперативной и достоверной информации. АСОДУ может рассматриваться как информационный инструмент для обнаружения источников экономии производственных затрат. Кроме этого внедрение любых технологий автоматизации позволяет устранить или, по крайней мере, снизить влияние человеческого фактора при подготовке и принятии управленческих решений, и на АСОДУ это правило распространяется в первую очередь.

Задачами АСОДУ являются:

- ◆ обеспечение информационной прозрачности;
- ◆ повышение оперативности управления;
- ◆ повышение качества информации;
- ◆ повышение качества управленческих решений;
- ◆ снижение затрат на обслуживание оборудования;
- ◆ обеспечение надежности функционирования технологических процессов.

Создание конкретной АСОДУ может преследовать и другие задачи.

К **базовым** функциям системы диспетчеризации можно отнести:

- ◆ сбор значений технологических параметров и состояния оборудования со всех АСУТП и ИИС, входящих в систему управления;
- ◆ долговременное хранение информации;
- ◆ предоставление доступа к информации оперативному персоналу (диспетчеру) и обеспечение веб-доступа к параметрам долговременного хранения на базе АРМ специалистов и руководителей;
- ◆ информационное взаимодействие с системой управления верхнего уровня.

**Целевые** функции системы диспетчеризации определяют набор информации, необходимой диспетчеру для выполнения своих функциональных обязанностей (в соответствии с ролевой моделью). К таким функциональным обязанностям в первую очередь можно отнести:

- ◆ контроль режима работы и состояния технологического оборудования в целом по предприятию;

- ◆ управление отклонениями (алармами) с регистрацией управляющих воздействий на эти отклонения;
- ◆ ведение утвержденной отчетности.

Но для этого система диспетчеризации (комплекс программно-технических средств) должна реализовать широкий набор функций, среди которых:

- ◆ представление текущего состояния технологических процессов и оборудования в виде мнемосхем с возможностью навигации по мнемосхемам в вертикальной и горизонтальной развертке;
- ◆ представление исторических данных в графическом (тренды) и цифровом виде;
- ◆ регистрация и архивирование текущих алармов, предаварийных и аварийных событий;
- ◆ отображение возникновения аварийных и предаварийных состояний оборудования;
- ◆ представление оперативных сводок и журналов алармов;
- ◆ регистрация действий диспетчерского персонала;
- ◆ предоставление нормативно-справочной производственной информации;
- ◆ формирование отчетных документов.

Список функций можно и продолжить. Здесь перечислены лишь функции, свойственные практически любому программно-техническому комплексу диспетчеризации независимо от отрасли предприятия, к которой оно относится.

Реально на каждом конкретном предприятии функции диспетчерского персонала, главных специалистов и руководителей предприятия (ролевые функции) зависят от многих факторов – специфика отрасли, размеры предприятия. Именно размерами предприятий определяются объемы циркулирующей информации и количество работающих там специалистов.

### **Информационно-технические уровни АСОДУ**

Рассмотренные выше структуры информационных систем и базовые функции систем диспетчеризации позволяют выделить четыре информационно-технических уровня системы диспетчеризации (рис. 26).

#### **Уровень 1 – локальные системы автоматизации**

Данный уровень включает системы автоматизации технологических процессов (АСУТП), системы коммерческого и технического учета энергоресурсов, системы автоматизации вспомогательных производств, системы телемеханики, системы ручного ввода технологических данных и др.



**Рис. 26.** Четыре уровня системы АСУДУ

Прикладное программное обеспечение этих систем решает задачи сбора первичной информации реального времени с объектов автоматизации, обеспечивая локальные архивы и организуя передачу данных по различным каналам связи в БДРВ (на оперативно-технологический сервер данных).

В каждой отрасли автоматизация технологических процессов строится на базе как специализированных средств, так и универсальных. Ниже приведен краткий обзор программно-технических средств локальных систем автоматизации для нефтегазовой отрасли.

Основными объектами автоматизации в транспорте газа являются газоперекачивающие агрегаты (ГПА), компрессорные цеха (КЦ), компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС), газоизмерительные станции (ГИС), крановые площадки и подземные хранилища газа (ПХГ).

Для создания систем управления этими объектами в последние годы использовался целый спектр программно-технических средств. Часто применяемые в настоящее время перечислены ниже.

Это ПТК ССС (Compressor Control Corporation), МСКУ-4510 и ее модификации (система «Сервис»), агрегатная и цеховая автоматика серий «Квант» и РИУС («Вега-Газ»), система цехового уровня «ПОТОК» («Газавтоматика»), цеховые решения на платформе SIMATIC S7 производства Siemens, системы телемеханики «Магистраль-2» («Газприбоавтоматика»), СТН-3000, СПУРТ для уровня ЛПУ (АТГС).

В добыче газа явно выделяются два типа основных объектов управления: кусты газовых скважин и установки комплексной подготовки газа (УКПГ). Автоматизация кустов газовых скважин последние годы решалась в основном на базе систем телемеханики СТН-3000 (АТГС), «Ямбург-Гиперфлю-ТМ» («Вымпел», «Вира Реалтайм»). Многие АСУТП установок комплексной подготовки газа созданы на базе программно-технических средств компаний Siemens, GE Fanuc, Invensys Foxboro, Allen-Bradley и других производителей.

В нефтедобыче для автоматизации удаленных объектов (кустов скважин) долгое время находили применение контроллеры SCADAPack (Control Microsystems). Для автоматизации площадных объектов (КНС, ДНС, УПН) – контроллеры DL (Koyo) и SCADA InTouch интегрированного пакета FactorySuite (Wonderware), контроллеры типа SLC-5, ContoLogix (Allen-Bradley) и SCADA RSView32 (Rockwell Automation), система DeltaV (Emerson) и другие.

Наконец, автоматизация нефтеперекачивающих станций (НПС) в транспорте нефти в подавляющем большинстве случаев решалась на базе контроллеров ЭК-2000 («ЭМИКОН») и контроллеров Quantum (Schneider Electric). При телемеханизации линейной части нефтепроводов нашли широкое применение контроллеры типа ЭЛСИ (ЭЛЕСИ) и контроллеры MOSCAD (Motorola).

### **Уровень 2 – база данных (оперативно-технологический сервер)**

Собираемые с различных установок и с различной точностью данные сохраняются в одном или нескольких серверах реального времени. Данные хранятся в сжатом виде и опрашиваются с высокой скоростью. Для серверов предусмотрен режим резервирования. Современные коммерческие продукты, на основе которых создаются технологические серверы, имеют интерфейсы к большинству распределенных систем управления (DCS), системам диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA), непосредственно к контроллерам и промышленным шинам. Лишь согласованная агрегированная информация, полученная на основе достоверных оперативных данных с технологического уровня, систем управления качеством позволяет оценивать деятельность предприятия по выбранному критерию. Значимость информации зависит от ее оперативности.

Кроме этого, оперативно-технологический сервер обеспечивает связь с корпоративной базой данных, например ORACLE, а также обеспечивает программные каналы в систему управления ресурсами предприятия (ERP).

Важно и то, что на информационной базе оперативно-технологического сервера обеспечивается и реализация функций диспетчера и специалистов данного уровня.

### **Уровень 3 – технологический веб-портал**

Основное назначение технологического веб-портала:

- ◆ обеспечение доступа к технологическим данным через Intranet;
- ◆ обеспечение архива рабочих экранов для различных клиентских приложений.

### **Уровень 4 – клиентские приложения АСОДУ**

Основные пользователи информации:

- ◆ оперативный персонал цехов;
- ◆ диспетчерская служба предприятия;
- ◆ персонал производственного отдела;
- ◆ главные специалисты предприятия;
- ◆ руководители предприятия.

Для этого создаются автоматизированные рабочие места пользователей. АРМ – это компьютер с установленным на нем клиентским программным обеспечением. Проектом по созданию автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления предусматривается разработка интерфейсов для АРМ диспетчерского персонала, специалистов различных служб и руководителей. При разработке АРМ учитывается специфика рабочих мест, перечень решаемых на АРМ задач – каждый АРМ должен обладать уникальными функцио-



нальными возможностями. АРМ должны предоставлять информацию, располагая которой руководители и специалисты предприятия могли бы повысить качество управления процессом производства.

Специализация АРМ заключается и в ограничении отображаемой информации в соответствии с нуждами специалистов и отделов, а также в ограничении прав по воздействию на технологические процессы.

Количество АРМ может насчитывать несколько десятков и ограничивается лишь практической необходимостью и стоимостью проекта.

В качестве инструментов разработки АРМ операторов, диспетчерских систем различного назначения могут быть использованы (и часто используются) SCADA-системы, позволяющие отображать все этапы технологического процесса в объектном виде на основе мнемосхем. Преимущество SCADA-систем состоит в том, что они предоставляют не только объектно ориентированные редакторы с большим количеством графических объектов разной сложности со средствами анимации для них, но и поддерживают стандартные протоколы обмена с отдельными технологическими подсистемами и бизнес-приложениями (OPC, DDE, OLE, SQL).

Помимо SCADA-систем для организации АРМ специалиста инструментом могут быть и Internet Explorer (веб-технологии), и таблицы Excel, и разнообразные программы просмотра данных собственной разработки. Выбор инструмента для создания АРМ специалистов и руководителей определяется рядом критериев: оперативностью доступа к данным, формой представления данных (мнемосхемы, таблицы, графики), ценой инструментальных средств.

Информация должна представляться пользователям в виде видеокладов, выводимых на дисплей инициативно или по запросу.

Реализация функций диспетчерского персонала, перечисленных выше, обеспечивается широким набором видеокладов. Среди них всегда присутствуют:

- ◆ видеоклады отдельных технологических узлов;
- ◆ видеоклады просмотра ретроспективы;
- ◆ видеоклады сводок алармов и событий;
- ◆ видеоклады просмотра и корректировки НСИ;
- ◆ видеоклады, отражающие структуру и состояние системы автоматизации;
- ◆ набор видеокладов (окон) для реализации команд управления;
- ◆ видеоклады, обеспечивающие действия по параметризации системы;
- ◆ видеоклады расчетных задач;
- ◆ видеоклады регистрации оперативного персонала и многие другие.

Пример отображения информации на экране автоматизированного рабочего места диспетчера представлен на рис. 27:

- 1 – кнопка перехода на окно диагностики;
- 2 – кнопка перехода на окно для работы с отчетами;
- 3 – кнопка перехода на журнал аварий;
- 4, 5 – кнопки перехода на мнемосхемы подключенных объектов;
- 6 – кнопка перехода на главную мнемосхему;
- 7 – поле регистрации персонала;
- 8 – рабочая зона;
- 9 – оперативный журнал, содержащий предупредительные, аварийные и технологические сообщения.

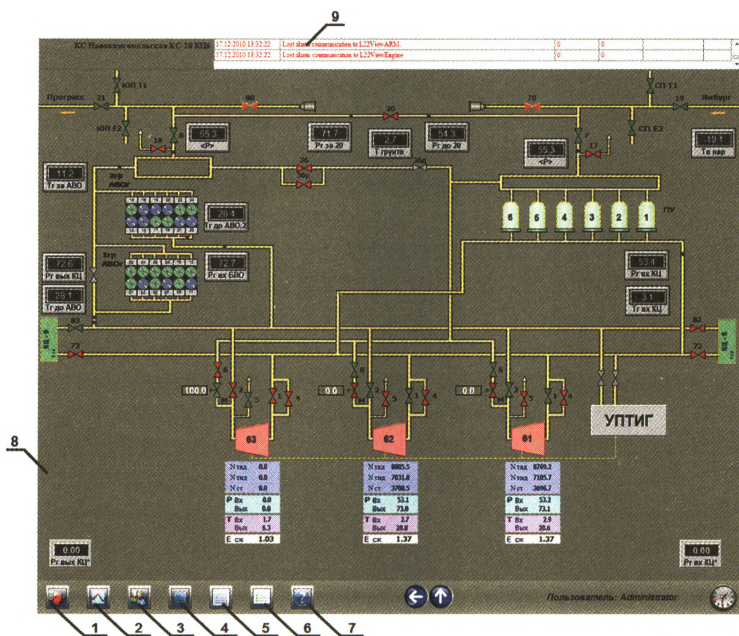


Рис. 27. Пример экрана в АСОДУ

#### 4.2.3. СКО (система коллективного отображения) в системе диспетчерского управления

Традиционно в диспетчерских помещениях, кроме компьютерных мониторов, раньше использовали и настенные табло, выполненные на индикаторах различных типов. Но аналоговая техника последние десятилетия вытесняется цифровой: на замену традиционным табло пришли видеостены, соответствующие уровню современных микропроцессорных систем управления.

Среди основных преимуществ видеостены по сравнению с табло можно выделить следующие:

- ◆ Возможность вывода на экран любой информации от произвольного количества источников.
- ◆ Возможность масштабировать информацию и оперативно менять сценарий видеопоза.

Основное назначение видеостен, как и уходящих в историю табло, – крупномасштабное отображение информации для коллективного просмотра в диспетчерских центрах различных автоматизированных систем управления.

Видеостена представляет собой единый полиэкран, состоящий из нескольких видеомодулей, управляемых специальным контроллером. Модульный принцип позволяет создавать видеостены сколь угодно больших размеров в соответствии с требованиями заказчика. Существуют видеостены площадью в десятки и даже сотни квадратных метров.

В качестве видеомодулей чаще всего используются так называемые видеокубы (рис. 28). В последнее время для создания видеостен иногда применяют плазменные и ЖК-панели специальной конструкции. Плазменные видеостены не предназначены для круглосуточной работы, и это ограничивает их применение в диспетчерских системах.

Проекционные видеокубы представляют собой закрытые в специальном корпусе системы обратной проекции. Основные преимущества данных систем заключаются в минимальном зазоре между изображениями соседних модулей (бесшовность), в круглосуточном режиме работы и возможности проводить обслуживание без выключения всей системы. К недостаткам можно отнести значительные габариты и существенную стоимость владения.

Система управления видеостеной строится на базе контроллера видеостены, который осуществляет прием, обработку, хранение и вывод на видеостену какой-либо информации.

К основным характеристикам видеокуба можно отнести размер по диагонали, соотношение сторон и разрешение. На рынке в этом плане представлено большое количество решений. Есть кубы с диагональю от 40 до 100 дюймов (от 100 до 254 см).

С точки зрения разрешения имеются кубы с разрешением XGA (1024 x 768), SXGA+ (1400 x 1050) и Full HD (1920 x 1080).

Структура отображения информации на видеостене зависит от многих факторов,



Рис. 28. Проекционные видеокубы

в том числе и от размеров видеостены (количество кубов). Видеокадры, необходимые диспетчерскому персоналу для реализации своих функций, были рассмотрены выше. Один из вариантов размещения информации на видеостене, состоящей из восьми кубов (матрица 4x2), представлен на рис. 29.



Рис. 29. Пример расположения блоков информации на видеостене

Кубы, окрашенные зеленым цветом, предназначены для вывода видеокадров, постоянно представленных на стене. Два куба, окрашенные в желтый цвет, предназначены для вывода информации по вызову. Следует обратить внимание читателя на куб, расположенный слева в верхнем ряду. Здесь предполагается выводить показатели производства, в том числе и КПЭ.

Структура системы диспетчеризации представлена на рис. 30. АРМ видеостены подключен к локальной вычислительной сети и имеет доступ ко всей информации, циркулирующей в системе. Здесь и данные реального времени, отображаемые на мнемосхемах, и архивные данные, вызываемые на экран в виде трендов, и расчетные данные для вывода обобщенных показателей производства.

Комплекс технических средств (видеокубы, контроллер видеостены, АРМ видеостены и монтажные материалы), а также программное обеспечение (системное, управляющее и

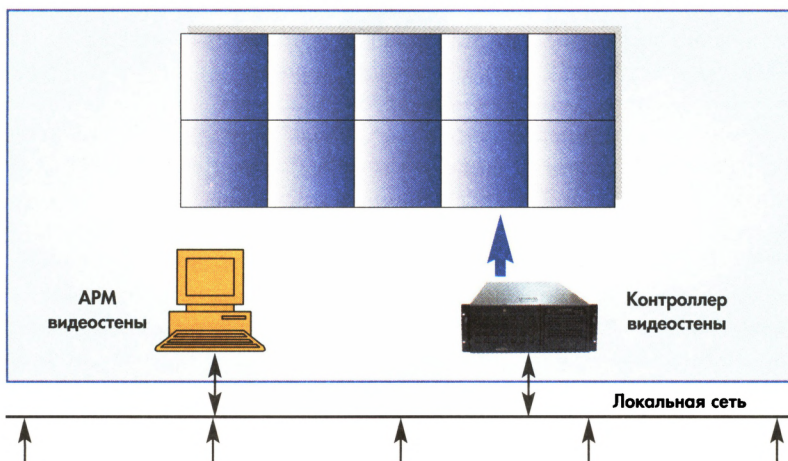


Рис. 30. Диспетчеризация с видеостеной



прикладное) можно рассматривать в качестве самостоятельного ПТК, который может быть внедрен в существующую информационную систему предприятия.

Системное и управляющее ПО представляет собой лицензионное программное обеспечение и является объектом поставки вместе с аппаратными средствами видеостены.

Прикладное ПО разрабатывается согласно требованиям заказчика и обеспечивает вывод информации на видеостену в соответствии с технологической схемой объекта автоматизации.

#### **4.2.4. Этапы разработки АСОДУ**

Работы по созданию автоматизированной системы оперативного диспетчерского управления можно разбить на несколько этапов. При этом на каждом предприятии эти этапы могут иметь свой уровень детализации в зависимости от собственных возможностей, приоритетов и текущего уровня автоматизации.

##### **Этап 1**

##### **От понимания «как есть» к пониманию «как должно быть»**

Начало всех перемен требует объективного понимания исходного состояния. Созданию АСОДУ должно предшествовать полное и качественное описание уровня технической оснащенности как отдельных технологических и вспомогательных систем автоматизации, так и информационных потоков, порождаемых этими системами.

Информация, полученная в ходе детального обследования, послужит исходным материалом для формирования предложений по созданию АСОДУ: объем решаемых задач по сбору и архивированию оперативных данных, выбор аппаратно-программной платформы интеграции, определение числа клиентских мест, решение вопроса о создании центрального диспетчерского места и т.д.

##### **Этап 2**

##### **От разрозненных АСУТП к единой базе оперативных данных**

Два последних десятилетия российский рынок систем автоматизации технологических процессов не испытывал недостатка в программно-аппаратных средствах. Широкий спектр DCS и SCADA на любой вкус и требования привели к тому, что большинство предприятий испытывает сегодня (да и «вчера» тоже испытывало) серьезные трудности, связанные с интеграцией этих систем в единый комплекс. Эти трудности обусловлены наличием в пределах одного предприятия большой номенклатуры контроллерного оборудования, SCADA-систем, систем телемеханики, программных комплексов диспетчеризации. Все эти системы вводились в эксплуатацию на большом отрезке времени. Первые системы на базе микропроцессоров внедрялись во времена, когда о стандартах на интерфейсы взаимодействия только начинали говорить. Тогда еще не было единого представления о форматах и принципах хранения данных. В результате создалась ситуация, которую сейчас называют «островами автоматизации». Фактически образовался разрыв в цепочке автоматизированной доставки оперативной технологической информации с уровня АСУТП на уровень АСУП.



Процесс объединения подсистем автоматизации включает реализацию целого ряда последовательно-параллельных шагов, среди которых:

- ◆ организация мест автоматизированного, а в отдельных случаях и ручного ввода оперативной технологической информации по цехам и участкам производства;
- ◆ организация информационного обмена с существующими системами коммерческого и технического учета энергоресурсов (электроэнергия, тепло, пар, газ, вода);
- ◆ создание базы оперативно-технологических данных;
- ◆ разработка автоматизированных рабочих мест диспетчеров цехов, участков и производств предприятия.

Особенность технологических данных состоит в том, что они быстро изменяются во времени (по сравнению с бизнес-параметрами) и количество их очень большое. Поэтому любая система, интегрирующая технологические данные, должна обеспечивать скоростной сбор данных, их максимальное сжатие при сохранении, поддержку каналов обмена по стандартным и нестандартным протоколам. Кроме этого интегрирующая система должна обеспечивать каналы передачи агрегированных технологических данных на уровень системы управления ресурсами предприятия (ERP-систем). Роль этой интегрирующей системы и призван играть оперативно-технологический сервер (база данных реального времени).

### Этап 3

#### От единой базы данных к специализированным клиентским приложениям

АСОДУ рассматривается не только в качестве инструмента, обеспечивающего решение функциональных задач для диспетчерского персонала. Свои функциональные задачи должны решать и специалисты различных уровней управления, и руководство. И им тоже нужна информация.

Данный этап предполагает формирование АРМ специалистов и руководства предприятия в соответствии с проектом. Кроме этого оперативно-технологический сервер данных, как информационная основа АСОДУ, служит источником данных для корпоративной базы данных, например ORACLE, а также для системы управления ресурсами предприятия (ERP-система). На этом этапе следует решить задачу интеграции БДРВ с программными комплексами уровня предприятия.

Внедрение ПТК «Видеостена» на базе видеостены, описанной выше, можно реализовать и в два этапа (есть примеры подобного внедрения). Предполагается, что на предприятии уже существует развитая информационная инфраструктура и задачи интеграции решены.

- ◆ Монтажные работы аппаратного обеспечения ПТК, установка и конфигурирование системного ПО, реализация целевого (диспетчерского) набора функций.
- ◆ Реализация и внедрение базового (интеграционного) набора функций ПТК.

Подобный проект не представляется архисложным, и можно с уверенностью говорить о сроках его реализации: 4–6 месяцев.

### 4.2.5. Типовой подход к созданию АСОДУ

В этом разделе обобщен многолетний опыт компании «РТСофт» по внедрению систем диспетчеризации на предприятиях различных отраслей промышленности. Здесь кратко (концептуально) изложены основные положения (цели, принципы, функции, результаты и компоненты системы), которыми компания руководствуется при создании АСОДУ промышленных предприятий.

#### Назначение АСОДУ

АСОДУ предназначена для автоматизации производственных бизнес-процессов предприятия, относящихся к оперативному диспетчерскому управлению. Необходимость в создании единого центра оперативного управления определяется наличием взаимосвязей и взаимозависимостей между отдельными технологическими процессами (ТП) единого производственного цикла. В рамках АСОДУ осуществляется контроль и управление производственным процессом в режиме реального времени на основе технологических данных, поступающих с различных цехов и участков предприятия от подсистем АСУТП, систем коммерческого и технического учета, систем телемеханики основного производства и систем автоматизации вспомогательных производств. База данных, формируемая АСОДУ, служит источником оперативных сводок для руководителей предприятия и специалистов производственных отделов.

#### Основные принципы создания АСОДУ

- ◆ Открытость — должны быть обеспечены возможности:
  - расширения состава функций предоставляемых системой;
  - подключения новых источников данных и пользователей;
  - организации взаимодействия с новыми системами.
- ◆ Масштабируемость — должны быть обеспечены возможности наращивания объемов хранимой и обрабатываемой информации, а также увеличения числа обслуживаемых систем и пользователей без существенного снижения эксплуатационных характеристик системы.
- ◆ Распределенность — должны обеспечиваться распределенные методы обработки и хранения информации.
- ◆ Надежность — обеспечение резервирования на уровне каналов, серверов ввода-вывода, серверов БД, серверов приложений, АРМ диспетчеров.
- ◆ Совместимость со штатными средствами информационной безопасности (межсетевые экраны, антивирусное ПО).

#### Базовые компоненты АСОДУ

**Системная платформа** — это ядро, которое облегчает разработку, развертывание, обслуживание и администрирование распределенных приложений промышленной автоматизации.

Центром системной платформы является модель – логическое представление физических процессов, управляемых и контролируемых программными системами. Данная модель предоставляет единое последовательное описание производственной инфраструктуры, построенное с использованием понятных терминов и организованное в виде повторно-используемых шаблонов. Модель отображает физическое оборудование, способы сбора данных и формирования алармов, защиту системы и уровни доступа, а также внешние интерфейсы. Благодаря иерархической объектно ориентированной модели можно выбрать и определить абстрактное представление реальных систем, их связи и фактическое местоположение.

Сервер приложений, как один из базовых компонентов системной платформы, обеспечивает централизованное управление работой приложений в распределенной среде и позволяет реализовать бизнес-логику всей системы как единого целого.

**База данных реального времени** – это хранилище данных о ходе производственного процесса, которое обеспечивает высокую производительность и является основой для создания информационных систем управления производством реального времени.

**Приложение** обеспечивает визуализацию производственного процесса на основе графического представления данных (мнемосхем).

**Технологический веб-портал** является набором интегрированных программ, поддерживающих удобный механизм получения технологической информации на основе Internet/Intranet и обеспечивающих необходимый уровень защиты данных.

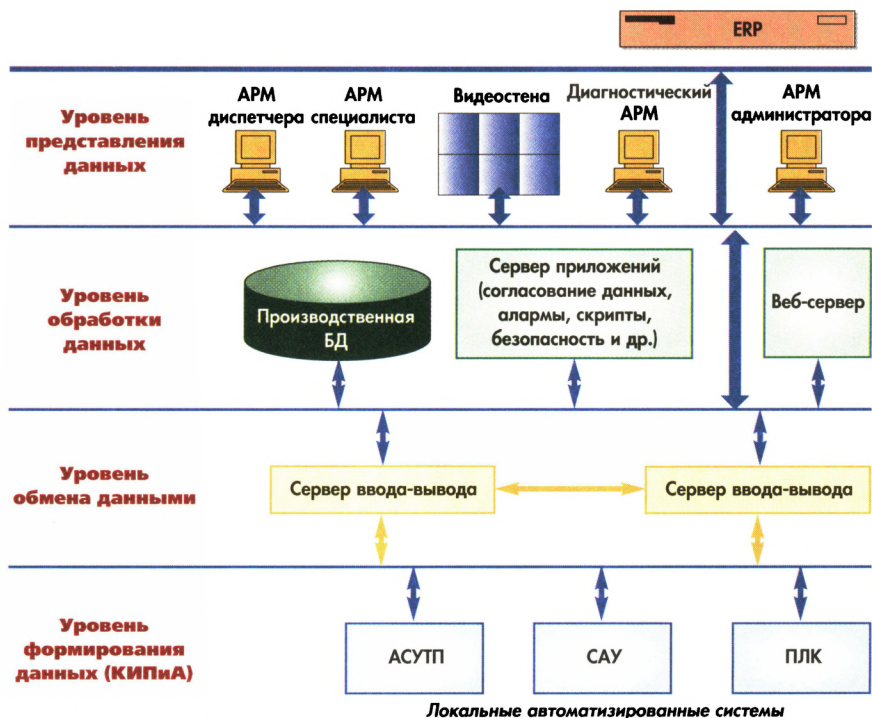


Рис. 31. Архитектура АСОДУ

### 4.3. Базовые инструменты для создания технологических и диспетчерских систем

Возможных решений для создания АСОДУ – множество. Все зависит от того, какие критерии выдвигает предприятие к программно-аппаратной платформе для создания системы управления производством.

Современный подход к управлению предприятием состоит в интеграции разнородных систем, работающих на различных уровнях. На производствах, как правило, работает оборудование от различных поставщиков, и зачастую оно поставляется вместе со специализированными программными комплексами. В этих условиях большинство предприятий сталкивается с проблемами согласования различных платформ, приложений автоматизации, хранилищ данных.

Отдельный вопрос – межуровневая интеграция систем управления на предприятии, так как для эффективной работы ERP-систем необходимо, чтобы в систему поступали первичные данные, отражающие реальное течение технологических процессов.

Итак, первый критерий выбора – обеспечение интеграции с существующими на предприятии системами управления. О сохранении ранее сделанных инвестиций заботливый хозяин думает прежде всего.

Второй критерий – способность выбранных программных средств решать первоочередные производственные задачи с возможностью наращивания функциональности системы управления.

Минимизация расходов на создание MES-системы – совершенно естественное желание руководства каждого предприятия. Один из путей к достижению этой цели – поэтапное безрисковое внедрение решений, позволяющих как легкое наращивание функциональности, так и внесение изменений в уже работающие части. Второй путь – реализация небольшого пилотного проекта силами специалистов предприятия и интегратора. Это даст понимание, что же нужно производственникам, и возможность корректно поставить задачу внедряющей стороне.

Компетенция и статус компании-разработчика/поставщика – важность этого критерия выбора трудно переоценить. Более того, правильный выбор компании-разработчика – это 70–90 процентов успеха.

Всем вышеперечисленным критериям отвечает системная платформа (System Platform) Wonderware. Здесь сразу хочется опередить читателя и ответить на законный вопрос: «Почему именно системная платформа? Выше же было сказано, что решений множество».

Предлагаемое решение, конечно, не является единственным. Но, во-первых, оно действительно отвечает очень многим требованиям к продуктам подобного класса. Во-вторых, время «коробочных» продуктов, позволяющих заткнуть образовавшуюся брешь в системе управления, подходит к концу. Будущее автоматизации – за системными решениями, позволяющими предприятию заглянуть не только в завтрашний день, а гораздо дальше.

Да, решение не из дешевых, но платить за автоматизацию все равно придется, и лучше это делать один раз, не повторяя ошибок прошлого.

Что же так заинтересовало авторов в системной платформе Wonderware? Ответить можно одной фразой: ориентированность системной платформы на гетерогенную среду (способность платформы к объединению всех систем автоматизации предприятия) и объектный подход к реализации решений. Собственно, в этой фразе присутствуют два фундаментальных принципа построения системной платформы.

А теперь все по порядку.

К числу основных отнесем три продукта Wonderware, обеспечивающие интегрированный набор сервисов для разработки сбора, обработки и представления производственных данных:

- ◆ Wonderware Application Server – сервер приложений, ядро системной платформы;
- ◆ Wonderware Historian – архив производственных данных (БДПВ);
- ◆ Wonderware Information Server – интернет/интранет-портал предприятия.

**Wonderware Application Server (WAS)** – ядро системной платформы. Большая часть функционала системной платформы реализована с помощью WAS. Он позволяет существенно снизить инженерные затраты благодаря использованию объектной модели предприятия и общему пространству имен. Можно создавать и настраивать многократно используемые и расширяемые объекты, соответствующие типичному оборудованию предприятия, в соответствии с физической или логической структурой предприятия. Фактически она становится операционной системой для производственного уровня.

Пространство имен репозитория представляет собой набор уникальных идентификаторов объектов и атрибутов проекта (рис. 32). Пространство имен и значения каждого из составляющих его идентификаторов определяют приложение сервера приложений. Возможно развертывание компонентов репозитория, таких как платформы и механизмы, на нескольких компьютерах для разделения эксплуатационной нагрузки во время работы.

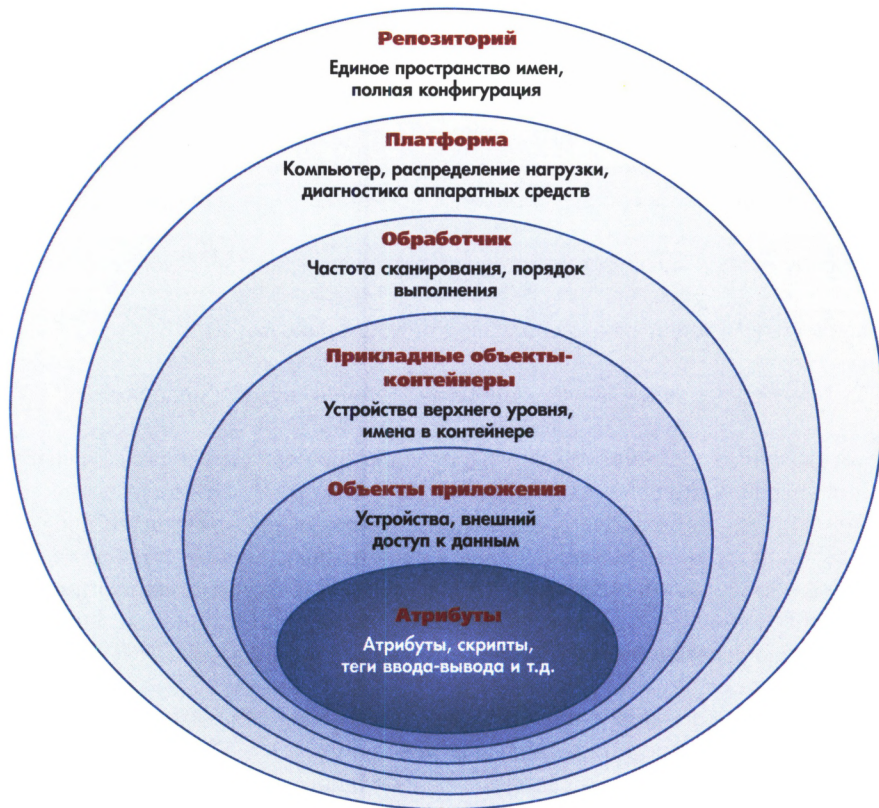
Основное преимущество пространства имен сервера приложений заключается в том, что оно позволяет обращаться к данным объектов и процессов сервера приложений посредством скриптов, анимационных ссылок и т. д. с любой рабочей станции в системе без необходимости ввода ссылок, указывающих местоположение объекта.

Кроме того, для приложений репозитория предусмотрены функции безопасности, отключенные по умолчанию. Использование функций безопасности обеспечивает для пользователя возможность ограничить спектр действий, доступных другим пользователям. По желанию роли безопасности, группы безопасности и пользователей можно добавить позднее.

После развертывания объекты платформы начинают немедленно поставлять данные серверу Wonderware Historian.



Сервер **Wonderware Historian** предназначен для сбора технологической и производственной информации с максимальным разрешением и большой скоростью, которая сочетается с возможностью извлечения данных стандартными средствами SQL. Одним из важнейших его достоинств является способность осуществлять компрессию записываемых данных в реальном масштабе времени.



**Рис. 32.** Компоненты системной платформы

В состав системной платформы включен также **Wonderware Information Server** – информационный веб-портал предприятия для агрегирования и представления производственных данных. Он позволяет персоналу предприятия просматривать информацию, полученную из любого приложения Wonderware, а также из других источников данных.

Кроме того, в состав системной платформы входят серверы для связи с внешними устройствами и приложениями (Device Integration Products). Wonderware уделяет большое внимание совместимости своих приложений с различным оборудованием и предлагает широкий выбор специализированных серверов для обеспечения коммуникаций со всеми наиболее популярными полевыми устройствами. Продукты Wonderware поддерживают технологию OPC, позволяющую использовать их практически с любым оборудованием.

Для представления и анализа данных, формируемых в приложениях на базе системной платформы, а также генерации отчетов предлагается набор клиентских средств. У пользо-

вателей есть возможность выбора клиентского места как по уровню доступа к данным – «толстый» или «тонкий» (терминальный доступ, веб-доступ) клиент, так и по форме их представления – мнемосхемы, табличные формы, графики и т. п.

Появление серверов приложений подобного класса вызвано «распуханием» клиентских приложений. Они становятся сложнее как для разработки, так и для дальнейшего сопровождения. Помимо этого ухудшается и масштабируемость всей системы. Серверы приложений позволяют решить эти проблемы. Все это в полной мере относится к серверам уровня АСУП (ERP), построенным по принципу обработки транзакций. Несколько сложнее ситуация с серверами АСУТП и АСУПП. К ним предъявляются иные требования:

- ◆ поддержка сбора данных в режиме реального времени с возможностью обработки событий с точностью до миллисекунд;
- ◆ обеспечение возможности не только в режиме обработки транзакций, но и по событиям;
- ◆ обеспечение возможности обработки больших объемов данных и событий, поступающих асинхронно;
- ◆ обеспечение детерминированности, т. е. должен быть определенный порядок срабатывания компонентов приложения.

До появления платформ предлагались конфигурации на основе SCADA в виде тэг-серверов, которые получали данные от серверов ввода-вывода, проводили предварительное масштабирование, обработку, осуществляли контроль на наличие алармов, регистрировали события и передавали данные для отображения на клиентские станции. Основой тэг-сервера был SCADA-пакет, например InTouch, Citect и т. д. На клиентских машинах также использовались SCADA-клиенты. Эта система удовлетворяла далеко не всем требованиям, перечисленным выше.

На первый взгляд, системная платформа очень похожа на обычный тэг-сервер, но на самом деле она обладает значительно большими возможностями, такими как:

- ◆ распределенная разработка приложения и, наоборот, возможность редактирования различных приложений с одного рабочего места;
- ◆ распределенный режим работы приложения. Управление загрузкой отдельных узлов;
- ◆ отсутствие ограничений на размер приложения (под размером понимается количество тэгов, InTouch имеет ограничение в 60К тэгов);
- ◆ возможность использования шаблонов при создании объектов приложения;
- ◆ встроенная система безопасности;
- ◆ прямой доступ из SCADA к объектам системной платформы;

- ◆ тесная интеграция с БДРВ;
- ◆ средства диагностики;
- ◆ поддержка скриптовых функций SCADA и возможность импорта функций из библиотек, разработанных с использованием технологии .Net;
- ◆ использование сервисов, предоставляемых системной платформой.

Далее более подробно рассмотрим системную платформу и БДРВ на примере продуктов SystemPlatform и Historian от компании Wonderware.

### **4.3.1. Системная платформа, или ОС производственного уровня**

#### **Архитектура**

Wonderware Application Server состоит из двух групп компонентов (рис. 33). Первая группа включает в себя компоненты для конфигурирования системы и разработки приложения, такие как:

1. Репозиторий Galaxy – база, в которой хранится конфигурационная информация.
2. Среда разработки приложений IDE (Integrated Development Environment).

Вторая группа включает в себя компоненты, образующие непосредственно приложение и среду исполнения приложения, такие как:

- ◆ Загрузчик среды ArchestrA (Bootstrap Loader).
- ◆ Платформа (WinPlatform) – определяет физический компьютер, на котором может исполняться приложение или часть приложения.
- ◆ Поток, обрабатывающий в реальном времени скрипты приложения (Application Engine).
- ◆ Логические группы объектов приложения (Areas).
- ◆ Объекты приложения (Automation Objects) – включают базовые компоненты приложения.
- ◆ Объекты или прокси-компоненты для подключения источников данных (Device Integration Objects).

В зависимости от назначения узла набор компонентов WAS будет различаться. По функциональности узлы можно разделить на четыре вида:

- ◆ Полнофункциональный Application Server. Предполагается, что на таком сервере установлена база Galaxy, среда разработки и само приложение исполняется на этом же узле.

- ◆ Сервер БД Galaxy – репозиторий конфигурационной информации о приложениях. На этом узле обеспечивается хранение информации об объектах и настройках приложений WAS (приложений может быть несколько, каждому приложению соответствует одна база). А также обеспечивается управление системой хранения (резервное копирование и восстановление).
- ◆ Рабочее место разработчика. Основным компонентом этого узла является IDE-оболочка, из которой, собственно, и осуществляется работа с приложением.
- ◆ Рабочая станция, на которой запускается приложение InTouchView для визуализации приложения. При этом приложение InTouch является так называемым view-клиентом, что означает возможность использовать в качестве сервера ввода-вывода только Wonderware Application Server.

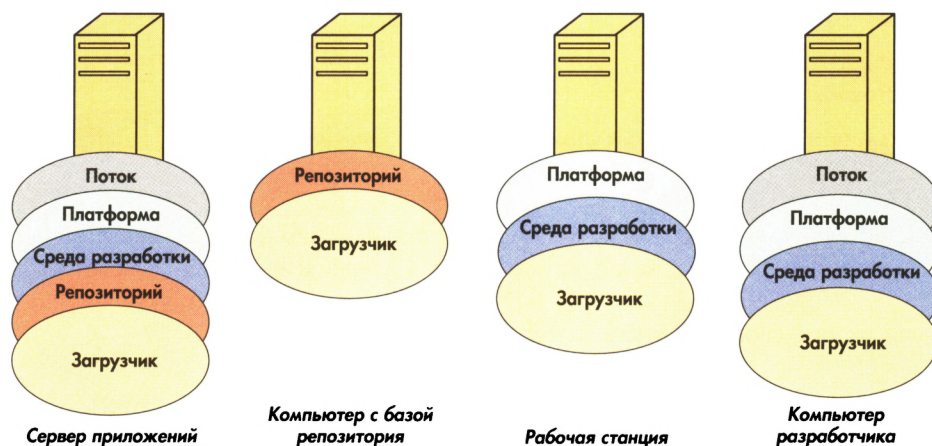


Рис. 33. Виды узлов

## Приложение

Основным назначением сервера является выполнение приложений, которые представляют собой набор взаимосвязанных объектов (Application Objects). Именно объектов, а не тэгов, как это было в традиционных SCADA-системах. Каждый объект – это довольно сложная структура, включающая набор свойств, динамических и статических атрибутов, а также скриптов. Разработчик может дополнять набор атрибутов объекта, создавая свои собственные атрибуты. Этот набор различается в зависимости от типа объекта. Следует отметить, что каждому элементу объекта можно определить права доступа. Для создания объектов используются шаблоны (см. ниже).

Иерархия объектов системной платформы представлена на рис. 34.

**Первая группа – системные объекты (System Objects).** Объекты из этой группы позволяют структурировать приложение и определяют свойства всего приложения или отдельной части.

Объект **Platform** (платформа) является ключевым для приложения и соответствует физическому компьютеру в сети, на котором могут исполняться компоненты приложения. Основными функциями объекта являются:



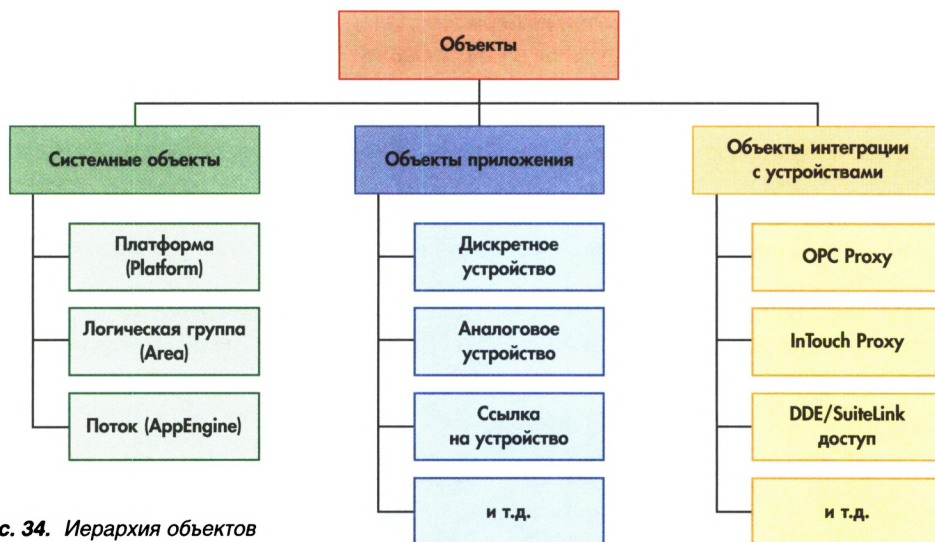


Рис. 34. Иерархия объектов

- ◆ расчет статистических параметров работы узла. Значения параметров доступны в виде атрибутов объекта;
- ◆ мониторинг параметров узла (включая системные параметры – загрузка процессора, памяти и т. д.), отслеживание аварийных значений и архивация параметров;
- ◆ запуск и останов скриптовых потоков (объектов типа AppEngine);
- ◆ мониторинг состояния скриптовых потоков, перезапуск их в случае зависания или некорректной работы.

На уровне объектов этого типа определяется, будет ли данный узел аларм-провайдером для клиентских приложений InTouch.

Объект **AppEngine** (поток приложения) также один из ключевых объектов приложения WAS. Этот объект соответствует потоку, который в режиме реального времени с заданным периодом обрабатывает объекты приложения (исполняет скрипты, изменяет свойства и атрибуты). Как правило, с каждым AppEngine связаны объекты Application Objects и прокси-компоненты ввода-вывода Device Integration, реализующие логику работы приложения. Этих объектов может быть огромное количество, и задачей AppEngine является управление всеми объектами (загрузка, выгрузка, инициализация и т. д.).

На уровне объектов этого типа осуществляется и управление системой архивации. Здесь указывается адрес компьютера, на котором будет производиться архивация данных.

Объект **Area** (логическая группа) – один из самых простых. Основным назначением этого объекта является логическая группировка объектов типа Application Objects. В первую очередь это используется для удобства работы с алармами и событиями, генерируемыми объектами приложения. Объекты Area используются для мониторинга, квитирования, запрета/разрешения алармов для групп объектов. Второе назначение – структурирование приложения в соответствии со структурой автоматизируемого процесса.



**Вторая группа – объекты приложения** (Application Objects) – предназначена для реализации конкретных элементов приложения и, соответственно, автоматизируемого процесса, например задвижка, датчик, PID-регулятор и т. д.

Объект **AnalogDevice** (аналоговое устройство) предназначен для воспроизведения аналогового устройства ввода-вывода или же для реализации аналогового регулятора.

Объект **DiscreteDevice** (дискретное устройство) предназначен для моделирования дискретных устройств, имеющих несколько физических состояний.

Объект **FieldReference** (ссылка на устройство) – достаточно простой объект, предназначенный для моделирования в приложении простого объекта для связи с внешним устройством. Основным атрибутом объекта является его измеренное значение (PV – process value).

Объект **UserDefined** (определяемый пользователем) – специализированный объект, который может выполнять две функции.

Первая и основная функция – контейнер для объектов другого типа. В результате можно получить шаблон сложного объекта, представляющий в виде дерева все составляющие его компоненты. Это значительно упрощает разработку сложного приложения. Полученный комплексный объект может быть вложенным. Примером может служить шаблон для резервуара, который состоит из емкости (аналоговое устройство), впускной и выпускной вентили. Используя возможность создания пользовательского объекта, создаем шаблон с именем \$Tank, затем создаем шаблоны \$Volume (AnalogDevice), \$Inlet и \$Outlet (DiscreteDevice). Осталось связать эти шаблоны с шаблоном резервуара \$Tank и добавить скрипты, задающие логику управления резервуаром. И вот мы получили законченный шаблон, готовый к созданию на его основе экземпляров резервуаров (которых может быть достаточно много на реальном производстве). Подробнее работа с шаблонами будет рассмотрена позже.

Вторая функция – создание простейшего объекта, не имеющего входов и выходов. Однако у него могут быть созданы пользовательские атрибуты и добавлены скрипты, как и ко всем остальным объектам сервера приложений.

**Третья группа – объекты интеграции с устройствами** (Device Integration Objects) – объединяет объекты для подключения внешних источников данных. По своей сути это прокси-компоненты для различных протоколов и устройств. По умолчанию сервер приложений включает три основных прокси-компонента:

- ◆ для подключения по протоколам DDE и Suitelink;
- ◆ для подключения к OPC-серверам;
- ◆ для доступа к переменным приложения InTouch. Этот компонент позволяет получить доступ к словарю переменных InTouch, выбрать необходимые переменные и определить их как атрибуты компонента. Это позволит в дальнейшем обращаться из приложения платформы к переменным SCADA-приложения InTouch. Данные из среды исполнения InTouch Window Viewer поступают по протоколу Suitelink.

## Шаблоны

Шаблоны – это уникальное средство разработки объектной модели, ее строительные блоки.

По определению шаблон – это образец, по которому изготавливают однородные изделия. В качестве первого символа в именах базовых шаблонов, включенных в инструментарий, используется символ доллара \$. Эти шаблоны недоступны для изменения. Из существующих шаблонов (базовых) пользователем могут создаваться новые шаблоны (дочерние).

Имеется возможность встраивать одни шаблоны в другие. Таким образом, шаблоны могут представлять собой сложные устройства, состоящие из более простых устройств, таких как датчики, исполнительные устройства (здвижки, краны), насосы. Можно использовать глубину до 10 уровней вложенности. Примером сложного шаблона-контейнера может быть технологический аппарат, оборудованный средствами автоматизации, – сепаратор, теплообменник, реактор.

На основе шаблонов создаются экземпляры объектов. Экземплярам с датчиков от физических устройств передаются данные, а оператор в среде исполнения получает всю необходимую информацию об объекте управления. Экземпляры используются только в среде исполнения, в то время как шаблоны – лишь в среде разработки.

Шаблон – это не только графическое изображение, но и набор уникальных атрибутов – логика/сценарии (скрипты) приложения, алармы и события, архивирование, документирование, безопасность (рис. 35). Предусмотрена возможность индивидуальной настройки шаблона путем добавления определяемых пользователем атрибутов.

Каждый экземпляр объекта наследует атрибуты от своего шаблона. При изменении значения какого-то атрибута в шаблоне соответствующее изменение произойдет во всех экземплярах объектов. Это существенно облегчает обслуживание и обновление приложений.



Рис. 35. Объект с готовым набором атрибутов

Как правило, на любом предприятии используются различные модели насосов, кранов, электродвигателей и т. п. Лучшим решением для разработчика будет создать сначала иерархическую структуру производных шаблонов, а затем создать по этим производным шаблонам экземпляры нужных объектов.

Для каждого параметра или атрибута объекта разработчик может установить различные виды доступа, определяющие доступ к ним специалистов в работающей системе.

## Интегрированная среда разработки приложения

Для создания приложений, разработки объектов предназначена интегрированная среда разработки IDE. Среда позволяет создавать новые шаблоны объектов и на их базе – новые объекты, редактировать существующие, импортировать и экспортировать объекты, управлять размещением объектов в структуре проекта, «привязывать» источники данных.

IDE имеет стандартный для Windows-приложений графический интерфейс пользователя с набором команд меню, плавающими панелями инструментов и возможностью редактировать несколько объектов одновременно. Объекты распределяются по областям или логическим группам. Логические группы могут быть выстроены в иерархию. При этом допускается вложение одного объекта в другой. В этом случае на уровне родительского объекта будет накапливаться статистика и отслеживаться алармы вложенных объектов. Этот вид наиболее точно и детально отображает моделируемый процесс. Окно среды разработки приведено на рис. 36.

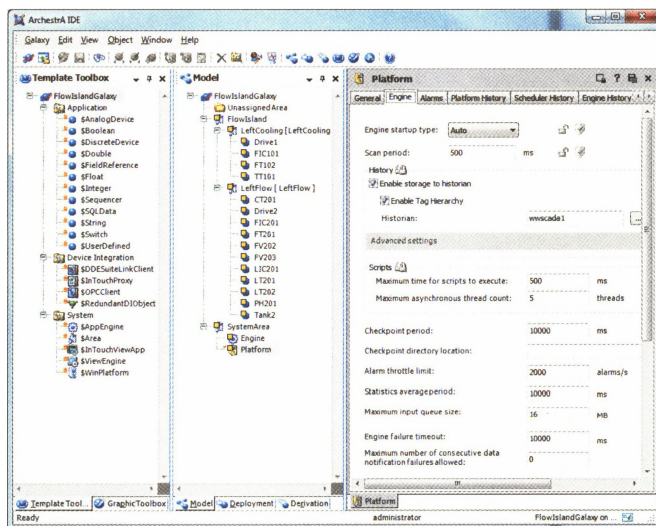


Рис. 36. Основное окно среды разработки

В окне для работы с шаблонами (**Template Toolbox**) отображается список коллекций, содержащих шаблоны объектов. Здесь же отображается древовидная структура категорий шаблонов в Galaxy. Окно предназначено для работы с шаблонами объектов: создания новых шаблонов, удаления, экспорта и импорта шаблонов. Все шаблоны разбиты на группы и организованы в древовидную структуру. Разработчик может создавать свои собственные шаблоны и группы шаблонов. При этом в полной мере используется наследование свойств родительских объектов.

Окно приложения **Application Views** предназначено для работы со структурой приложения. Приложение имеет древовидную структуру объектов. При этом в окне приложения можно выбрать для просмотра один из трех видов его структуры.

Окно **Model View** позволяет отобразить связи между объектами в соответствии со структурой технологического или диспетчерского процесса (далее – технологическая модель). Технологическая модель в общей структуре создается как совокупность сложных единиц оборудования, состоящих из более простых механизмов. Объекты разделены по производственным зонам, в каждой из которых имеются различные группы технологических устройств, таких как конвейеры, емкости, насосы, датчики и прочие механизмы.

Например (рис. 37), имеется производство (MyPlant), которое состоит из участка по приему сырья (InTake), непосредственно технологического процесса (Process) и участка отгрузки готовой продукции (Dispatch). В свою очередь, Process состоит из двух конвейеров (Line1 и Line2). Щелкнув мышью по строке Line1 или Line2, можно вывести на экран оборудование этих линий и т. д.

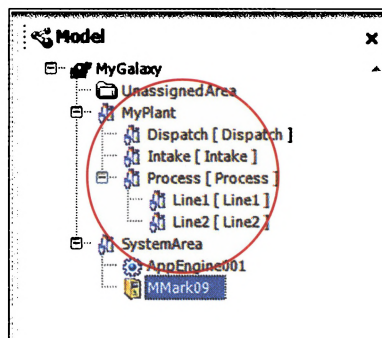


Рис. 37. Технологическая модель предприятия

Объекты в окне приложений будут представлены в виде дерева, изображенного на рис. 38.

Окно **Deployment View** предназначено для отображения структуры объектов в соответствии с сетевой организацией приложения (каждому узлу соответствует объект Platform).

С помощью этого вида разработчик может определить, на каком узле (компьютере) будет исполняться объект. Стоит отметить, что иерархия типов объектов для этого вида жестко задана. Корневыми узлами могут быть объекты типа платформа, затем располагаются объек-

ты Application Engine – скриптовые потоки. Их может быть несколько на каждом узле. К Application Engine прикрепляются объекты Device Integration и Area. На самом нижнем уровне располагаются Automation Objects. Пример такой иерархии представлен на рис. 38.

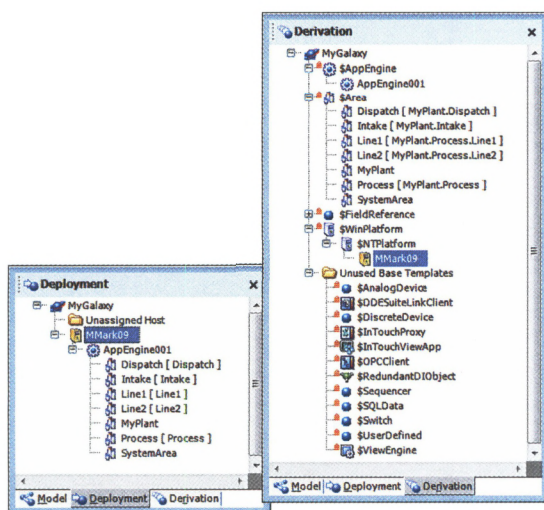


Рис. 38. Структуры модели

Окно **Derivation View** предназначено для отображения наследственных связей между шаблонами и экземплярами объектов. Это очень удобно для разработчика, так как одной из ключевых особенностей WAS является возможность внесения изменений в шаблон объекта с последующим распространением изменений на экземпляры объектов, созданных на основе этого шаблона. В этом виде отоб-

ражаются все объекты и шаблоны, включая и неиспользуемые в конкретном приложении. В этом случае шаблоны относятся к ветви Unused Templates. Пример этого вида изображен на рис. 38 справа.

Программирование в сервере приложений состоит в написании сценариев, позволяющих реализовать собственно логику работы приложения и в основном предназначено для обработки различных событий, возникающих во время исполнения. Сценарий может быть привязан к срабатыванию системного таймера или же к срабатыванию конфигурируемых пользователем триггеров, таких как различные логические условия, запуск или останов приложения или изменения значений атрибутов объектов. Допускаются вложенные вызовы сценариев.

Для программирования используется vb-подобный язык Quick script .Net, он аналогичен языку QuickScript, используемому в SCADA-системе InTouch, но имеет ряд расширений. Первое – это система доступа к атрибутам объектов приложения, она соответствует общепринятой системе для всех современных объектно ориентированных программных сред, когда через точку указываются имена объектов и затем имена атрибутов.

Второе важное дополнение – это возможность работы с COM-объектами и .Net-библиотеками, что расширяет возможности по созданию гибких алгоритмов управления и по использованию готовых программных наработок и решений.

Помимо этого система позволяет импортировать/экспортировать функции из библиотек InTouch (WDF-файлы).

Все вместе эти особенности делают программирование в среде сервера приложений мощным, гибким, удобным, простым в освоении и доступным большинству программистов. При этом сохраняется накопленный опыт программирования и наработки в сторонних программных средах (InTouch, MS VisualStudio и т. п.).

### **4.3.2. Коротко о БДРВ**

Можно выделить две категории приложений в БД: оперативная обработка транзакций (OLTP – Online Transaction Processing) и системы поддержки принятия решений (DSS – Decision Support System).

OLTP-системы используются для создания приложений, поддерживающих ежедневную активность организации. Обычно это критические для деятельности приложения, требующие скорости отклика и жесткого контроля над безопасностью и целостностью данных.

DSS-системы поддержки принятия решений, как правило, крупнее, чем OLTP-системы. Обычно они используются с целью анализа данных и выдачи отчетов и рекомендаций. Пользователи должны иметь возможность конструировать запросы различной степени сложности, осуществлять поиск зависимостей, выводить данные на графики и использовать информацию в других приложениях типа электронных таблиц, текстовых процессоров и статистических пакетов. Еще более широкую поддержку в процессе принятия решений обеспечивают системы оперативной аналитической обработки (OLAP – Online Analytical Processing).



Заводская автоматизация несколько отстает от автоматизации офисной деятельности, при этом многие технологические и производственные БД основываются на устаревших и довольно негибких технологиях. Вместе с тем в производстве существуют насущные потребности как в OLTP-приложениях, так и в DSS-системах. Примерами типичных OLTP-приложений могут служить системы контроля перемещения или системы управления серийным производством и складскими запасами. Характеристиками, аналогичными DSS-системам, обладают системы управления производственной информацией.

Как правило, производственному персоналу всегда не хватает информации. Операторам, специалистам, ремонтному персоналу, начальникам – всем нужен доступ к текущим и архивным производственным данным, статистической и итоговой информации и т. д. Все они хотели бы иметь какое-то единое средство доступа к информации.

Однако традиционные БД не всегда применимы в системах промышленной автоматизации. Можно выделить несколько основных ограничений:

- ◆ Производственные процессы генерируют данные очень быстро. Чтобы хранить производственный архив системы, например с 7 500 рабочими переменными, в БД каждую секунду необходимо вставлять 7 500 строк. Обычные БД не могут выдержать подобную нагрузку.
- ◆ Производственная информация не вмещается. Многомесячный архив завода с 7 500 рабочими переменными требует под БД дисковой памяти объемом около 1 ТБ. Сегодняшние технологии такими объемами манипулировать не могут.
- ◆ SQL как язык не подходит для обработки временных или периодических данных, типичных для производственных систем. В частности, чрезвычайно трудно указать в запросе периодичность выборки возвращаемых данных.

## Что же такое Historian?

Можно выделить несколько особенностей Historian как программного продукта.

**Хранитель производственной архивной информации**, включая данные о событиях и соответствующих реакциях. Historian представляет БД, в которой учтена скорость поступления и объемы производственной информации. Он позволяет осуществлять сбор и запись данных в сотни раз быстрее, чем это делают обычные БД на аналогичной платформе, и при этом еще и занимает значительно меньше дискового пространства.

Historian, будучи интегрированным с системной платформой, способен накапливать при помощи серверов ввода-вывода информацию практически от любых измерительных приборов и устройств сбора данных.

**Система управления РБД реального времени, использующая язык SQL.** Выступая в качестве сервера БД, Historian представляет собой расширение Microsoft SQL Server. При этом он обеспечивает скорость накопления данных более чем на порядок выше, характеризуется снижением размеров пространства хранения и реализует расширение языка SQL в области обработки данных, имеющих временные ярлыки (метки).

Объединение серверов Historian и Microsoft SQL Server незаметно для пользователя. Можно сказать, что Historian превращает Microsoft SQL Server в сервер РБД реального времени. При этом клиенты могут напрямую обращаться к Historian при помощи тех же утилит, которые используются сервером Microsoft SQL Server.

Таким образом, Historian:

- ◆ Сохраняет не критичную во времени информацию в БД Microsoft SQL Server. Вся технологическая информация сохраняется в специальных таблицах расширения.
- ◆ Поддерживает пропускную способность, то есть обеспечивает сохранение огромных потоков информации с высокой разрешающей способностью.
- ◆ Поддерживает целостность данных, то есть обеспечивает запись больших объемов информации без потерь.
- ◆ Добавляет в Microsoft SQL Server свойства сервера реального времени.

На рис. 39 показаны информационные потоки. С одной стороны, это данные, поступающие из различных источников для сохранения в БД, с другой – данные, запрашиваемые потребителями через интерфейс SQL-сервера.

Стандартным механизмом поиска информации на сервере Historian является SQL, что гарантирует доступность данных самому широкому кругу приложений. В подмножество языка SQL входит расширение, служащее для получения динамических производственных данных из Historian и позволяющее строить запросы на базе временных отметок. Все приложения, работающие с Microsoft SQL Server, могут также подключаться и к Historian.

Используемая в Historian архитектура клиент-сервер позволяет заполнить промежуток между промышленными системами контроля и управления реального времени, характеризующимися большими объемами информации, и открытыми гибкими управленческими информационными системами. Благодаря наличию мощного и гибкого процессора запросов пользователи имеют возможность осуществлять поиск любой степени сложности для выявления зависимостей и связей между физическими характеристиками, оперативными условиями и технологическими событиями.



Рис. 39. Информационные потоки

## Функциональные возможности сервера

**Высокопроизводительный сервер.** Historian обеспечивает сбор данных в сотни раз быстрее, чем любые другие РБД, и сохраняет их на гораздо меньшем дисковом пространстве.

ве. Многоуровневая клиент-серверная архитектура служит мостом между управленческими и производственными сетями, предоставляя вышележащему уровню всю информацию в реальном масштабе времени. Опирающаяся на Windows многоуровневая архитектура представляет собой масштабируемое решение любых пользовательских требований. Historian может использоваться как в небольших цехах с сотней регистрируемых технологических параметров, так и на крупных промышленных предприятиях с сотнями тысяч параметров.

**Уменьшение объема хранения.** Фактический размер требуемого для хранения производственной информации дискового пространства определяется размером и сущностью операций предприятия, а также интервалом хранения предыстории его функционирования. Например, двухмесячный архив предприятия с 4000 параметров, опрашиваемых с периодичностью от нескольких секунд до нескольких минут, будет занимать около 2 Мб дискового пространства. Используемый алгоритм упаковки информации является алгоритмом сжатия без потерь, сохраняющим высокое разрешение и качество данных.

**Достоверная информация.** Будучи сервером БД, Historian хранит наиболее полную информацию о производственных процессах. Сервер может накапливать производственную информацию с высокой разрешающей способностью, получая ее при помощи серверов ввода-вывода от более чем 600 различных контрольных и регистрирующих устройств.

Конфигурационные параметры, как и вся предыстория модификаций, хранятся в «чисто» Microsoft SQL таблицах, доступных через SQL. В процессе функционирования предприятия могут добавляться новые и удаляться существующие параметры, меняться описания и диапазоны измерений.

**Система регистрации событий.** Непрерывные данные наиболее полезны в контексте событий. Событие может представлять собой все что угодно – завершение серии, изменение значения переменной, операции SQL по вставке, обновлению или удалению, заступление новой смены либо запуск оборудования и т. д., а также комбинации всего перечисленного. Historian может различать и соответствующим образом реагировать на события. События могут инициировать определенные предписанные действия. Например, завершение очередного этапа может приводить к записи конечных значений этапа в таблицу серии, начало новой смены может запустить выдачу сменного отчета, запуск двигателя может привести к посылке определенного сообщения в ремонтную службу и т.д.

В производственных отчетах, как правило, содержится сводная, или статистическая, информация. Historian может автоматически обновлять сводные таблицы с заданной периодичностью, записывая в них средние величины, суммы, а также максимальные и минимальные значения. Функции копирования облегчают тиражирование сводных данных и информации о событиях, что особенно важно при принятии различных управленческих решений.

**Гибкий открытый доступ.** Большая доля производственной информации имеет такие же характеристики, как и обычные деловые данные. Например, конфигурационные или сводные данные. Информация подобного рода поддерживается средствами Microsoft, встроенными в Historian, а именно сервером Microsoft SQL Server. А имеющиеся клиентские приложения дают пользователям возможность выбирать именно те средства, которые наилучшим образом позволяют решать поставленные задачи.

**Открытая и гибкая база данных.** Мощная и гибкая БД Historian поддерживает доступ к информации реального времени, архивным и конфигурационным данным любыми программными средствами. Для хранения информации доступны следующие типы данных:

- ◆ реального времени;
- ◆ архивные;
- ◆ конфигурационные;
- ◆ сводные;
- ◆ сопутствующие учрежденческие.

## Клиентские приложения

**Состояние.** Клиентские программы позволяют решать такие задачи, как частотный анализ, профилирование, генерация стандартных отчетов, имитация вывода на экран, средства перемещения, просмотра информации на базе браузера, воспроизведения, генерации отчетов для управляющего персонала, а также инструментарий построения различных графиков, диаграмм и схем.

Как уже говорилось, Historian включает в себя возможности традиционных РБД, поскольку построен на Microsoft SQL Server, добавляя, однако, и уникальные свойства, связанные с регистрацией данных в реальном времени. Со сформированными в реальном времени таблицами возможна работа по стандартным SQL-запросам

Будучи построенным Microsoft SQL Server, Historian использует все его возможности, в том числе и такие, как интерфейсы для обмена электронной почтой, Internet Information Server для публикации данных в Интернете, репликацию и службы дистрибуции для распространения информации в другие приложения баз данных Microsoft SQL Server и Oracle.

**Поддерживающие стандартные SQL- или ODBC-приложения.** Это и Crystal Report, и Microsoft Query, и Microsoft ISQL, а также множество других прикладных пакетов типа Microsoft Access, Excel, Word, Lotus и специализированных статистических и математических пакетов.

Эти прикладные программы могут разрабатываться в любой популярной среде программирования, включая Visual Basic, PowerBuilder и C++.

### 4.3.3. Модели данных комплексной системы предприятия

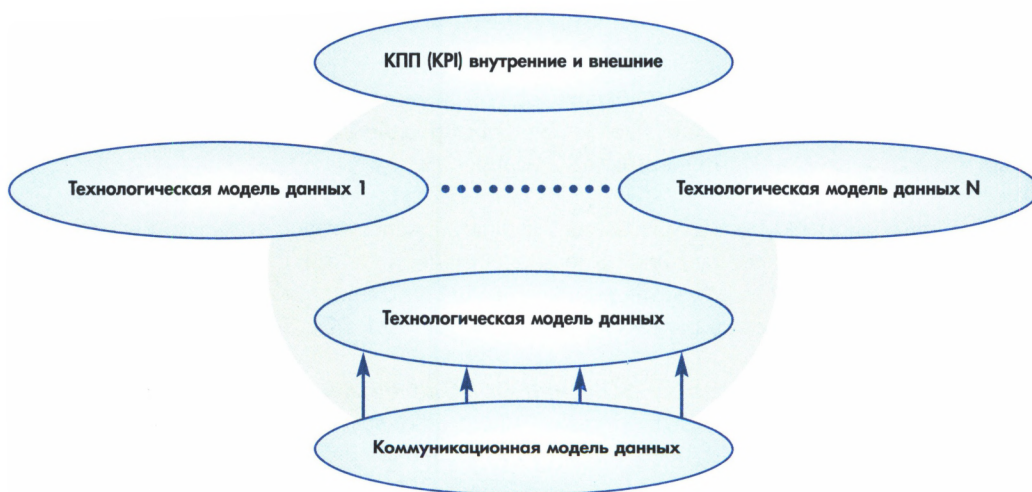
Рассмотренная выше технологическая объектная модель является лишь одной из составляющих комплексной модели данных предприятия (рис. 40). Каждая из систем комплексной системы автоматизации предприятия, например ERP, EAM, имеет в основе свою модель данных. Предметом рассмотрения в рамках каждой из систем являются объекты технологического процесса с поддерживающей его инфраструктурой, но под специфическим углом зрения в каждой системе. Например, система диспетчерского оборудования контролирует параметры технологических процессов с точки зрения отклонений технологических значе-

ний от нормы, работоспособность оборудования (выход из строя), обеспечивает расчет ключевых показателей в пределах суток о выполнении плана в реальном времени, накопительным итогом и др.

Система планирования поддерживает автоматическое или ручное пооперационное планирование, связанное с каждой единицей технологического оборудования.

Система управления производственными фондами для обеспечения надлежащего состояния анализирует техническое состояние технологического оборудования, поддерживает выполнение профилактических мероприятий, связанных с оперативным техническим обслуживанием, выполнением аварийных ремонтов, плановых и капитальных ремонтов.

Основное назначение **технологической модели** – создание единого пространства имен, отражающего технологическую структуру предприятия. Единое пространство имен определяет структуру данных для сбора, архивирования, системы алармов. Архив, структура которого определена единым пространством имен, является единственным источником оперативных данных внешней среды.



**Рис. 40.** Обобщенная модель данных

**Коммуникационная модель** – модель данных, отражающая схему получения данных от источников (интерфейсы, режимы), структуру информационных потоков для оптимизации и управления сетевой инфраструктурой.

Описание всех типов данных на предприятии должно включать наименование системы – источника данных, описание группы, функциональное назначение, тип, доступ к этому элементу данных со стороны различных групп пользователей.

Создание коммуникационной модели предполагает и создание моделей измерения параметров. Модель измерения – это описание способа и режима получения значения выбранного параметра от заданного источника (рис. 41).



Основным назначением функциональной модели является описание структуры данных для систем производственного и бизнес-уровней. Поэтому модель данных определяется требованиями производственных процессов, например процессов управления производственными фондами, управления качеством продукции, качеством процесса производства и др. В рамках каждого из перечисленных процессов на этапе информатизации разрабатывается собственная иерархия объектов (рис. 42), ориентированная на решение задач соответствующих служб предприятия.

Ниже рассмотрен пример формирования функциональной модели для процесса управления производственными фондами.

Стратегической задачей систем управления производственными фондами, или ЕАМ-систем, обеспечивающих информационную поддержку соответствующего процесса, является переход от плановых ремонтов оборудования к ремонтам по текущему состоянию. Но для оценки текущего состояния сложного оборудования важно, с одной стороны, в реальном времени получать качественную оперативную информацию, а с другой – просчитывать инвестиции в фонды, фактические затраты на обслуживание фондов в структуре себестоимости и т. п., опираясь на архивные данные.

Поступление технологической информации в реальном времени, включая данные от счетчиков, аппаратуры аварийной сигнализации, диагностические сообщения, определенные в технологической или коммуникационной модели, позволяет автоматически генерировать наряды на работу. Таким образом, техническое обслуживание оборудования выполняется в реальном времени.

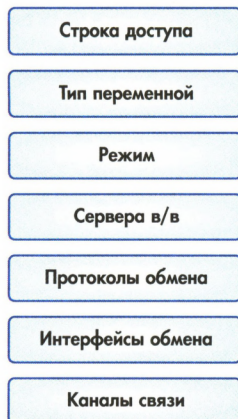


Рис. 41. Модель измерения

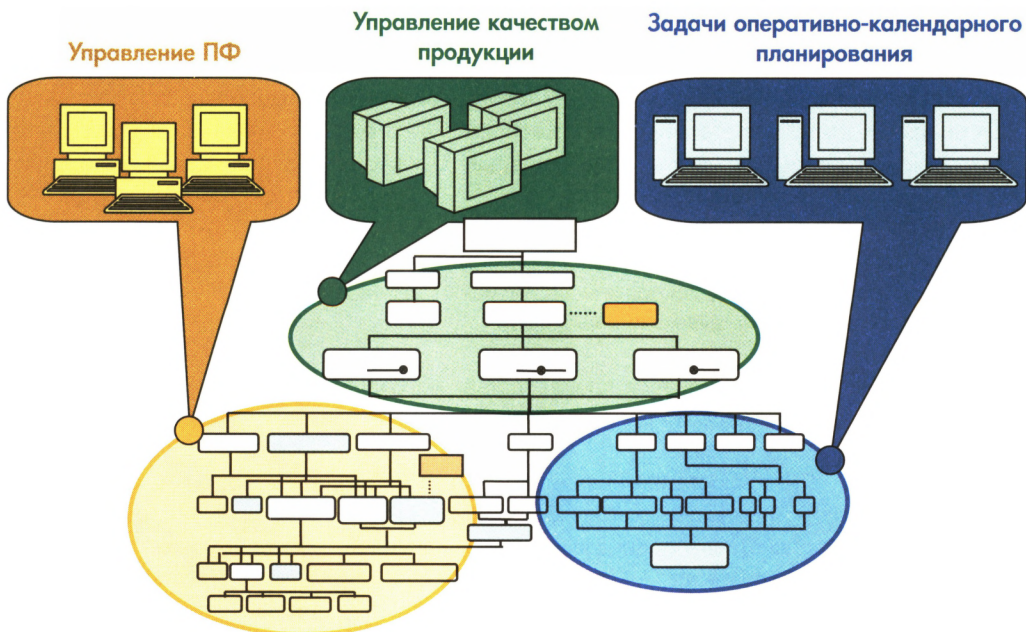


Рис. 42. Примеры иерархии объектов производственных процессов



**Рис. 43.** Пример иерархии объектов системы управления производственными фондами

В рамках функциональной модели создается дерево объектов, описывающее подлежащее ремонту оборудование (рис. 43). Динамические атрибуты объектов этого дерева связываются с данными технологической и коммуникационной модели.

Естественной вершиной многоуровневой модели данных являются ключевые показатели эффективности (КПЭ). Именно эти показатели характеризуют всю деятельность предприятия, от затрат на производство до полученного результата. Ключевые

показатели эффективности – это та обратная связь, которая замыкает контур управления и инициирует новые управленческие решения. Подробно ключевые показатели эффективности рассмотрены в главе 2.

## 4.4. Материальный учет

Материальный баланс производства представляет собой математическую модель технологического процесса, а именно количественные взаимоотношения материальных потоков в процессе их движения и взаимодействия.

На основе данных о состоянии технологического процесса, о потребляемых ресурсах производится учет продукции и расчет периодических потерь предприятия, предоставляются точные сбалансированные данные для инженерных расчетов и планирования, контролируются реальные потери, контролируется и корректируется процесс управления предприятием путем ежедневного расчета массового баланса, совершенствуется механизм ведения основных фондов производства.

Часто сведение материального баланса производств выполняется вручную, возникающие дисбалансы «размываются», исходя из субъективных соображений, по структурным единицам и потерям, среди которых можно выделить:

- ◆ реальные потери в процессе производства, включая отходы в брак, использование на собственные нужды и др.;
- ◆ потери из-за неточности измерений, недостаточной точности датчиков, ошибки учета продукта при погрузке-разгрузке в процессе транспортировки, т. е. ошибки в измерениях параметров процессов являются причиной финансовых потерь. Ошибки калибровки, дефекты датчиков, неправильно регистрируемые измерения, ошибки измерений в резервуарах и неучтенные потери при технологическом процессе делают собранные о процессах данные несогласованными и, следовательно, некорректными для анализа (расчет производительности производства, оптимизация техноло-

гических процессов). Используя специальные алгоритмы, балансовая система позволяет рассчитывать согласованные измерения, причем параметры должны иметь минимальное отклонение от действительных значений.

Одним из наиболее эффективных способов улучшить ситуацию в целом, не требующим больших капитальных затрат, является оперативное слежение за процессом производства, определение причин и источников возникновения потерь и их устранение. Своевременного обнаружения потерь в масштабах предприятия можно достичь только благодаря внедрению современных систем учета и расчета материальных балансов, предоставляющих в едином обобщенном виде плановую и фактическую информацию о производственных процессах.

Потери на предприятии можно разделить на две группы: **реальные и вероятные**.

Реальными являются потери в таких физических процессах, как сброс на факел, испарение, различного рода утечки, расход на собственные нужды и т. д. Вероятными потерями являются погрешности измерения параметров технологических процессов, ошибки калибровки датчиков, дефекты датчиков, неправильно регистрируемые измерения, погрешности учета получаемого сырья, промежуточных и товарных продуктов, ошибки измерений расходов продуктов и запасов в резервуарах (ошибки определения средней температуры хранимого продукта, деформация емкостей под воздействием температур).

Вероятные потери не определяются и не поддаются учету без применения специализированных алгоритмов согласования измеренных данных. Их базу составляет математический аппарат согласования данных, основанный на экономико-математическом методе анализа измерительной информации.

Неточные измерения ведут к рассогласованию данных о процессе и делают их неудобными для многих видов анализа, включая анализ производительности, оптимизацию технологических процессов и определение приоритета для текущего ремонта измерительного оборудования. Неточные и пропущенные измерения требуют их согласования: вычисления некоторых среднестатистических значений измеренных параметров, удовлетворяющих определенным ограничениям по точности, величине отклонения от измеренных значений и относительному равенству релевантных параметров.

Основой для расчета балансов и сбора информации является организация учета материальных потоков — сырья, полуфабрикатов по узлам производства, где узлами являются производственные установки и хранилища продуктов.

Учет может производиться следующими способами:

- ◆ измерением объема потоков между узлами (поточные расходомеры);
- ◆ измерением объема продуктов в хранилищах (например, по высоте разлива);
- ◆ комбинацией первых двух способов.

Выбор способа измерения зависит от качества измерительной аппаратуры, и именно она определяет метод учета.

Все оперативно полученные данные согласуются путем выполнения следующей последовательности операций:

1. Описание технологической схемы процесса с помощью предустановленных графических объектов, используя графический редактор.
2. Определение источника данных, в котором находятся результаты измерений технологических параметров.
3. Выбор вида баланса, алгоритма обработки, участка созданной ранее технологической схемы, интервала времени, по которому должен проводиться расчет.
4. Считывание из источника первичных данных измеренных значений, отбрасывание измерений с большими погрешностями.
5. Согласование данных, при котором анализируется класс точности измерительных приборов, используется закон сохранения материальных потоков.
6. Вычисление согласованного баланса и отображение результатов в виде таблиц, диаграмм, графиков и т. д.

#### 4.4.1. Технология применения

Постановка задачи начинается с построения схемы связей между технологическими объектами. Схема может быть представлена в виде графа, вершинами которого являются узлы, а ребрами потоки. На рис. 44 представлен пример схемы потоков для 4 установок. Для построения схемы должен быть графический интерфейс.

На основе схемы строятся балансовые соотношения. Для нашего примера это:

$S1 = S2 + S7$	$\longrightarrow$	$S1 - S2 - S7 = 0$
$S7 = S6 + S8$		$S7 - S6 - S8 = 0$
$S2 + S8 = S3$		$S2 + S8 - S3 = 0$
$S3 + S4 = S5$		$S3 + S4 - S5 = 0$

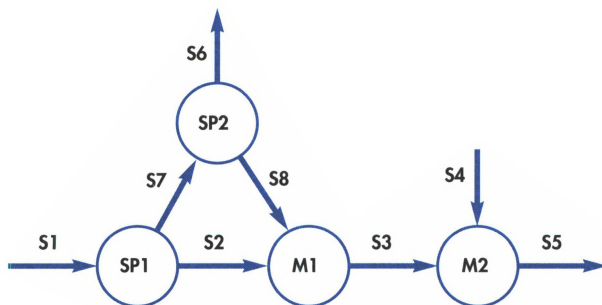


Рис. 44. Пример схемы потоков для 4 установок



Систему уравнений можно преобразовать к виду  $AX = 0$

где вектор  $X = \{S_1, S_2, \dots, S_8\}$

$$\text{матрица } A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Для потока необходимо задать измерения и погрешность этого измерения. Ввод измерений может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Модуль должен оценивать материальный, тепловой и компонентный балансы на основе заложенных моделей, библиотека которых может дополняться пользователем.

Учитывая, что величины измерений потоков не являются абсолютно точными, т. е.

*истинное значение = измеренное значение + погрешность,*

необходимо провести согласование данных. Суть согласования данных заключается в поиске решения, которое удовлетворяет балансовым соотношениям и минимизирует погрешность измерений. Для решения чаще всего используется метод наименьших квадратов, согласно которому минимизируется функция:

при условии  $AX = 0$ ;

$$\|X - Y\|^2 = (X_1 - Y_1)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2 \rightarrow \min$$

где  $X_i$  – измеренные данные

$Y_i$  – согласованные данные

Графическая интерпретация согласования данных (Data Reconciliation) приведена на рис. 45. Для наглядности используется схема с 3 потоками. Поток 3 является входящим, а потоки 1 и 2 – исходящими. Обозначим поток 1 как  $X_1$ , поток 2 как  $X_2$ , поток 3 как  $X_3$ .  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  – измеренные данные потоков 1, 2 и 3 соответственно. Уравнением балансовых соотношений для данной схемы является:

$$X_1 + X_2 - X_3 = 0$$

В качестве решения ищется точка на плоскости  $X_1 + X_2 - X_3 = 0$  наименее удаленная от точки  $(Y_1, Y_2, Y_3)$ .

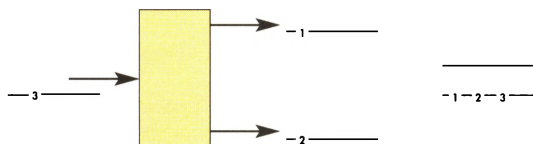


Рис. 45. Графическая интерпретация согласования данных



Учитывая, что погрешность измерений потоков различна, оптимизируемая функция преобразуется к виду:

$$\|X - Y\|^2 = \frac{1}{\sigma_1^2} (X_1 - Y_1)^2 + \dots + \frac{1}{\sigma_n^2} (X_n - Y_n)^2 \rightarrow \min$$

где  $\sigma_i$  – погрешность измерений  $Y_i$

То есть чем больше погрешность измерения, тем меньший вес имеет это измерение.

Это задача условной оптимизации, для решения которой может быть использован, например, метод проекции градиента.

Помимо согласования данных модуль должен проводить 3 статистических теста: для анализа больших ошибок, общий тест измерений и тест измерений главных компонент. Тесты проводятся исходя из предположения, что величина погрешности измерений имеет нормальное распределение.

Общий тест основан на анализе дисбалансов каждого узла. Дисбаланс рассчитывается как разница между входящими и исходящими потоками. Если величина погрешности измерений имеет нормальное распределение, то функция

$$\chi^2(v) = \sum_{i=1}^v R_i^2$$

где  $R_i$  – дисбаланс  $i$ -го узла

$v$  – количество узлов (степень свободы)

имеет распределение  $\chi^2$  (квадрат нормального распределения).

В зависимости от степени свободы и свойств распределения  $\chi^2$  модуль должен делать вывод о наличии больших ошибок в измерениях.

Тест измерений заключается в определении узла, который с наибольшей вероятностью является источником ошибок. Анализ проводится на основе формулы:

$$Z_i = \frac{Y_i - X_i}{\sigma_i^2}$$

где  $Y_i$  – измеренные данные

$X_i$  – согласованные данные

$\sigma_i$  – погрешность измерений  $Y_i$

Тест измерений главных компонент основан на методе анализа главных компонент и применяется для поиска источника больших ошибок. Исследуемой функцией является разница между измеренными и согласованными данными.

После проведения статистических тестов и согласования данных модуль должен позволять формировать набор отчетов, включающих отчеты по каждому узлу, суммарный балансовый отчет, отчет о статистических тестах, анализ ошибок измерений.

Анализ технологических данных, проводимый модулем, должен обеспечивать не только определение ошибок и неисправностей измерительной аппаратуры, но и давать оценку эффективности работы установок.

#### **4.4.2. Расчет балансов**

Балансирование информации – это основное применение согласованных данных. Балансирование измерительной информации применяется для определения того, что «наиболее вероятно» произошло в технологическом процессе за выбранный интервал времени.

Производя расчет согласованных сбалансированных данных, должны быть использованы все получаемые измерения, информация о структуре измерительной системы, а также должна оцениваться точность и достоверность информации от измерительных устройств. Для измеренных данных должны рассчитываться корректировочные значения таким образом, чтобы величина корректировки была минимальна и при этом достигался баланс.

Расчет балансов должен производиться для всего предприятия и при необходимости для отдельно выбранных производств, участков и установок. Интервал времени проведения расчетов может колебаться от нескольких часов или дней до нескольких недель или месяцев. Для непрерывных процессов, таких как в нефтепереработке, расчет балансов должен проводиться ежедневно или по рабочим сменам.

В процессе расчета баланса должны рассчитываться неизмеренные напрямую технологические параметры с использованием показаний измерительных приборов, а в случае их утери – вычисляться статистические значения неизмеренных параметров.

Для расчета параметров настройки технологического процесса используются математические модели. Под балансовой моделью понимается экономико-математическая модель, включающая целевую функцию и систему ограничений, представляющих балансовые соотношения, характеризующие равенство поступившего в производство (закупленного, произведенного) и выпущенного (отгруженного) продукта. Одним из таких ограничений является равенство соответствующих первичных данных: выхода материального продукта с одного участка и входа на другой.

Все данные, используемые для расчета материального баланса, должны быть выражены в единицах массы. В случае измерения объема первичные данные пересчитываются в массу с учетом температуры и плотности нефтепродукта. В сравнении с методами, которые используют объемные величины для расчета материального баланса, такой подход обеспечивает наиболее достоверные оценки измеряемых параметров.

Материальный баланс предприятия – это основа для определения потерь. Потери предприятия кажутся маленькими, если производить учет потерь за короткий промежуток времени. Существенными потери становятся при сравнении величины потерь и полученной прибыли за месяц.

Первоначально для определения потерь производится расчет материального баланса на основе несогласованных данных с измерительных устройств. Для идентификации источников реальных потерь используются таблицы расчета, в которых указываются количествен-

ные оценки реальных потерь. Потери при этом подразделяются на учтенные и неучтенные (учтенные – потери, источники которых заранее известны, неучтенные – потери с неизвестными источниками возникновения). Далее осуществляется согласование данных при выполнении условий сходимости массового и/или материального баланса и минимизации отклонения действительных значений от согласованных данных.

В процессе согласования все неучтенные потери анализируются и распределяются между технологическими установками и переводятся в учтенные. В результате рассчитанный на основе согласованных данных материальный баланс не будет содержать неучтенных потерь, а общие учтенные потери приблизятся к действительно существующим.

На конечном этапе создается таблица согласованных данных, в которую входят скорректированные учтенные потери. Помимо количественного определения потерь производится их анализ и указываются источники возникновения.

Для улучшения точности и увеличения достоверности измерений каждый раз, когда данные некоторого измерительного устройства используются при согласовании, вычисляется наилучшая оценка измеренной величины и коррекция, необходимая для того, чтобы показания данного измерителя согласовывались с показаниями остальных измерительных устройств. Если согласование выполняется ежедневно, к концу месяца появится 30 оценок для коррекции данных, что является достаточным для анализа работы каждого конкретного измерительного устройства. Это позволяет определять и устранять систематическую, случайную и грубую ошибки измерений и корректировать влияние условий окружающей среды на измерение технологических параметров. Благодаря этому можно существенно улучшить достоверность при расчете неизмеренных потоков, обнаружить ошибки измерений и неисправные измерительные устройства.

При согласовании данных на крупных предприятиях одновременно решаются тысячи уравнений балансов. Производственный процесс представляется и анализируется в виде единой аналитической модели всего предприятия.

На основе рассчитанных согласованных данных, помимо составления балансовых форм, возможно производить:

- ◆ планирование обслуживания технических средств измерения;
- ◆ анализ архитектуры измерительной системы;
- ◆ подготовку отчетов по экологии, что позволит значительно сократить штрафы за выбросы.

#### **4.4.3. Сравнительные характеристики балансовых систем**

На мировом рынке приложения для программирования балансов предлагаются рядом компаний, например SIMSCI, Honeywell, KBC, Advanced Technologies. Ниже кратко описаны два из них. Рекомендации по выбору конкретной системы будут зависеть от решений, выбранных по другим контурам, в том числе от инструментальной платформы АСОДУ. Сначала остановимся на утилите RECON.

## RECON

Балансовая система RECON решает класс задач, связанных с контролем и оценкой потоко-распределения в инженерных сетях. Поэтому она может применяться в таких отраслях, как производство нефти и газа, нефтехимическая, химическая, полимерная, фармацевтическая, производство металла и т. п.

Постановка задачи начинается с построения схемы связей между технологическими объектами. Схема может быть представлена в виде графа, вершинами которого являются узлы, а ребрами – потоки. Для построения схем в RECON предусмотрен графический интерфейс. На основе схемы строятся балансовые соотношения.

Для потока необходимо задать измерения и погрешность этого измерения. Ввод измерений может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме. В автоматическом режиме источником данных может служить файл ASCII или база данных (доступ осуществляется посредством интерфейса ODBC).

Система RECON позволяет оценивать материальный, тепловой и компонентный балансы на основе заложенных моделей, библиотека которых может дополняться пользователем.

В процессе согласования должно производиться:

- ◆ получение и фиксация измеренных данных;
- ◆ статистическое моделирование пропущенных (не измеренных или утерянных) данных;
- ◆ моделирование данных, выходящих за допустимые статистические границы;
- ◆ вычисление усредненных значений параметров с применением математического метода наименьших квадратов.

Проводимые таким образом вычисления представляют собой первую фазу согласования и образуют основу для последующих расчетов балансов производства.

Помимо согласования данных RECON проводит 3 статистических теста для анализа больших ошибок: общий, тест измерений и тест измерений главных компонентов. Тесты проводятся исходя из предположения, что величина погрешности измерений имеет нормальное распределение.

Общий тест основан на анализе взвешенных дисбалансов каждого узла. Дисбаланс рассчитывается как разница между входящими и исходящими потоками. Коэффициенты взвешивания – оценки стандартных отклонений дисбалансов каждого узла.

После проведения статистических тестов и согласования данных RECON формирует набор отчетов, включающих отчеты по каждому узлу, суммарный балансовый отчет, отчет о статистических тестах, анализ ошибок измерений. Важной особенностью пакета RECON является поддержка интеграции с системами ERP и MES.

## Production Balance фирмы Honeywell

Production Balance фирмы Honeywell – это специальное приложение, спроектированное для автоматического формирования обоснованного материального баланса как для всего завода в целом, так и для отдельных технологических установок. Он предназначен для сбора первичных данных, расчета согласованных и сбалансированных данных промышленных предприятий, в том числе непрерывных производств, таких как нефтеперерабатывающие заводы.

Поскольку успех завода зависит от качества информации для принятия решений и своевременной реакции на оперативные изменения, балансовая система собирает и обрабатывает основную технологическую информацию, отражающую состояние технологического процесса на основе достоверной продуктовой и складской статистики.

Балансовая система обеспечивает:

- ◆ повышение качества первичной информации, уменьшение ее неопределенности;
- ◆ доставку согласованной сбалансированной информации в процессы планирования, оперативно-диспетчерского управления и финансового анализа;
- ◆ возможность отслеживать ключевые индикаторы эффективности (КПЭ), такие как ежедневная, ежемесячная материальная прибыль и потери, отклонение фактических потерь от плановых в определенные исторические моменты;
- ◆ идентификацию источников потерянных или ошибочных данных;
- ◆ анализ и восстановление существующих проблем, связанных с погрешностями измерительных приборов (расходомеров и т. п.), с пропущенными или неполученными показаниями относительно перемещений материалов в системе, с ошибками анализаторов.

Production Balance легок в использовании и сопровождении, позволяет сводить баланс в интерактивном режиме, предоставляет статистические алгоритмы согласования данных при идентификации проблем, обеспечивает интеграцию с корпоративными финансовыми системами.

Production Balance позволяет формировать объемный и компонентный балансы по заводу и/или по отдельным установкам. Алгоритмы согласования данных идентифицируют проблемы, такие как грубые ошибки, погрешности или потерянные данные, и сводит баланс. Пользовательский интерфейс приложения Production Balance позволяет автоматически корректировать ошибки, интерактивно вносить изменения и уточнения значений параметров, автоматически рассчитывать и сразу же отслеживать изменения и улучшения в балансе.

Сложные статистические методы отображаются простыми визуальными экранными формами и терминами, используя которые, специалист в интерактивном режиме сводит баланс.



Production Balance принимает, рассчитывает и сохраняет следующие массивы первичных данных:

- ◆ измеренные данные;
- ◆ обоснованно скорректированные – согласованные данные;
- ◆ согласованные сбалансированные данные.

На основе любого из этих массивов данных может быть рассчитан баланс для формирования и предоставления руководству официальных отчетов.

Алгоритм согласования данных Production Balance анализирует множество проблем, связанных с подведением балансов. Он позволяет:

- ◆ модифицировать баланс «на лету» (on the fly), корректируя грубые ошибки (и баланс тут же пересчитывается);
- ◆ обеспечивать точную обратную связь по операциям;
- ◆ обеспечивать поддержку правильности и надежности проводимых измерений.

Production Balance производит:

- ◆ поиск и идентификацию пропущенных данных, их уточнение с целью улучшения баланса;
- ◆ вычисление неизмеренных потоков данных и перемещений продуктов;
- ◆ оценку согласованности измерений и вероятности ошибок измерений для каждого измеряемого потока данных.

Пользовательский интерфейс Production Balance отражает традиционный путь, которым бухгалтеры и инженеры выполняют сведение балансов, и предоставляет результаты операций в легком для понимания табличном формате, позволяющем:

- ◆ значительно уменьшить время для формирования ежесуточного баланса;
- ◆ разработать структурированный интерактивный алгоритм расчета баланса, позволяющий формировать его не обязательно высококвалифицированным специалистам;
- ◆ оценивать качество материального баланса и делать различия между грубыми ошибками и нормальными отклонениями.

Способность формировать баланс в интерактивном режиме подразумевает также возможность запускать тесты «что, если», чтобы определять, какие типы изменений улучшают сходимость баланса.

Production Balance представляет стандартный набор отчетных форм для своевременного доступа к балансовым результатам, включая доступ через веб. Компоненты баланса – производственные продукты – могут быть представлены в отчетных формах с указанием места их расположения, типа или продуктовой группы.

С помощью специальных конфигурационных средств (Uniformance Software) Production Balance позволяет уменьшить стоимость. К ним относятся:

- ◆ обеспечение интеграции и обмена информацией ERP-систем с Production Balance;
- ◆ обеспечение связи Production Balance с любыми технологическими oil-системами, в частности с продуктами Honeywell's OM & S.

## SIGMAFINE

SIGMAFINE на правах клиентского приложения входит в состав PI System.

Пользовательский интерфейс SIGMAFINE использует объектно ориентированную графику для построения диаграмм хода технологического процесса. Диаграммы создаются посредством выбора из инструментальной панели готовых элементов, потоков, измерителей и технологических емкостей. Проектировщик соединяет выбранные элементы в соответствии с реальным процессом и таким образом получает рабочую экранную форму, на основе которой автоматически генерируются уравнения балансов, необходимые для согласования данных.

SIGMAFINE имеет add-in, встраиваемый в Microsoft Excel. Обработанные данные становятся доступными в Excel без применения SQL– или ODBC-запросов и дополнительного программирования. Благодаря встроенным возможностям Excel, значительно ускоряется процесс анализа данных и генерации отчетов после преобразования этих данных.

Следует отметить, что SIGMAFINE комплексно подходит к решению поставленных задач. Производственный процесс представляется и анализируется в виде единой аналитической модели всего предприятия, в отличие от программных продуктов со схожими функциональными возможностями, но предварительно проводящими декомпозицию поставленной задачи и отыскивающими решения на локальных участках единого производственного процесса.

### Коротко об инструментари

Следует также отметить, что инструментальные средства можно использовать и как инструмент для моделирования и оценки проектных решений. Такой подход дает возможности для повышения эффективности управления предприятием и соответственного снижения экономических потерь.

Описание продуктов проводится ниже на примере двух: Recon и Datacon, но список их довольно многочислен, некоторые из них приведены в таблице 10.

Таблица 10. Продукты и производители

Название продукта	Компания-производитель
DATACON	Simulation Sciences
SIGMAFINE	OSI
VALI	Belsim
ADVISOR	Aspentech
MASSBAL	Hyprotech
RECON	Chemplant Technologies
RECONCILER	Resolution Integration Solutions
PRODUCTION BALANCE	Honeywell

## Резюме

Создание систем управления производством позволяет:

- ◆ видеть производственный процесс через набор показателей в реальном времени;
- ◆ повышать эффективность деятельности предприятия на основе достоверной и оперативной информации;
- ◆ создать информационный инструмент для обнаружения и использования источников экономии производственных и непроизводственных затрат;
- ◆ снизить влияние человеческого фактора при подготовке и принятии управленческих решений.

Использование системной платформы позволит реализовать технологию создания гибких проектных решений, включающую:

- ◆ поддержку объектного подхода для создания приложений. При этом любое действие, операция, события связываются с физическим (насос, задвижка, установка и т. п.) или логическим объектом (цех, документ и т. п.);
- ◆ возможность адаптации и перенастройки узлов (компьютеров) эксплуатируемой распределенной системы. Определенные объекты на этапе конфигурирования размещаются на выбранные компьютеры, при необходимости изменения объекты могут быть перераспределены на другие ресурсы – компьютеры;
- ◆ модификацию объектов приложения при однократном изменении шаблона, на основе которого созданы объекты. Это делает приложение более структурированным и технологичным для совершенствования;

Сервер приложений обеспечивает централизованное управление работой приложений в распределенной среде. Позволяет модифицировать приложения на разных узлах с одной станции разработчика и администратора распределенной системы. Обеспечивается единый механизм работы с различными источниками данных. Сервер приложений позволяет сфокусировать внимание разработчиков на реализации бизнес-логики всей системы как единого целого, а не как разрозненного набора приложений.

Использование системной платформы обеспечивает бесшовную интеграцию сервера приложений с промышленной базой данных Historian и SCADA-приложениями.

Поскольку технологические и производственные процессы достаточно быстро изменяются (замена датчиков, исполнительных механизмов, усовершенствования в технологии, реинжиниринг процессов), то важно предусматривать согласованные изменения в нескольких системах автоматизации. Изменение в технологической модели ведет к модификации функциональных моделей. Пока такие изменения в большинстве случаев выполняются вручную. Но построение механизмов взаимосвязи между свойствами, функциями одинаковых объектов в различных моделях данных в интегрированной системе предприятия позволит переконфигурировать и сопровождать ее из единого центра и в автоматизированном режиме.

## ГЛАВА 5. Процесс контроля качества продукции

Согласно международным стандартам ISO 9000:2000 и ISO 9000:2001, качество — это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленным и предполагаемым потребностям. Качество характеризует соответствие товара (услуги) требованиям потребителей. Свойства товара, характеризующие его пригодность к выполнению определенных требований, называются показателями качества (признаками, характеристиками). Процесс контроля качества использует оценки качества в численном виде.

Поскольку Россия уже стала полноправным членом ВТО (с 1 сентября 2012 года), то для российских производителей это означает не только приход на внутренний рынок более дешевых качественных товаров и услуг, но и необходимость следования более жестким стандартам, в том числе и международным. Возникает вопрос: как в такой ситуации выживать?

С другой стороны, многие российские производители устремляются на зарубежные рынки, причем не только с сырьем, но и со сложной многокомпонентной продукцией. Однако там они часто вынуждены продавать свой товар на 30–40 процентов дешевле аналогов мировых производителей. И здесь естественен вопрос: почему?

### 5.1. Процесс контроля качества — базовая составляющая системы менеджмента качества предприятия

Интегрирование российской экономики в международную экономическую систему требует конструктивного пересмотра организационных, технологических и прочих подходов к деятельности отечественных компаний. Один из важнейших инструментов для решения этой задачи — разработка и внедрение в российскую практику современных стандартов сертификации в соответствии с международными нормами ISO 9000 [16].

Российские органы сертификации и стандартизации предпринимают конкретные шаги, чтобы наиболее полно учитывать требования стандартов ISO 9000 в практике проведения сертификации отечественной продукции и услуг. Госстандартом России уже предусмотрено прямое применение всех новых международных стандартов семейства ISO 9000, в частности:

- ◆ ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
- ◆ ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования.
- ◆ ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности.
- ◆ ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
- ◆ ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.



Подход к управлению качеством при процессной организации работ (а это, напомним, первое требование семейства стандартов ISO-9000) основывается на том, что управление качеством также является процессом, взаимосвязанным со всеми процессами производства. Все работы в производстве осуществляются посредством выполнения сети процессов.

В соответствии со стандартом ISA-95, деятельность любого предприятия по управлению качеством подразумевает реализацию таких функций (см. подраздел 2.2.2), как:

- ◆ тестирование и контроль качества материалов (сырья, промежуточной и конечной продукции);
- ◆ контроль возможностей оборудования для удовлетворения целей по качеству;
- ◆ сертификация качества продукции;
- ◆ установка стандартов качества продукции;
- ◆ установка стандартов качества для персонала (сертификация и обучение);
- ◆ установка стандартов для оборудования контроля качества.

Автоматизация этих функций и является предметом обсуждения в настоящей главе.

Контроль качества — это деятельность, включающая проведение измерений, экспертизы, испытаний или оценки параметров объекта и сравнение полученных величин с установленными требованиями к этим параметрам (показателями качества).

Выполнение требований стандарта управления качеством ISO 9000 предполагает ведение большого объема бумажной документации и архива, хранящего результаты проведенных испытаний по контролю продукции. В этих условиях возникает необходимость систематизации информации в соответствии с требованиями ISO, представления ее контролирующим организациям, формирования тех или иных отчетных документов для структурных подразделений предприятия. Поэтому документооборот, обеспечивающий проведение измерений, экспертизы, испытаний или оценки параметров объекта и сравнение полученных величин с установленными, является существенной составляющей процесса качества.

В настоящее время для решения задачи количественной оценки параметров качества существуют различные подходы.

Один из таких подходов — применение статистических методов, которые, благодаря компьютеризации, все активнее внедряются в промышленное производство. Статистические методы позволяют создавать планы выборочного контроля, анализировать повторяемость и воспроизводимость измерений, оценивать надежность и функции риска. Многие процедуры, которые раньше было невозможно реализовать на каждом предприятии, теперь стали легко доступны любому производителю, заинтересованному в оптимизации, отладке и совершенствовании своего производственного процесса. Это и построение гистограмм для оценки закона распределения статистических данных, корреляционные методы и методы построения регрессионных зависимостей, диаграммы Парето, причинно-следственные диаграммы Исикавы и т. п.

Системы контроля качества продукции позволяют исследовать характеристики изделий и с помощью так называемых карт контроля качества и анализировать причины появления отклонений от плановых спецификаций.

Статистические методы контроля качества нашли широкое применение как на предприятиях с дискретным циклом производства, так и в непрерывном производстве.

Специальные подразделения, например ОТК (отделы технического контроля) или лаборатории, отвечают за контроль качества от сырья или комплектующих до готовой продукции.

Фактически создаются объективные и субъективные условия для формирования реальной системы менеджмента качества предприятия в соответствии с требованиями стандарта ISO 9000. И в этом существенна **автоматизация процесса контроля качества**.

## 5.2. Существующий уровень автоматизации контроля качества

Любая исследовательская работа предполагает анализ существующего состояния решаемой проблемы. Результаты этого анализа помогают в дальнейшем найти новое, более современное решение. Мы тоже стараемся по возможности не отступать от этого правила. И встречающиеся уже много раз в разделах этой книги фразы «как есть» и «как должно быть», похоже, становятся ее «лейтмотивом». Такой подход позволяет заинтересованным читателям достаточно легко понять, устраивает ли их состояние «как есть». Если не устраивает, то они будут искать новое решение. Такое решение по автоматизации процесса контроля качества и будет рассмотрено в этой главе.

Существующий на многих предприятиях России уровень автоматизации процесса контроля качества продукции в настоящее время находится, мягко говоря, не на высоком уровне. Автоматизировано всего лишь 20–30 процентов от числа основных функций процесса контроля качества. Обращение и истребование информации заинтересованными службами и специалистами предприятия осуществляется, к сожалению, еще достаточно часто на бумажных носителях. В каждой лаборатории или ОТК ведутся журналы, где регулярно фиксируются разнообразные параметры качества, относящиеся к каждому конкретному продукту или его составляющим. Как следствие, формируется огромный массив данных о качестве, возникает проблема управления этими данными:

- ◆ лабораторные журналы лаборантов установленного образца;
- ◆ журналы проведения ходовых испытаний по установкам;
- ◆ журналы качества отдельных видов продукции;
- ◆ журнал регистрации паспортов качества готовой продукции;
- ◆ журнал фиксации браков и некондиций;
- ◆ журнал регистрации арбитражных проб и т. п.

Архив данных по качеству, сформированный на бумажных носителях, перечисленных выше, не позволяет существующей системе управления реализовывать в полном объеме необходимые функции. В частности:

- ◆ нет возможности организовать использование данных по качеству в других информационных системах;
- ◆ невозможно сделать доступной для заинтересованных пользователей (клиентов) информацию о результатах анализов;
- ◆ невозможно объединить архив данных по качеству с архивом производственных процессов и др.

Как следует из вышесказанного, при таком подходе доступ к зарегистрированной информации для анализа производственных проблем и принятия управленческих решений может осуществляться лишь двумя традиционными путями:

- ◆ посредством телефонных запросов от потребителей информации (специалисты и службы предприятия) к держателю информации (старший лаборант-контролер ОТК);
- ◆ путем обмена информацией на бумажных носителях (режимные листы производственных установок, суточный рапорт, диспетчерский лист, паспорт качества и т. п.).

Таким образом, существующий уровень информационной поддержки процесса контроля качества не может обеспечить:

- ◆ сбор достоверной и своевременной информации о качестве сырья, реагентов, промежуточной и готовой продукции;
- ◆ передачу ведущим специалистам и службам предприятия достоверной информации о качестве сырья, реагентов, промежуточной и готовой продукции;
- ◆ а следовательно, и гарантированное удовлетворение ожиданий потребителей качеством продукции.

Так что же делать? Выбор, конечно, есть всегда. Но в данном случае руководство предприятий, для которых характерно все вышеизложенное в данном разделе, оказывается перед дилеммой: оставить все «как есть» или все-таки стремиться к тому, «как должно быть», то есть внедрять новые информационные системы поддержки процесса контроля качества.

### **5.3. Информационные системы поддержки процесса контроля качества**

Управление качеством продукции – постоянный, планомерный и целенаправленный процесс воздействия на всех уровнях на факторы и условия создания продукции оптимального качества (рис. 46). Систематическое следование данному процессу обеспечивает реализацию следующих принципов:



Рис. 46. Содержание процесса

- ◆ стремление к формированию стабильного и предсказуемого прохождения процессов для повышения результативности бизнеса;
- ◆ данные и показатели должны быть измеряемыми, управляемыми и улучшаемыми, а также должны отражать оперативные изменения;
- ◆ необходимо активное вовлечение сотрудников компании на всех уровнях, включая высший и средний менеджмент, для обеспечения непрерывного улучшения качества;
- ◆ ориентация на процессы вместо функциональной ориентации, процессное управление и постоянное совершенствование процесса;
- ◆ управление, основанное на договоренностях о целях;
- ◆ прозрачность внутрикорпоративных барьеров, управление без барьеров.

Рассмотрим следующие классы ИТ-инструментов, которые в значительной степени перекрывают требования по поддержке процессов качества:

- ◆ пакеты поддержки статистической обработки, например QIAnalyst, SPC (Statistical Process Control). Пакеты или модули SPC часто поставляются разработчиками SCADA-систем;
- ◆ LIMS (Laboratory Information Management System), или – в русском варианте – ЛИМС (лабораторные информационные менеджмент-системы) [1].

Далее остановимся на них подробнее.

### 5.3.1. Модули SPC

Наряду с получением технологических параметров SCADA-системы через функции SPC позволяют постоянно и оперативно контролировать параметры качества. Показатели качества выпускаемой продукции для стабильного производственного процесса или процесса, который последовательно производит продукцию, обладающую одинаковыми свойствами, позволяют понять, что происходит с процессом.

На рис. 47 представлен пример отслеживания параметра в реальном времени по ходу производства.

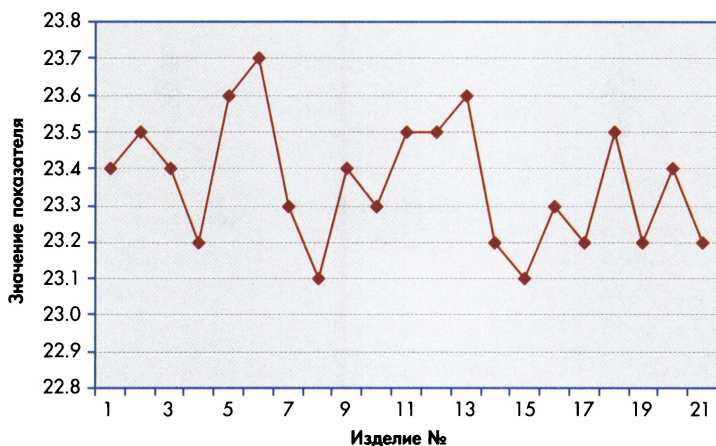


Рис. 47. Мониторинг значений показателя или показателей

Даже без указания контрольных границ график с измеренными точками данных может показать:

- ♦ общую картину процесса (среднюю длину детали, нормы контроля);
- ♦ тенденции или тренды;
- ♦ разброс единичных значений в процессе.

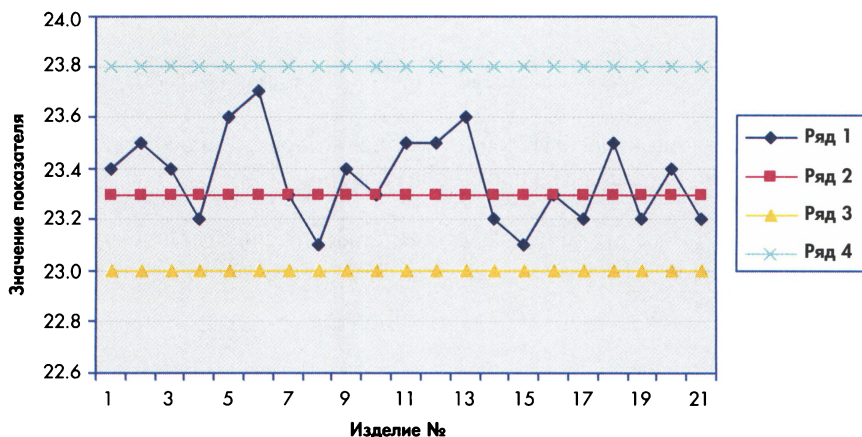


Рис. 48. Мониторинг показателей в пределах нормы



Определение пороговых границ или норм допустимых значений позволяет дать общую картину происходящего и облегчить принятие решений и контроль даже без статистических контрольных границ (рис. 48).

Любую группу данных можно охарактеризовать средним значением (сумма всех значений, поделенная на количество значений) и среднеквадратическим отклонением (стандартное отклонение, показатель, который характеризует рассеивание значений в группе, степень близости значений к среднему группы).

Среднеквадратичное отклонение (далее – сигма) имеет большое прикладное применение в разных процедурах контроля качества. В случае стат. контроля одно свойство является бесценным: в стабильном процессе с нормальным распределением **значения располагаются на определенном удалении от среднего.**

Так, в стабильном процессе с нормальным распределением любое значение из группы данных стабильного процесса имеет определенную **вероятность** находиться на определенном расстоянии от среднего:

Вероятность того, что каждая новая нарабатываемая деталь в стабильном процессе будет иметь длину в пределах одной сигмы от среднего значения – 68,2 процента.

Вероятность того, что каждая новая нарабатываемая деталь в стабильном процессе будет иметь длину в пределах двух сигм от среднего значения – 95,5 процента.

Вероятность того, что каждая новая нарабатываемая деталь в стабильном процессе будет иметь длину в пределах трех сигм от среднего значения – 99,7 процента.

А вот вероятность того, что длина новой детали в стабильном процессе будет длиннее на 3 сигмы, чем средняя длина, практически равна нулю! И если мы получили такую деталь, то наверняка есть какой-то внешний фактор, повлиявший на нарушение стабильности в процессе.

В большинстве случаев нет необходимости измерять каждую деталь. Статистический контроль использует выборку из популяции (все проверяемые данные). Например, каждые 2 часа проверяются 5 деталей из производимых на линии. На основании данных вычисляются:

- ◆ точка для графика средних;
- ◆ среднеквадратичное отклонение;
- ◆ количество дефектных деталей в выборке и др.

Использование даже средств сбора и первичной статистической обработки позволит контролировать показатели качества выпускаемой продукции для стабильного производственного процесса или процесса, который последовательно производит продукцию, обладающую одинаковыми свойствами. Эти показатели позволяют понять, что происходит с процессом.

Применение систем класса ЛИМС позволит обеспечить более комплексную информационную поддержку процессов качества. При этом модули статистической обработки, например SPC, становятся частью комплексной системы.

Данные системы предназначены для автоматизации процессов, связанных с определением физико-химических свойств материалов, применяемых или получаемых в производственном процессе. Это прежде всего прямое или косвенное определение или подтверждение внутреннего состава, причем как объемных материалов, так и материалов изделий (детали, таблетки и т. п.). Как известно, такими задачами занимаются аналитические лаборатории (функционирующие в рамках предприятия или внешние по отношению к нему).

### **5.3.2. ЛИМС как инструмент создания систем качества**

В системе качества огромного числа предприятий аналитическая лаборатория играет ключевую роль, поскольку именно она подтверждает соответствие продукции заявляемым требованиям. При этом важно, что лаборатория не только испытывает продукцию, но и выдает на нее соответствующие заключения и оформляет требуемые паспорта качества.

Следует заметить, что даже если конечная продукция не подпадает под юрисдикцию аналитического контроля, очень часто такой контроль требуется для используемых, в том числе и промежуточных, материалов и изделий. Помимо прочего, аналитический контроль промежуточных продуктов позволяет оперативно корректировать технологический процесс с целью удержания его в рамках необходимых технологических условий.

Следует сразу сказать, что в системе качества предприятия может вестись функциональный контроль различных агрегатов или узлов. Такими задачами системы ЛИМС не занимаются. В этом случае речь идет о стендовых испытаниях, и для их проведения используются те или иные стенды или измерительные системы, функционирующие автономно или в рамках АСУТП.

### **Нормативная база**

Во всем мире многие отрасли подпадают под очень сильный пресс нормативного законодательства. А так как лаборатория выступает в роли главного «гаранта соответствия», то к ней предъявляются повышенные, зачастую очень жесткие требования с точки зрения правил работы и документирования процессов подтверждения соответствия этим правилам.

Базовым регламентным документом можно считать стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». В данном (международном) документе отражены требования к системе менеджмента качества испытательной лаборатории, включая требования к персоналу, оборудованию, реактивам, методикам испытаний, внутрилабораторному контролю и т. д. Лаборатории при подтверждении своей компетентности в первую очередь руководствуются именно этими требованиями.

Помимо этого, в некоторых отраслях должны соблюдаться свои особые нормативные требования. Например, в сфере производства фармацевтических препаратов действуют известные правила GMP (Good Manufacturing Practice – надлежащая производственная практика), в русском варианте изложенные в стандарте ГОСТ Р 52249, а также правила GAMP (Good Automated Manufacturing Practice – надлежащая практика автоматизированного производства). И те и другие существенным образом отражаются и на работе аналитической лаборатории.

Документированное соблюдение и подтверждение подобных требований является одной из основных задач ЛИМС. Наличие ЛИМС может предоставить решающие гарантии соответствия и компетентности лаборатории при ее аккредитации.

Стоит указать на еще один аспект регулирования. Поскольку лаборатория сама также «производит продукцию» в виде результатов испытаний, то и они должны подвергаться контролю качества. Одним из признанных в связи с этим документов является ГОСТ Р ИСО 5725-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений», регламентирующий статистические методы аттестации и контроля методик выполнения измерений (МВИ). На российской (и некоторой постсоветской) территории на базе данного стандарта разработаны и законодательно приняты рекомендации РМГ 76-2004 «Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа». Реализация математических и процессных алгоритмов данных документов значительно упрощается при использовании ЛИМС.

### **Смежные задачи**

Помимо основной функции подтверждения качества, лаборатории решают также различные дополнительные задачи. Это связано прежде всего с охраной окружающей среды. С одной стороны, деятельность любого производства подпадает под жесткие экологические требования, обязывающие предприятия вести непрерывный мониторинг состояния окружающей среды. А с другой – технологические процессы, исполняемые на предприятии, могут нуждаться в обеспечении соответствующих технологических условий, налагаемых на окружающую среду (качество используемой воды, запыленность воздуха и др.). И в том, и в другом случае инструментом контроля является аналитический контроль. Применение ЛИМС в этом случае очень актуально.

### **История промышленных ЛИМС**

Важность компьютерной автоматизации аналитических лабораторий была осознана достаточно давно. Здесь речь идет не о том или ином виде автоматизированного оборудования, а об автоматизированных системах «верхнего» с точки зрения лаборатории уровня. Самые ранние системы, внедряемые в лабораториях, были собственной разработки. Но начиная с 80-х годов прошлого столетия на рынке стали появляться промышленные ЛИМС. Постепенно они развились в целый класс программных продуктов, ориентированных на те или иные области применения. Сейчас потребителями ЛИМС являются предприятия нефтехимии, нефтепереработки, фармацевтики, пищевой промышленности и др. Можно упомянуть и такие (не относящиеся к теме данной книги) сферы применения, как охрана окружающей среды, медицина или, скажем, криминалистика.

В настоящее время в мире насчитывается более сотни производителей ЛИМС. Одни из самых известных среди них – компании LabWare и STARLIMS. Продукты данных компаний лидируют на российском рынке, да и в мире.

### **Основные подсистемы**

Основные подсистемы (объекты, модули) современных ЛИМС более-менее сходны. Примерный состав лабораторной системы предприятия представлен на рис. 49.



**Рис. 49.** Объекты, конфигурируемые и используемые в ЛИМС

### **Пользователи**

ЛИМС относится прежде всего к системам автоматизации документооборота. Поэтому основная ее функциональность акцентирована на предоставлении необходимого пользовательского интерфейса. В качестве же пользователей ЛИМС могут выступать самые различные категории лиц:

- ◆ исполнительный и руководящий персонал лаборатории (пробоотборщики, испытатели, лаборанты, инженеры-химики, начальники смены, ведущие специалисты, начальник лаборатории и пр.). Это основные пользователи ЛИМС, выполняющие повседневную работу в ней;
- ◆ сотрудники смежных подразделений и руководство предприятия. В большинстве случаев это пользователи, которым предоставляется различная сводная информация по результатам работы лаборатории;
- ◆ внешние пользователи. Это могут быть, например, представители покупателей продукции предприятия, которым может предоставляться информация о результатах испытаний поставляемой продукции. Также это могут быть представители внешних заказчиков на проведение испытаний, если лаборатория выполняет те или иные виды подобных услуг.

Как и в других системах, ЛИМС обеспечивает систему безопасности, механизмами реализации которой является авторизация с использованием паролей, а также наличие ролевых, административных и территориальных разграничений прав доступа к данным и функциям системы.

### **Структурные единицы предприятия**

В зависимости от сложности системы в структуре ЛИМС могут использоваться:

- ◆ регионы, территории, здания, комнаты и пр. — с точки зрения административно-территориального устройства;

- ◆ стеллажи, полки, боксы и пр. — с точки зрения размещения материалов;
- ◆ цеха, установки, точки отбора пр. — с точки зрения организации технологического процесса производства;
- ◆ лаборатории, пункты сбора проб, рабочие комнаты/группы и пр. — с точки зрения организации заводской лаборатории.

### **Сторонние организации**

В качестве сторонних организаций, так или иначе конфигурируемых в ЛИМС, могут выступать:

- ◆ поставщики материалов и продуктов, как для производства (сырье, комплектующие, упаковки), так и для нужд лаборатории (реактивы, реагенты, стандарты, расходные материалы);
- ◆ потребители продукции предприятия;
- ◆ внешние заказчики лабораторных анализов.

### **Внешние системы**

Здесь речь идет о внешних по отношению к ЛИМС системах автоматизации. Информация в ЛИМС о них (протоколы обмена, передаваемые данные, регламент) необходима для организации обмена данными.

### **Нормативная и техническая документация**

Данная подсистема предназначена для ввода в ЛИМС исходной документации в электронном виде с целью дальнейшего оперативного предоставления ее испытателям на рабочих местах или другим пользователям для ознакомления и сверки.

### **Методики выполнения испытаний**

В любой ЛИМС конфигурируются объекты, которые представляют в формализованном виде правила, алгоритмы и формы отчетов, регламентируемые в документации (ГОСТ, ASTM, СТП и т. п.) по реализуемым в лаборатории МВИ. Такая информация может включать измеряемые компоненты, формулы расчета (включая округления и проверки результатов), оборудование, подготовительные операции, последовательность шагов выполнения, формы отчетов, нормы на расходные материалы, требования к аттестации персонала, первоисточники НТД и др.

### **Материалы**

К конфигурируемым в ЛИМС материалам относятся:

- ◆ материалы, участвующие в производстве (исходные материалы, промежуточные материалы, готовая продукция);
- ◆ материалы образцов отбираемых проб, например окружающей среды, или образцов внешних заказов на испытание;
- ◆ материалы, используемые в испытаниях (материалы проб, реактивы и реагенты, стандарты, аттестованные смеси, расходные материалы).

Информация по материалу может включать физико-химические свойства, правила безопасности и хранения, рецепты составления, аттестованные значения и др.



### **Спецификации и программы испытаний**

Спецификации в рамках ЛИМС представляют собой формализованное представление предельных и допустимых значения измеряемых или определяемых другим способом показателей, которым должны соответствовать, согласно НТД, испытываемые материалы. Используя перечень МВИ, требуемых для определения этих показателей, в ЛИМС формируются соответствующие программы (планы) испытаний образцов того или иного материала в тех или иных условиях производства.

### **Оборудование**

Все испытания (внешний осмотр сюда не относится) выполняются на том или ином оборудовании. Для такого оборудования, как испытательного (измерительные установки, приборы), так и вспомогательного (оправки, кюветы, секундомеры и др.), в ЛИМС конфигурируются соответствующие объекты. Информация по оборудованию может содержать идентификационные данные (тип, серийный и инвентарный номер, поставщик, год выпуска), регламенты обслуживания, состояние и др. Кроме того, если оборудование подключается к компьютеру или к сети, для него конфигурируется информация по обмену данными для автоматического ввода результатов в ЛИМС.

### **Планы-графики и схемы выполнения работ**

Многие процессы в лаборатории должны выполняться в соответствии с различными графиками: отбор проб с точек отбора технологического процесса или из экологических зон, замер температуры в рабочих комнатах, поверка или градуировка оборудования, проведение курсов обучения. Для управления этими процессами в ЛИМС конфигурируются соответствующие планы-графики.

Также очень часто некоторые процессы в ЛИМС должны выполняться в установленной последовательности. Например, завершение испытаний лаборантом должно инициировать процесс подтверждения результатов химиком-аналитиком. Для управления такими последовательностями в ЛИМС конфигурируются схемы выполнения работ (известные в АСУ как Workflow).

### **Образцы**

Образцы – это отобранные или предоставленные заказчиком пробы, поступающие в лабораторию на испытания. Образцы являются основными объектами ЛИМС. С ними ассоциируются различные другие объекты: материал, точка отбора, время поступления и другие сроки, программа испытаний, исполнители, оборудование испытаний, результаты и т.д.

### **Отчеты и паспорта качества**

Конечным результатом испытаний образцов должно быть составление заключения о соответствии, представленного в виде отчета установленной формы. Очень часто это паспорт качества или сертификат соответствия. Для генерации этих и других документов любая ЛИМС имеет подсистему генерации отчетов. Стандартно такая подсистема опирается на сторонний промышленный пакет, такой как Crystal Reports. Но это не исключает использования отчетности на базе приложений MS Office.

### **Математическое обеспечение**

Помимо математических вычислений, требуемых для определения вычисляемых компонентов МВИ, ЛИМС имеет математический аппарат для различного уровня статистического анализа, начиная от построения градуировочных кривых и заканчивая предоставлением за-

интересованному персоналу различных ключевых показателей (КПЭ), характеризующих положение дел в лаборатории и на предприятии.

### Записи аудита

Системы автоматизации, связанные с качеством, должны соответствовать особым нормативным требованиям. В связи с этим любая ЛИМС имеет подсистему ведения записей аудита, обеспечивающую полную прослеживаемость предоставляемых лабораторией результатов и условий их получения.

### Средства адаптации системы

Любая промышленная ЛИМС нуждается в адаптации к специфическим требованиям того предприятия, на котором она внедряется. Сюда относятся, в частности, настройка пользовательского интерфейса, реализация вычислительных алгоритмов, создание дополнительных таблиц и форм ввода и др. Некоторые ЛИМС, например STARLIMS, обеспечивают полный доступ к программному коду предметной области, предоставляя для этого соответствующую графическую среду разработки высокого уровня.

### Дополнительные модули

Выше были перечислены основные подсистемы (объекты) лабораторных систем, внедряемых на промышленных предприятиях. Ради полноты картины следует отметить, что существуют и другие области применения ЛИМС: в медицине (где они часто называются ЛИС), в криминалистике, в экологии, в антидопинговых лабораториях, в органах надзора и др. В этих случаях они имеют свои специфические подсистемы, например систему ведения амбулаторных карт пациентов, как это имеет место в медицине.

### Процессы жизненного цикла

Фактически любая ЛИМС управляет жизненными циклами (ЖЦ) различных своих объектов. В системах автоматизации эти ЖЦ принято называть бизнес-процессами (далее по тексту – процессы). На рис. 50 показаны основные процессы ЛИМС производственных предприятий.



Рис. 50. Процессы, поддерживаемые ЛИМС

### Процессы контроля

Данные процессы обеспечивают контроль производимой продукции на протяжении всей цепочки ее производства, а именно:

- ◆ **Входной контроль.** Относится к испытаниям образцов поступающих на предприятие материалов, прежде всего сырья. Обычно выполняется по заявкам из отдела закупок (или склада). Может сопровождаться ранжированием поставщиков, — когда объем испытаний зависит от качества предыдущих поставок.
- ◆ **Операционный контроль.** Испытания проб, отбираемых в точках отбора в различных местах технологического процесса. Фактически это испытания промежуточных материалов, по результатам которых можно контролировать соответствие технологического процесса требуемому режиму, а при его нарушении — также и корректировать процесс. Обычно операционный контроль выполняется по графику, автоматически отслеживаемому ЛИМС и отправляющему соответствующие напоминания исполнителям или осуществляя автоматическую регистрацию проб.
- ◆ **Выходной контроль.** Относится к испытаниям образцов готовой продукции (в том числе и упакованной, как это требуется, например, в фармакологии). Обычно выполняется по заявкам из отдела поставок или из цеха готовой продукции. Сопровождается генерацией паспортов качества или сертификатов соответствия. Спецификации, используемые при контроле, могут зависеть от региона поставки. Для нужд аудита и потребительского контроля ЛИМС предоставляет, при возможности (например, для дискретного производства), полную цепочку испытаний вплоть до входного контроля, что позволяет определить и показать полный рецептурный состав.
- ◆ **Внутрилабораторный контроль (ВЛК).** Означает контроль специальных образцов контроля (ОК), проводимый для подтверждения качества выполняемых измерений. Чаще всего в качестве ОК используются стандартные образцы или аттестованные смеси. На отечественных предприятиях ВЛК ведется в соответствии с рекомендациями РМГ 76-2004 или с более общим документом ГОСТ Р ИСО 5725, регламентирующим статистические методы контроля качества результатов измерений. Основным методом ВЛК в этом случае является регулярный контроль ОК и построение по его результатам различного вида контрольных карт.
- ◆ **Контроль окружающей среды.** Данные процессы контроля относятся к пробам, отбираемым по графику из точек отбора в различных зонах производства и лаборатории. Результаты этих испытаний должны гарантировать приемлемые условия выполнения технологического процесса или соблюдение условий измерений. Кроме того, самостоятельную задачу представляет экологический контроль с целью предотвращения производственных загрязнений окружающей среды.
- ◆ **Контроль стабильности.** На предприятиях в некоторых областях, таких как фармакология или пищевая промышленность, приходится проводить исследования стабильности материалов, например лекарственных препаратов или сроков хранения продуктов питания. Для этого применяются специальные способы проведения испытаний, связанные с сохранением на некоторый период времени исследуемых образцов и периодическими испытаниями их. Одна из целей применения таких способов — используя осо-

бые условия сохранения и соответствующие способы обработки результатов, прогнозировать на базе результатов, полученных за непродолжительный период наблюдения, поведение материала в перспективе его длительного хранения и использования.

- ◆ **Контрактные испытания.** Если лаборатория предприятия выполняет внешние заказы на испытания, то и в ЛИМС организуется поддержка данных процессов контроля. Характерными их чертами является учет конкретных требований заказчика и использование правил взаимодействия с ним на контрактной основе.
- ◆ **Научные исследования.** Если на предприятии выполняются научные исследования, они также могут поддерживаться со стороны ЛИМС. Данные испытания характеризуются невысоким уровнем формализации и отсутствием ярко выраженной ориентации на контроль качества.

Особым видом исследований можно считать испытания, связанные с рекламациями. Для них ЛИМС предоставляет особые процессы, в частности с использованием арбитражных проб.

### **ЖЦ динамических объектов**

Данные процессы относятся к объектам более низкого уровня, чем описанные выше. Эти процессы функционируют в рамках более общих процессов контроля:

- ◆ **Группы образцов.** Когда контролируется материал, к нему применяются спецификации и связанная с ними программа испытаний. При этом специфика испытаний может быть такова, что необходимо отобрать сразу несколько проб или разделить одну из них на аликвоты, а затем испытывать получившуюся группу образцов параллельно, обрабатывая и интерпретируя образцы в ней как единое целое. Это – основные группы образцов в ЛИМС.  
В то же время в рамках ЛИМС организуется много других разновидностей групп: касеты с образцами, образцы для построения контрольных карт ВЛК, образцы контрактного проекта и т. п. Все они функционируют под управлением собственных, «узкоспециализированных», модулей.
- ◆ **Образцы.** Каждый образец в группе образцов или в программе испытаний проходит различные стадии своего ЖЦ: планирование (предварительная регистрация), отбор пробы и маркирование, алиquotирование, подготовка, испытание и ввод результатов, подтверждение результатов, присвоение статуса (заключение), повторные испытания (если нужно), оформление отчетов и утилизация. Эти ЖЦ, включающие также рассылку соответствующих уведомлений и заключений, управляются специальным модулем образцов.
- ◆ **Испытания.** Подобно образцу, каждое его испытание имеет собственный ЖЦ, управляемый соответствующей схемой работ.
- ◆ **Результаты.** Результаты испытания реализуются в рамках испытания и также управляются своей схемой работ.

Особо следует отметить, что для ЖЦ некоторых из этих объектов в ЛИМС характерна поддержка версионности.

### Управление статическими объектами

Статические объекты ЛИМС также проходят различные стадии и подвергаются определенным действиям, связанным с происходящими событиями. Ниже кратко описываются основные из них:

- ◆ **Материалы.** Данные ЖЦ относятся прежде всего к производимым материалам. Они проходят полный цикл технологического процесса, стадии которого отражаются в том числе и в ЛИМС. Результаты испытаний могут сказаться на ЖЦ материалов, приводя к изменению их сорта, разделению на более мелкие партии, направлению на повторную переработку или даже к полной их браковке.
- ◆ **Оборудование.** Для оборудования в ЛИМС отслеживается несколько стандартных графиков: градуировки, калибровки, поверки, профилактического обслуживания. Кроме того, в каких-то случаях оборудование может быть отправлено в ремонт или даже списано, что также должно отражаться в системе.  
  
Существуют также «оперативные» циклы, которые выполняются при обмене данными с оборудованием. В рамках этих циклов могут выполняться такие шаги, как подключение, инициализация, считывание, отключение и др.
- ◆ **Инвентаризация.** Здесь подразумевается инвентаризация в рамках лаборатории. В ней могут фигурировать такие объекты, как образцы, химреактивы, расходные материалы и т. п. Инвентарные записи могут сопровождаться генерацией и использованием штрихкодов.
- ◆ **Персонал.** Основными циклами, реализуемыми для персонала, являются циклы на базе графиков аттестации на проведение определенных видов испытаний, сертификации на выполнение работ на конкретном оборудовании, участия в курсах повышения квалификации и т. п. Кроме того, система может, например, в целях безопасности принуждать сотрудника периодически менять свой пароль.
- ◆ **Контракты.** Означают проводку контрактов по различным стадиям их исполнения, таким как поступление заказа, планирование, исполнение, оплата и пр.
- ◆ **Документы.** Прежде всего эти ЖЦ отслеживают обновление версий НТД.

### Архитектура

Промышленные ЛИМС обычно реализуются в стандартной клиент-серверной архитектуре, развертываемой в сети предприятия. При этом в системе, как правило, присутствует сервер базы данных и сервер приложений, а также клиентские машины (рабочие места) с тем или иным уровнем доступа к системе. Именно такая архитектура является основной, в частности, для ЛИМС на базе пакета LabWare LIMS.

С развитием Интернета различные системы автоматизации, в том числе и ЛИМС, активно переходят на веб-технологии. В этом случае между клиентскими машинами и серверной частью размещается веб-сайт, реализующий полный функционал и поставляющий все данные ЛИМС. При этом на клиентских машинах используется лишь интернет-браузер и, возможно, исполнительные (runtime) библиотеки некоторых сторонних систем, с которыми интегрирована ЛИМС. Такая архитектура применяется, в частности, в системах на базе пакета STARLIMS.



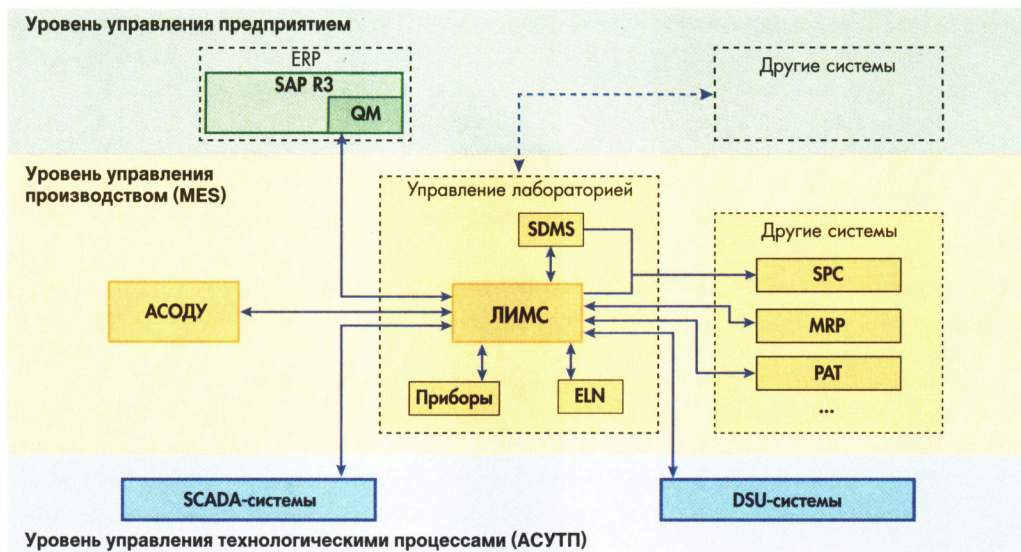


Рис. 51. Схема интеграции ЛИМС с системами предприятия

## Интеграция

Одним из ключевых вопросов при внедрении производственных ЛИМС является их интеграция с другими системами автоматизации. Рис. 51 показывает основные системы, с которыми может интегрироваться ЛИМС.

### Интеграция в рамках лабораторной системы

Обычно в ЛИМС предусматривается связь с некоторыми приложениями или объектами, выполняющими специфические задачи, в которых нуждается лабораторная система. К основным из этих задач относятся:

- ◆ **Связь с приборами** для автоматического ввода в ЛИМС результатов измерений. Данная интеграция реализуется с использованием средств, предоставляемых прибором. Это может быть связь через сеть по TCP/IP, но чаще используется обмен файлами или прямая связь через COM-порт.
- ◆ Часто ЛИМС для ввода результатов используют специальные приложения, известные как **ELN** (Electron Notebook – электронный журнал). Они предоставляют удобный пользовательский интерфейс испытателю, максимально приближенный к форматам ручного ввода результатов на бумажные носители. Удобство такого решения (иногда такие ELN даже могут выступать в роли «минимальных» ЛИМС) привело к тому, что разработчики ЛИМС создают свои собственные ELN, максимально интегрированные в лабораторную систему.
- ◆ **SDMS** (Scientific Data Management System – система управления научными данными) предоставляет возможность гибко структурировать (используя шаблоны распаковки, ключевые слова и пр.) различные данные, а также осуществляет расширенный поиск и первичную обработку нужной информации. Запросы к этой системе могут выполняться как из ЛИМС, так и из других систем, например систем статистической обра-

ботки. Как и в случае с ELN, разработчики ЛИМС могут создавать свои собственные интегрированные SDMS.

- ◆ Дополнительно (на рисунке не показаны) ЛИМС могут интегрироваться с офисными приложениями. Например, для генерации отчетов в виде документов Word или Excel лабораторная система может интегрироваться с MS Office. Некоторые ЛИМС имеют встроенный интерфейс взаимодействия с известным статистическим пакетом NWA.

### ***Интеграция с системами уровня управления производством***

Основным классом систем производственного уровня (MES), с которыми часто предусматривается взаимодействие ЛИМС, являются диспетчерские системы, например **АСОДУ** (автоматизированная система оперативного диспетчерского управления). ЛИМС может получать из такой системы технологические данные, например температуру в точках отбора. В свою очередь диспетчерская система может оперативно получать из ЛИМС результаты испытаний для их вывода на экран и/или принятия решения о необходимости коррекции технологического режима. Стандартным для обмена данными с АСОДУ является интерфейс OPC, причем ЛИМС может выступать здесь как в роли OPC-клиента, так и в роли OPC-сервера. Но возможны и другие механизмы передачи, например обмен данными с помощью текстовых файлов.

ЛИМС может интегрироваться и с другими системами производственного уровня. В качестве таких систем можно упомянуть **SPC** (Static Process Control – система статистического контроля), **MRP** (Material Requirements Planning – планирование потребности в материалах), **PAT** (Process Analytical Technology – технология анализа процессов) и др.

### ***Интеграция с системами технологического уровня***

Взаимодействие с системами АСУТП в целом подобно взаимодействию с АСОДУ, так как и те и другие часто основаны на SCADA-системах. Но чаще ЛИМС выступает здесь лишь в качестве потребителя технологических данных из SCADA или DCU.

### ***Интеграция с системами уровня управления предприятием***

Ключевой вопрос интеграции ЛИМС с системами уровня предприятия связан с широким распространением в качестве систем ERP системы **SAP R/3**, в рамках которой имеется модуль контроля качества **QM** (Quality Management). Если это так, то при внедрении ЛИМС реализуется «разделение полномочий»:

- ◆ SAP QM берет на себя управление качеством продукции, планируя образцы контроля качества и отправляя запросы на его проведения в ЛИМС.
- ◆ ЛИМС выполняет данные запросы и предоставляет результаты испытаний и, если нужно, сгенерированные паспорта качества в SAP QM. Кроме того, ЛИМС осуществляет полную поддержку жизнедеятельности лаборатории. Объем такой поддержки многократно превышает потребности, определяемые SAP QM.

Для интеграции с SAP QM стандартно используется предоставляемый этим модулем программный интерфейс API (Application Programming Interface). Для вызова функций этого интерфейса промышленные ЛИМС практически всегда реализуют специальную встроенную библиотеку и сертифицируют ее в SAP.

При необходимости ЛИМС интегрируется и с другими системами уровня управления предприятием.

В настоящее время на промышленных предприятиях наличие ЛИМС становятся нормой, поскольку они играют ключевую роль в поддержке жизнедеятельности заводской лаборатории и, соответственно, в обеспечении качества выпускаемой продукции. А интегрированный подход к их внедрению предоставляет важные инструменты для оптимизации функционирования предприятия. Индикатором такого состояния дел может служить тот факт, что на системы класса ЛИМС недавно были разработаны международные стандарты, такие как ГОСТ Р 53798-2010 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 [16].

## Резюме

Служба управления качеством осуществляет свою деятельность в тесном контакте с соответствующими службами в производственных отделениях, а также с заводскими службами управления качеством (или отделами технического контроля). Одной из важнейших функций центральной службы управления качеством является планирование и координация всей работы в области обеспечения качества, установление необходимых связей между службами планирования качества в производственных отделениях предприятий. Через центральную службу контроля осуществляется централизация управления в области совершенствования качества выпускаемой продукции, что является одним из важнейших условий развития предприятия в современных условиях.

Средства планирования – нормативное, методическое и иное документационное обеспечение, используемое органами и лицами, управляющими процессом планирования в системах управления качеством. В состав средств планирования качества продукции также включаются:

- ◆ политика повышения качества продукции, провозглашающая основные направления повышения качества продукции предприятия;
- ◆ программы, стратегии, планы повышения качества продукции предприятия;
- ◆ банк нормативной документации, регламентирующей показатели качества продукции и организующей выполнение специальных функций управления качеством;
- ◆ метрологические средства, включающие (в зависимости от уровня системы) государственные эталоны физических величин, образцовые и/или рабочие средства измерений;
- ◆ государственная система обеспечения единства измерений (ГСП);
- ◆ государственная служба стандартных справочных данных о свойствах веществ и материалов (ГССД).

Политика повышения качества продукции предприятия формируется в официальном документе, подписывается высшим руководителем. Это документ, который подтверждает и представляет отношение руководства предприятия к проблеме качества. По этому документу можно судить о том месте, которое сейчас занимает предприятие среди производителей аналогичной продукции. О политике в области качества можно судить и по отношению к потребителю. Отсутствие политики в этой области делает вас неконкурентоспособными.

## ГЛАВА 6. Процесс управления производственными активами предприятия

### 6.1. О состоянии «как есть» и целях управления производственными активами

Под активами понимаются все принадлежащие предприятию ценности. Активы разделяются на оборотные (текущие) и основные фонды. **Оборотные фонды** – это запасы продукции, сырья, полуфабрикаты, дебиторская задолженность, денежные средства, ценные бумаги. **Основные фонды** включают в себя материальные средства: оборудование, здания. Очень часто можно встретить термин *основные производственные фонды, ОПФ*. Под этим термином подразумеваются здания и оборудование, непосредственно задействованные в процессе производства продукции.

Проблема качественного управления производственными фондами может быть решена с помощью специализированных программных средств, которые относятся к классу EAM-систем (Enterprise Asset Management – управление производственными фондами предприятия, дословно – активами предприятия). Современные EAM-системы обеспечивают управление производственными фондами на протяжении всего жизненного цикла оборудования, от проектирования, изготовления, монтажа и сборки до последующего обслуживания, сервисных и профилактических работ, модернизации, реконструкции и списания.

Подталкивать предприятия к внедрению систем управления производственными фондами нет необходимости. Достаточно привести некоторые цифры, характеризующие ОПФ большинства отечественных предприятий:

- ◆ По различным оценкам изношенность оборудования составляет 60–70 процентов, что грозит техногенными катастрофами и резко повышает затраты на обеспечение требуемого уровня безопасности при их эксплуатации.
- ◆ Доля затрат в себестоимости производимой продукции, приходящейся на производственные фонды, нередко достигает 40 процентов.
- ◆ Сложность планирования и контроля проведения профилактических и ремонтных работ как комплексного производственного процесса, требующего учета большого количества факторов.

Для дополнения картины «как есть» ниже представлены некоторые результаты обследования, проведенного на этапе разработки EAM-системы предприятия с целью получения исходной информации:

- ◆ отсутствуют средства для автоматического сбора оперативной диагностической информации о состоянии оборудования;
- ◆ не автоматизирован складской учет запчастей и материалов;

- ◆ формирование нарядов на работы и расчет смет на ремонтные работы осуществляется вручную;
- ◆ не автоматизирован учет расхода ремонтного фонда;
- ◆ номенклатура хранимых паспортных данных на оборудование является недостаточно полной;
- ◆ отсутствует привязка комплектов запчастей к конкретным единицам оборудования;
- ◆ не автоматизирован анализ производственных аварий и неполадок и т. д.

Выводы по состоянию «как есть» предлагается сделать самому читателю. Но констатировать факт неудовлетворительного состояния активов предприятия достаточно просто. Главная задача этой главы – попытаться ответить на традиционный вопрос: «Что делать?»

Среди основных целей создания систем управления производственными активами можно выделить:

- ◆ увеличение стоимости активов и бизнеса в целом;
- ◆ минимизация возможных затрат на обеспечение надежной и безотказной работы оборудования путем оптимизации эксплуатационно-ремонтного обслуживания;
- ◆ улучшение организации процессов технического обслуживания и ремонтов оборудования;
- ◆ повышение эффективности ремонтных работ и рентабельности капиталовложений;
- ◆ снижение производственных рисков – снижение аварийности и повышение надежности работы оборудования.

## 6.2. Процессы управления производственными активами

К процессам, относящимся к управлению производственными активами и реализуемым в настоящее время в ЕАМ-системах, можно отнести:

- ◆ ведение НСИ, регламентной и технической документации;
- ◆ управление работами по техническому обслуживанию и ремонтам;
- ◆ управление трудовыми ресурсами, включая работу с подрядными организациями;
- ◆ управление материальными ресурсами;
- ◆ анализ результатов управления производственными активами.

### **6.2.1. Процесс ведения НСИ, регламентной и технической документации**

Данный процесс включает следующие основные функции по формированию НСИ:

- ◆ Ведение классификатора объектов.
- ◆ Ведение электронного реестра производственных объектов и оборудования. Реестр содержит следующие данные:
  - классификатор объекта;
  - технический паспорт объекта с основными производственными и конструктивными характеристиками;
  - текущее техническое состояние объекта. Реальное техническое состояние объекта может регистрироваться в системе как вручную, так и автоматически при интеграции со SCADA-системами или АСУТП;
  - данные о сотруднике предприятия, ответственном за техническое состояние объекта;
  - технологические карточки технического обслуживания и ремонта объекта (для predetermined типа ремонта: капитального, среднего, текущего):
    - ▼ перечень профилактических и ремонтных операций;
    - ▼ перечень требуемых специалистов и нормы трудозатрат (трудовые ресурсы);
    - ▼ список запасных частей, расходных материалов, инструментов, спецоборудования (материальные ресурсы);
    - ▼ перечень нормативной и технической документации;
  - условия проведения обслуживания: периодическое, по фактическому состоянию, по наработке и т. д.;
  - форма технического обслуживания: собственные ремонтные подразделения, сервисное обслуживание сторонними организациями;
  - фирма, осуществляющая обслуживание;
  - дополнительные параметры.
- ◆ Структурирование объектов:
  - формирование множества иерархий объектов, отражающих связи между объектами в соответствии с predetermined критериями (территориальное расположение, административно-производственная структура, обслуживающие организации, типы оборудования и т. д.);
  - группирование объектов по произвольному набору параметров, введенных при составлении реестра объектов или регистрации выполненных работ;
  - формирование иерархии центров затрат.



### 6.2.2. Процесс управления работами по техническому обслуживанию и ремонтам

Процесс управления работами по техническому обслуживанию и ремонтам является основным процессом в ЕАМ-системах. Все другие процессы можно рассматривать как вспомогательные или обеспечивающие по отношению к нему. Данный процесс включает все этапы классического циклического процесса управления: **планирование, выполнение плана, текущий контроль** выполнения плана, **корректировка плана** как реакция на внеплановые события или отклонения от плана и **итоговый анализ** исполнения плана.

#### Процесс планирования

Целью процесса планирования может быть разработка долгосрочных (3-летние, 5-летние и т. д.) и краткосрочных (оперативные – 1 год, квартал, месяц, недельно-суточные) планов. Перспективное планирование в рамках ЕАМ-системы возможно только с использованием встроенного механизма планирования ППР. Как правило, перспективные планы по управлению производственными активами формируются в специализированном модуле ERP-системы или специализированных ALM-системах (Asset Lifecycle Management – управление жизненным циклом производственных активов), так как на уровне управления предприятием можно учитывать стратегические показатели различных видов деятельности предприятия, в том числе и производственной.

Процесс планирования включает следующие функции:

- ◆ Формирование плановых значений целевых показателей процесса управления производственными активами различных уровней управления предприятия.
- ◆ Сбор предложений в план работ.
- ◆ Формирование предварительного плана работ.
- ◆ Согласование и корректировка предварительного плана работ.
- ◆ Утверждение плана работ.

Процесс планирования включает следующие операции:

- ◆ Анализ текущего состояния производственных активов, плановых показателей деятельности предприятия.
- ◆ Расчет плановых значений целевых показателей управления производственными активами различных уровней управления.
- ◆ Планирование перечня работ по достижению показателей процесса управления производственными активами: определение сроков и объема работ, бюджета и статей расходов.
- ◆ Планирование собственных трудовых ресурсов (персонала) и ресурсов сторонних организаций.

- ◆ Планирование материальных ресурсов.
- ◆ Планирование обеспечения безопасности работ.
- ◆ Планирование информационного обеспечения (проектно-конструкторская, нормативная и техническая документация).
- ◆ Формирование графиков ремонтов производственного оборудования.

Перечень работ, включенный в конкретный план, требуемые трудовые и материальные ресурсы для выполнения плана могут быть соотнесены с определенным проектом (возможно, в виде подпроекта) со своим бюджетом и статьями расхода. Проект может быть сформирован в рамках ЕАМ-системы или в специализированном модуле управления проектами.

### **Выполнение плана**

К основным функциям процесса выполнения запланированных работ относятся:

- ◆ Выполнение процедуры вывода объекта в ремонт (при необходимости).
- ◆ Формирование наряд-заказов на выполнение плановых работ на базе шаблона наряд-заказа.
- ◆ Формирование заявки на внеплановые работы с указанием причин и формирование на ее основе наряд-заказов на внеплановые работы.
- ◆ Выделение трудовых ресурсов для выполнения работ по конкретному наряд-заказу.
- ◆ Формирование информационного обеспечения (проектная, строительно-монтажная, эксплуатационная, регламентная документация).
- ◆ Проведение мероприятий по обеспечению безопасности работ (наряд-допуск, инструктаж по технике безопасности).
- ◆ Проведение «дефектовки» оборудования и корректировка при необходимости списка действий (дефектные ведомости).
- ◆ Корректировка при необходимости списков запасных частей, расходных материалов, инструментов для ремонта.
- ◆ Формирование заявки на запасные части, расходные материалы, спецоборудование.
- ◆ Получение со склада необходимых материалов при их наличии или формирование заказа на закупку при отсутствии требуемых ресурсов на складе.
- ◆ Учет выполненных работ по единицам оборудования.
- ◆ Учет фактических трудовых и материальных затрат по единицам оборудования.

- ◆ Регистрация технического состояния оборудования.
- ◆ Выполнение процедуры вывода объекта из ремонта и ввод в эксплуатацию (при необходимости).

### **Текущий контроль выполнения планов**

Данный процесс включает следующие функции:

- ◆ Сбор данных о ходе выполнения работ в режиме реального времени.
- ◆ Анализ «план/факт» выполненных работ по отдельным операциям, срокам и объему как по отдельным объектам, так и производственным подразделениям.
- ◆ Определение причин расхождения и разработка рекомендаций по их устранению.

### **Корректировка плана**

Процесс корректировки плана включает следующие функции:

- ◆ Формирование предложений по корректировке плана.
- ◆ Сбор предложений по корректировке плана.
- ◆ Формирование предварительного скорректированного плана.
- ◆ Согласование предварительного скорректированного плана.
- ◆ Утверждение скорректированного плана.

### **Итоговый анализ исполнения плана**

Данный процесс включает функции процесса «Текущий контроль выполнения плана», а также дополнительно:

- ◆ Анализ «план/факт» итоговых фактических целевых показателей управления производственными активами.
- ◆ Расчет показателей эффективности реализации плановых и внеплановых работ.

#### **6.2.3. Процесс управления трудовыми ресурсами (персоналом ремонтных подразделений предприятия)**

Данный процесс является обеспечивающим по отношению к основному процессу управления работами по техническому обслуживанию и ремонтам производственного оборудования. Процесс управления трудовыми ресурсами включает следующие основные функции по формированию НСИ:

- ◆ Ведение реестра основных профессий: ведение тарифов специалистов.
- ◆ Ведение реестра сотрудников:
  - ведение карточки сотрудника с регистрацией основных данных;
  - учет профессионального уровня сотрудника и мероприятий по повышению его квалификации.

К основным функциям процесса управления трудовыми ресурсами относятся:

- ◆ Оперативное планирование деятельности сотрудников (месячное, недельное, суточное) в соответствии с компетенцией, навыками и опытом.
- ◆ Учет фактических трудозатрат по отдельным видам работ, объектам, единицам оборудования.
- ◆ Управление работой с подрядными организациями (выделен как отдельный процесс).

### **Процесс управления работой с подрядными организациями**

Процесс управления работой с подрядными организациями является частным случаем реализации процесса управления трудовыми ресурсами. Данный процесс включает и операцию по формированию НСИ – ведение реестра организаций – поставщиков услуг (выполнения работ), трудовых ресурсов, спецтехники.

К основным функциям, входящих в процесс управления работой с подрядными организациями, относятся:

- ◆ Выбор поставщика услуг (проведение тендеров на оказание услуг, как правило, не входит в функциональность ЕАМ-систем).
- ◆ Ведение договоров на поставку услуг (выполнения работ), аренду трудовых ресурсов, спецтехники.
- ◆ Контроль выполнения договорных обязательств: пооперационный контроль, финишный (итоговый) контроль.
- ◆ Контроль расчетов с поставщиками.

### **6.2.4. Процесс управления материальными ресурсами**

Данный процесс рассматривается только в рамках обеспечения материальными ресурсами основного процесса управления работами по техническому обслуживанию и ремонтам производственного оборудования. Процесс управления материальными ресурсами может быть реализован как в рамках ЕАМ-систем, так и в рамках ERP-систем, систем управления предприятием.

В процессе управления материальными ресурсами можно выделить два отдельных процесса, соответствующих традиционной структуре подразделений предприятия:

- ◆ Процесс управления складскими запасами.
- ◆ Процесс управления материально-техническим снабжением (МТС).

### **Процесс управления складскими запасами**

К основным функциям процесса управления складскими запасами относятся:

- ◆ Ведение данных по запасным частям, деталям, расходным материалам и инструментам.
- ◆ Ведение индивидуальных параметров учета отдельной складской позиции по каждому складу.
- ◆ Контроль минимального уровня наличия по складской позиции.
- ◆ «Резервирование» материалов под будущие работы.
- ◆ Исполнение полного набора операций складского учета: пополнение, отпуск, возврат на склад, заказ на пополнение, инвентаризация, корректировка, фактурирование и т. д.
- ◆ Учет отпуска складской позиции на конкретные виды работ, объекты, единицы оборудования.

### **Процесс управления материально-техническим снабжением**

К основным функциям процесса управления МТС относятся:

- ◆ Прием заказов на закупку.
- ◆ Ведение договоров на поставку.
- ◆ Автоматическая сверка заказов на поставку, приходных накладных и инвойсов. Балансировка счетов-фактур.

#### **6.2.5. Анализ результатов управления производственными активами**

Процесс анализа результатов управления производственными активами обеспечивается формированием производственной и финансовой аналитической отчетности, которая включает:

- ◆ Анализ «план/факт» достижения плановых целевых показателей процесса управления производственными активами различных уровней управления предприятия.

- ◆ Анализ «план/факт» выполнения запланированных работ.
- ◆ Статистический анализ производительности и надежности функционирования оборудования.
- ◆ Финансовый анализ на основе подробного учета затрат на обслуживание оборудования по центрам затрат, производственным подразделениям, объектам, единицам оборудования.

### 6.3. Выбор решения: EAM-системы или модули ERP?

Выбор решения при автоматизации процессов ТОиР в настоящее время рассматривается в плоскости применения специализированных EAM-систем на базе коммерческих продуктов или использования модулей TOPO ERP-систем. Как показывает практика, автоматизация любого направления деятельности предприятия требует комплексного подхода, при котором необходимо в первую очередь рассматривать стратегию предприятия в области автоматизации всех или основных производственных и непроизводственных процессов. Применительно к направлению автоматизации процесса управления производственными фондами целесообразно рассмотреть два варианта.

❶ На предприятии планируется комплексная автоматизация на базе ERP-системы.

В данной ситуации использование специализированного модуля TOPO ERP-систем является наиболее целесообразным. В этом случае применение встроенного модуля управления производственными фондами ERP-системы дает возможность «безболезненно» интегрировать автоматизированный процесс ТОиР в общую производственную деятельность предприятия и обеспечивает беспроблемное функциональное взаимодействие со следующими процессами:

- ◆ Управление проектами по обеспечению нормального функционирования оборудования на протяжении всего жизненного цикла.
- ◆ Управление бюджетами проектов и подпроектов.
- ◆ Формирование перспективного календарного плана (многолетнего, годового, квартального, месячного).
- ◆ Управление материально-техническим обеспечением.
- ◆ Управление складами.
- ◆ Управление персоналом.
- ◆ Финансовая и аналитическая отчетность.

К достоинствам данного решения относятся:



- ◆ Единый документооборот.
- ◆ Единая база данных.
- ◆ Единый интерфейс.
- ◆ Общее администрирование.

К недостаткам следует отнести:

- ◆ Сложность в реализации.
  - ◆ Длительные сроки внедрения.
  - ◆ Высокая стоимость проекта.
  - ◆ Сложность в сопровождении.
- ❷ На предприятии планируется автоматизация только процессов ТОиР и отсутствует ERP-система или она не содержит «родного» модуля ТОиР.

Автоматизация процессов ТОиР на базе ЕАМ-систем в данном случае является предпочтительной в силу следующих причин:

- ◆ Узкая специализация и лучшая функциональность.
- ◆ Легкая адаптация к изменению бизнес-процессов.
- ◆ Более низкая стоимость проекта.
- ◆ Более короткие сроки внедрения системы.
- ◆ Меньшие требования к квалификации пользователей и администраторов системы и более низкая стоимость сопровождения.
- ◆ Широкая возможность расширения функциональности системы за счет внедрения дополнительных модулей.
- ◆ Встроенные интеграционные технологии.

К недостаткам такого решения следует отнести:

- ◆ Необходимость интеграции ЕАМ-системы с другими АСУ предприятия и прежде всего с ERP-системой.
- ◆ Раздельное администрирование разнородных систем.
- ◆ Отдельная база данных.

Следует отметить, что окончательное решение о выборе платформы для автоматизации процессов ТОиР можно принимать только при проведении детального анализа требований заказчика по функциональным возможностям, стоимости и срокам реализации системы.

## 6.4. Основные факторы, определяющие сроки и стоимость внедрения

Процесс проектирования и внедрения ЕАМ-систем определяется многими факторами, но к основным следует отнести:

### ◆ Общие вопросы:

- Назначение системы, задачи основные функции.
- Уровень внедрения системы: холдинг, территориально распределенная компания, группа подразделений компании, отдельное подразделение (цех). Организационная структура автоматизируемых подразделений.
- Перечень компонентов системы (подсистем): назначение, задачи, основные функции.
- Количество предполагаемых автоматизированных рабочих мест в системе, их территориальная распределенность, краткий перечень основных функций.
- Требования по анализу информации. Перечень отчетных форм.
- Уровень текущей автоматизации процесса управления производственными фондами. Вид хранения информации об объектах на момент проектирования системы.
- Наличие существующих систем автоматизации на предприятии. Формы взаимодействия проектируемой ЕАМ-системы с существующими системами автоматизации. Интеграция ЕАМ-систем в единое информационное пространство предприятия.
- Форма взаимодействия. Распределение ответственных за наиболее крупные этапы работ (например, подготовка данных и их ввод на этапе первоначального наполнения базы данных, определение степени готовности заказчика к выполнению определенных работ).

### ◆ Управление производственными фондами:

- Номенклатура и объем паспортизируемого оборудования.
- Взаимоотношения между объектами, включая организационные и производственные. Иерархичность связей и их сложность. Множественность иерархий объектов.
- Перечень регистрируемых действий с объектами.
- Процедуры планирования и контроля выполнения действий с объектами.

### ◆ Складской учет:

- Структура складского учета на предприятии (количество хранилищ, взаимоотношения между складами).

- Особенности складского учета (процедуры межскладского перемещения).
- Номенклатура и объем складских позиций.
- ◆ **Снабжение (организация закупок):**
  - Существующая технология организации материального обеспечения (только в вопросах поддержания нормального функционирования производственных фондов).
  - Структура и объем операций по закупкам.
- ◆ **Анализ и отчетность:**
  - Количество и сложность отчетных форм.

## 6.5. Место ЕАМ-системы в информационном пространстве предприятия

Основным направлением интеграции, значительно повышающим эффективность процессов планирования и коэффициент готовности оборудования, является разработка и реализация механизма взаимодействия ЕАМ-системы с АСУТП или другими источниками информации о текущем состоянии и параметрах работы контролируемого оборудования. Для обеспечения прозрачности управления предприятием необходимым условием является обмен данными с управляющими системами уровня предприятия (OLAP, ERP, CPM) о планах и затратах, связанных с основными фондами предприятия. Более подробно задачи и способы взаимодействия ЕАМ-системы с другими составляющими информационного пространства рассматриваются ниже.

### 6.5.1. ЕАМ и АСУТП

Одним из основных путей снижения издержек предприятия, связанных с эксплуатацией основных фондов, является сокращение числа отказов оборудования, требующего долгосрочного и дорогостоящего ремонта, и снижение затрат на простой производства вследствие отказов. Организация системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) производственного оборудования является наиболее распространенным в настоящее время способом решения проблемы снижения такого рода затрат. Однако это не единственный путь. Метод ППР обеспечивает достаточную эффективность для технических средств производства, не являющихся ключевыми. Для наиболее значимого оборудования обоснованным является метод обслуживания по состоянию. Цель таких методов – предотвращать внезапные отказы за счет прогнозирования аварий и своевременного проведения процедур обслуживания. ППР и метод обслуживания по состоянию также позволяют планировать останов производства для обслуживания и ремонта основного оборудования, что значительно снижает время и потери от вынужденного простоя. При этом экономия средств при реализации стратегии технического обслуживания основных фондов по состоянию является залогом быстрого возврата средств, затраченных на внедрение ЕАМ-системы.

Наибольшую эффективность при выборе такой стратегии имеют решения по интеграции ЕАМ-системы с автоматизированными системами управления и сбора информации, контро-

лирующими производственное оборудование (контрольно-измерительная аппаратура, SCADA-системы, DCS, MES-системы). Обмен данными между интегрированными системами позволяет собирать и накапливать в ЕАМ-системе необходимую информацию об изменении характеристик оборудования в процессе эксплуатации. Обработка и анализ полученных данных по заданным алгоритмам позволяет провести диагностику, оценить текущее состояние контролируемого оборудования и запланировать процедуры обслуживания и ремонта, обеспечив этот процесс всеми необходимыми составляющими: запчастями, персоналом, инструментом.

В случае интеграции с АСУТП специальные модули современных ЕАМ-систем позволяют создавать процедуры программной обработки данных, фильтрации, статистического анализа и диагностики. При этом ЕАМ-система должна быть способна собирать достаточно большой объем данных от внешних систем в соответствии с целями интеграции. Такая способность может достигаться не только за счет использования мощных СУБД (систем управления базами данных) и производительного аппаратного обеспечения, но и средствами самой ЕАМ-системы. Одним из способов является предоставление пользователям возможности сформировать распределенную структуру базы данных с большим количеством узлов, в которых может собираться информация по отдельным линиям, участкам, площадкам, цехам и т. д.

### **6.5.2. ЕАМ и системы управления инструментальным хозяйством**

При использовании ЕАМ-системы на производстве, связанном с обработкой материалов, одной из задач технического обслуживания является своевременная замена обрабатывающего инструмента. С точки зрения организации управления техническим обслуживанием и ремонтами такая задача не отличается от процедуры замены детали по выработке и может планироваться совместно с остальными процедурами ЕАМ-системой. Однако для максимального использования накопленного на предприятии опыта ЕАМ-система может интегрироваться с системами управления инструментальным хозяйством. При этом системы могут обмениваться данными о состоянии инструмента, проведенных процедурах обслуживания, запасах на складе и другой информацией. По запросам от системы управления инструментальным хозяйством ЕАМ-система может формировать заявки на закупку, выдачу со склада, прием на склад, возврат на проведение других складских и межскладских операций.

Такой информационный обмен с помощью ЕАМ-системы возможен также для учета и управления инструментом, используемым при ремонте и техническом обслуживании основных фондов. При этом средствами ЕАМ целесообразно осуществлять привязку инструмента к выполняемым работам, что позволяет производить учет использования и износа инструмента, анализ потребности в закупке или изготовлении нового инструмента, а также осуществлять контроль приема, передачи и сдачи инструмента отдельными сменами, бригадами и работниками.

### **6.5.3. ЕАМ и CAD\CAM\PDM**

Для предприятий, уделяющих значительное внимание конструкторской или технологической подготовке производства, а также использующих автоматизированные системы управ-

ления данными о продукции, разработки и управления документацией, эффективным решением является интеграция используемых систем с ЕАМ-системой. При этом объединенное информационное решение получает следующие преимущества:

- ◆ отсутствие необходимости синхронизации нескольких баз данных (по производственному оборудованию, по персоналу, по выполняемым операциям и состоянию оборудования) за счет ведения их в одной системе с предоставлением доступа к выборке данных другой системе;
- ◆ возможность планирования обслуживания и ремонта оборудования с учетом задействованности его в технологическом процессе;
- ◆ возможность перепланирования технологического процесса при изменении состояния требуемого оборудования;
- ◆ возможность использования в ЕАМ-системе нормативной и эксплуатационной документации на оборудование, инструкций по ремонту и обслуживанию, документации по технике безопасности;
- ◆ учет в ЕАМ-системе выработки оборудования на различных режимах, учет количества операций;
- ◆ возможность формирования совокупных отчетных данных.

#### **6.5.4. ЕАМ и ГИС**

Предприятия, имеющие разветвленную сеть филиалов и осуществляющие свою деятельность на протяженных по территории объектах, в ряде случаев эффективно используют в процессе управления геоинформационные системы (ГИС, см. раздел 10.2). Для управления процессами обслуживания и ремонта топографическая информация не является обязательной, однако обмен данными между ГИС-модулями и ЕАМ-системой может принести дополнительную пользу.

При таком взаимодействии пользователи ЕАМ-системы получают информацию о размещении и удаленности контролируемых объектов, что позволяет эффективнее планировать трудозатраты и время проведения процедур обслуживания. Должностные лица, утверждающие заказы на закупку или перемещение материальных средств между складами, могут получить данные о расположении складов и выработать оптимальный маршрут снабжения. Кроме того, если значительную часть основных фондов предприятия составляют транспортные единицы, интегрированные информационные решения позволят упростить организацию работы мобильных бригад, проводящих процедуры обслуживания и ремонт в полевых условиях.

В свою очередь информация баз данных, используемых ГИС-модулями, может автоматически обновляться по данным от ЕАМ-системы, например о текущем состоянии объекта (в монтаже, в эксплуатации, в ремонте).

### 6.5.5. EAM и CPM/ERP/OLAP

На предприятии, основная деятельность которого состоит в оказании услуг по техническому обслуживанию и ремонту (автосервис, судоремонт), многофункциональная EAM-система может решить практически все вопросы по организации бизнес-процессов. Для других предприятий часто является обоснованным внедрение автоматизированных систем планирования производства, управления деятельностью всех служб предприятия и т. д. Такие системы (CPM/ERP/OLAP) являются для руководителей эффективным инструментом контроля состояния предприятия и управления его составляющими.

Организация управления основными фондами – одна из важных составляющих процесса управления любым предприятием, поэтому обеспечение соответствующих служб и руководителей информацией о запланированных и текущих работах, о предстоящих и фактических затратах и другими данными является одной из функций современной EAM-системы. Информация по закупкам, складским операциям, персоналу может предоставляться в различные структурные подразделения, которые в свою очередь, осуществляя определенную стратегию управления, могут вносить коррективы в планирование и определять границы (финансовые, организационные) других действий пользователей EAM-системы.

Построение EAM-систем на базе мощных СУБД, обеспечивающих взаимодействие между отдельными базами данных с помощью открытых интерфейсов, открывает дополнительные возможности интеграции. Помимо механизма обмена конкретными данными в ряде случаев целесообразно синхронизировать или объединять отдельные базы данных систем. Так, с EAM-системой могут взаимодействовать системы управления складским хозяйством, системы взаимоотношения с клиентами, с данными о комплектующих и поставщиках, сбытом, цепочками поставок и т. д. Информация, непосредственно введенная пользователями EAM-системы, также как и обработанная информация внешних источников, может передаваться в учетные и бухгалтерские системы с использованием открытых интерфейсов или специальных механизмов обмена данными.

### 6.6. Описание существующих решений

В настоящее время на рынке присутствуют как российские, так и зарубежные разработки, имеющие отношение к решению задач EAM, поэтому номинально можно говорить о довольно большом количестве решений. Но массового спроса в России на EAM-системы, к сожалению, пока еще нет. Причин много, но самая главная – неготовность предприятий внедрять решение, которое повысит «прозрачность» затрат на ТОиР. С другой стороны, уровень маркетингового продвижения EAM-решений в России пока низок, что негативно сказывается и на качестве продаж – есть прецеденты неэффективных проектов, что тоже не добавляет оптимизма будущим заказчикам.

В таблице 11 приведен небольшой перечень продуктов класса EAM.

В книге предполагается более подробно остановиться лишь на одном из них – Avantis.Pro компании Invensys, США. С одной стороны, рекламирование «чужих» продуктов не входит в задачу, поставленную книгой (шутка). А с другой (это уже серьезно) – фирма «РТСофт»



имеет практический опыт реализации продукта Avantis.Pro в газотранспортной и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности.

Читатель скажет, что «каждый кулик свое болото хвалит», и будет прав. Остается дать рекомендацию читателю прочитать несколько книг разных авторов и после этого выбрать свое «болото».

Таблица 11

Продукт	Фирма-поставщик, компания-партнер в России	Компания и страна-производитель
<b>ЕАМ-системы</b>		
EMPAC	Kinetic Strategic Solutions (KSS), ИГ, «Зирван», «Гориславцев и Ко»	Indus International, США
MAXIMO	«Беллвуд Системс», НПО «САТИС»	MRO Software, США
Avantis.Pro	«ПЛК Системы», «РТСофт», «ИБС»	Invensys, США
MIMS	«Интехавтоматика»	Mincom, Австралия
iMaint	«АНД Проджект»	DP Solutions Inc. (DPSI), США
DataStream	«ВЕСТЬ»	Datastream, США
TRIM	НПП «СпецТек»	НПП «СпецТек», Россия

ЕАМ-системы функционируют на основе данных трех типов:

- ❶ Данные о текущем состоянии и режимах работы оборудования.
- ❷ Данные о планируемых и проведенных ремонтах.
- ❸ Архив информации обо всех простоях и внештатных ситуациях в работе оборудования и операциях, проводимых с ним.

Информация первого типа может быть получена из двух источников. Одним из них являются комплексные диагностические системы, устанавливаемые на имеющееся оборудование. Эти системы представляют собой аппаратно-программные комплексы, включающие:

- ◆ датчики, монтируемые на оборудование и предоставляющие значения ключевых параметров для данного типа оборудования;
- ◆ контроллеры, обрабатывающие значения с датчиков;
- ◆ системы визуализации, аварийного предупреждения и архивации информации о состоянии оборудования;
- ◆ экспертные базы знаний, позволяющие предупреждать возникновение аварийных ситуаций на основании знаний, введенных в БД.

Другим источником информации о техническом состоянии производственных фондов могут служить системы, собирающие диагностические данные со встроенных в оборудование систем. Наличие встроенных средств диагностики характерно для современного технологического оборудования. Причем для сбора диагностических данных могут быть задействованы и системы управления технологическими процессами (SCADA, DCS). Примером продукта, ориентированного на такие источники информации, является программный пакет Avantis PRO.

## Система Avantis PRO

Полностью все вышеперечисленные функции EAM-систем реализованы в Avantis Pro фирмы Wonderware. Эта система имеет большое количество применений в различных отраслях по всему миру и является одной из самых мощных по охватываемым функциям.

Система Avantis PRO обеспечивает выполнение следующих функций:

- ◆ управление ремонтными работами;
- ◆ управление планово-предупредительными работами;
- ◆ вычисление диагностических признаков;
- ◆ анализ надежности оборудования;
- ◆ ведение базы всего имеющегося оборудования и запасных частей;
- ◆ ведение базы инструкций по технике безопасности для каждого вида оборудования;
- ◆ управление складскими запасами оборудования и запасных частей;
- ◆ автоматизация документооборота.

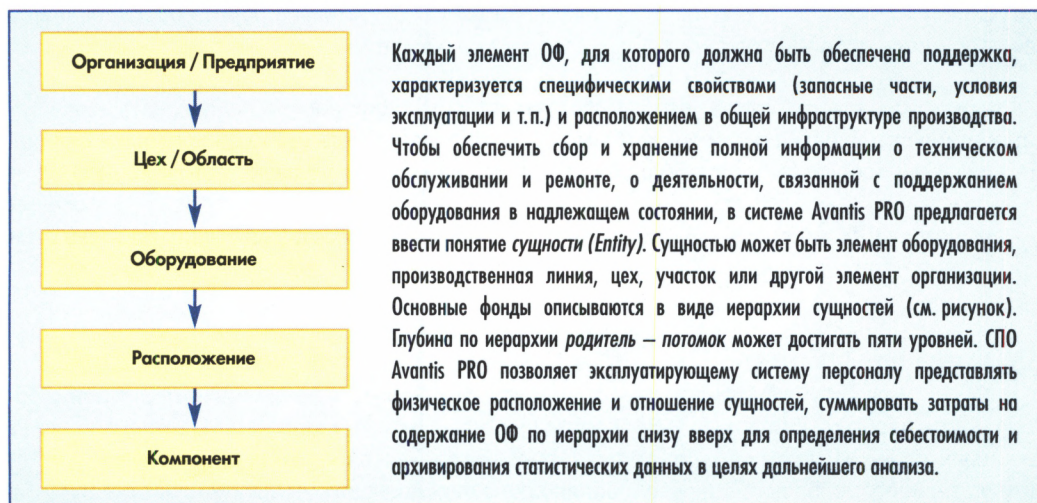


Рис. 52. Иерархия структуры сущностей

Система Avantis PRO имеет открытую архитектуру клиент-сервер, что эффективно обеспечивает общекорпоративный доступ к данным. В то же время она позволяет каждому пользователю применять наиболее подходящие для его целей программные средства. Для хранения данных могут быть использованы такие широко распространенные СУБД, как MSSQL Server или Oracle. Как следствие, Avantis PRO – это открытая система, доступ к которой возможен любому приложению, поддерживающему SQL-интерфейс. При этом процедура сопровождения системы упрощается, если на предприятии имеются специалисты по администрированию вышеуказанных СУБД.

В системе Avantis PRO структура основных фондов предприятия представляется в виде дерева (как правило, оно совпадает с организационной структурой предприятия), рис. 52. На любом уровне этого дерева можно просмотреть архивные данные по материальным и трудовым затратам на техническое обслуживание оборудования.

Источником данных о текущем техническом состоянии оборудования служит приложение SCADA-системы InTouch, которое в свою очередь осуществляет сбор данных с контроллерного уровня или же позволяет оператору вводить данные. Помимо этого средства интеграции, Avantis PRO совместно с приложениями системной платформы компании Wonderware позволяет автоматически генерировать наряды на работы и автоматически накапливать статистическую информацию. Фактически при получении информации из SCADA-системы отслеживается отклонение данных от спецификации. При обнаружении заданной ситуации EAM-программа будет формировать заказ на выполнение ремонтных или иных работ.

Avantis Pro представляет собой набор интегрированных функциональных модулей (групп функций), предназначенных для мгновенного доступа к любой информации, включая полную детализацию сведений о материалах, что необходимо для управления задачами технического обслуживания, ремонта и снабжения.

На рис. 53 представлена общая схема функционирования СПО Avantis. При возникновении проблем с объектами, включая планово-предупредительные ремонты или появление симптомов аварийной ситуации, в модуле управления поддержкой генерируются наряды на работу. Источником, провоцирующим генерацию, могут быть данные, поступающие из SCADA

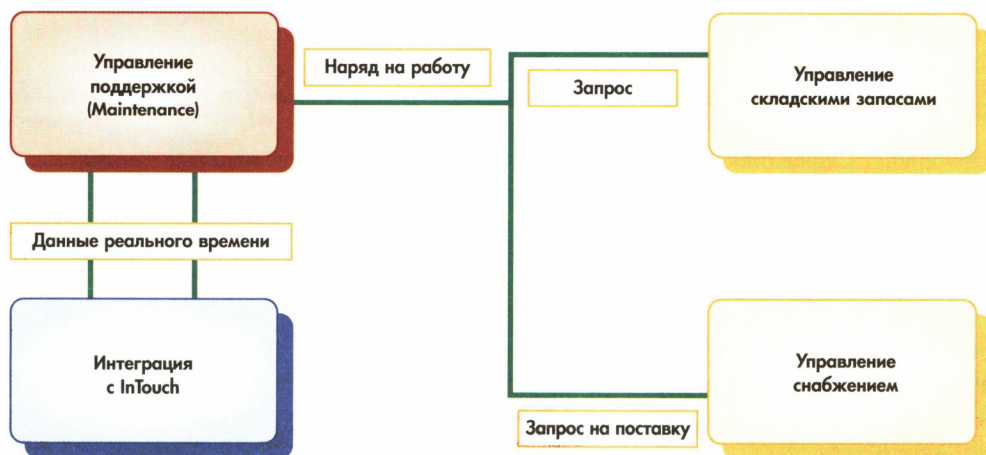


Рис. 53. Основная схема взаимодействия модулей Avantis PRO



InTouch. Наряд на работу, связанный с заменой запчастей, сопровождается запросом в модуль управления складскими запасами. Если их не оказывается на складе, запрос направляется в модуль снабжения для осуществления прямой поставки.

### ***Модуль управления ремонтными работами***

Этот модуль гарантирует, что специалисты по техническому обслуживанию контролируют всю приближающуюся работу, но в то же время отслеживают и незавершенную работу. Функции планирования гарантируют, что людские и материальные ресурсы, требования субподрядчика, так же как и информация по технике безопасности, найдут отражение в наряде на профилактические работы по техническому обслуживанию. Более того, можно создавать библиотеку predetermined стандартных нарядов, что облегчит формирование наряд-заказов.

### ***Модуль управления ППР***

Этот модуль предоставляет возможность создавать библиотеки стандартных нарядов с автоматической генерацией нарядов на ремонтные работы, выполняемые на основании определенных пользователем комбинаций критериев запуска (технологическая статистика, суммарное время работы оборудования, определенная календарная дата и пр.), с учетом направления ППР. Модуль полностью интегрирован с приложениями системной платформы компании Wonderware, что обеспечивает автоматический сбор технологической статистики непосредственно с цехового уровня.

### ***Модуль управления складами***

Этот модуль направляет все усилия на решение одной из основных задач системы управления техническим обслуживанием — на контроль огромного количества уникальных наименований различных запчастей и деталей, имеющих низкую материальную ценность и потребность в которых обычно бывает непредсказуема. Система автоматизирует процесс выдачи повторных заказов, используя рассчитанный минимальный уровень необходимых запасов, сроки пополнения складских запасов и сложную логику расчета ожидаемых производственных мощностей, основанную на планируемых поставках (открытых заказах на поставку) и выдаче материалов (резервирование материалов для нарядов на работу). Гибкая классификация и группирование складских наименований позволяет персоналу подразделять склад на секции, что значительно облегчает поиск, анализ и составление отчетов.

### ***Модуль управления снабжением***

Главной целью данного модуля в системе технического обслуживания является минимизация стоимости закупок больших объемов товарно-материальных ценностей (запасных частей). Модуль управления снабжением фокусируется на полной автоматизации всех процессов снабжения, включая обработку заявок, заказов на поставку, экспедирование, прием товаров и приведения в соответствие счетов-фактур. Исчерпывающие аналитические возможности помогают модернизировать процессы снабжения и позволяют работникам отдела снабжения сконцентрировать свои усилия на согласование условий контрактов с поставщиками.

Модульная структура системы позволяет ее внедрять поэтапно. В этом случае максимально используются имеющиеся вычислительные средства и не требуется установка дополнительного контроллерного оборудования.

Конкретные требования к функциональности каждого рабочего места определяются в процессе разработки спецификаций клиентских мест и определения прав доступа.

## 6.7. Экономический эффект от внедрения ЕАМ-систем

Мировой опыт внедрения показывает, что использование функций ЕАМ-системы позволяет добиться на предприятии вполне конкретных результатов (таблица 12).

Таблица 12

Функция ЕАМ-системы	Результат
Ведение паспортов запчастей, оборудования, компонентов	Единая БД оборудования, учет активов, гарантийных обязательств. Отслеживание стоимости активов, снижение потерь документации
Планирование процедур обслуживания и ремонта (календарное, по выработке, по фактическому состоянию)	Сокращение числа отказов производственного оборудования. Повышение коэффициента готовности/времени исправности, снижение потерь от непланового простоя, сокращение затрат на ТОиР
Организация подачи заявок на работы, планирование с учетом приоритетов	Повышение производительности труда, сокращение сроков ожидания работ. Снижение потерь от незапланированного простоя, более эффективная загруженность ремонтного персонала
Учет и планирование использования обрабатывающего инструмента	Уменьшение числа сбоев и дефектов производства. Уменьшение процента брака, снижение себестоимости
Ведение структуры складов и размещений на складе, проведение межскладских операций	Сокращение времени поиска и доставки, оптимизация закупок, учет хранимых запчастей и анализ поставок. Снижение затрат на закупку и доставку, снижение потерь от незапланированного простоя по причине ожидания запчастей
Планирование использования материалов и запчастей в работах	Оптимизация складских запасов, планирование закупок. Снижение затрат на хранение, освобождение средств
Планирование закупок запчастей, оборудования	Формирование бюджета. Снижение затрат на срочные поставки и изготовление
Ведение базы данных поставщиков, производителей, перевозчиков	Учет цен, условий поставки, сроков, условий оплаты при закупках. Снижение затрат на закупку и доставку за счет выбора наиболее выгодного поставщика
Планирование занятости и учет трудовых ресурсов (собственных, подрядных)	Повышение эффективности использования рабочего времени, сокращение сроков проведения работ. Рациональное использование ремонтных подразделений, оптимизация затрат на подрядчиков
Накопление информации, формирование отчетных данных	Организация документооборота, снижение потерь информации, сокращение затраченного времени на бумажную работу, минимальная вероятность ошибок. Дальнейшая оптимизация затрат и развитие системы управления

## Резюме

Имеются и более конкретные оценки эффективности внедрения ЕАМ-систем, по данным из зарубежных источников. Не будем утомлять читателя рассказами о том, как хорошо «у них» (всегда следует помнить, что хорошо там, где нас нет). Но чтобы не быть голословными, приведем один пример. Пусть это будет всего лишь информацией к размышлению.

По данным консалтинговой группы А. Т. Kearney, внедрение ЕАМ-системы дает следующие результаты:

- ◆ повышение производительности работ по ТОиР – 29 %;
- ◆ повышение коэффициента готовности – 17 %;
- ◆ сокращение складских запасов – 21 %;
- ◆ уменьшение случаев нехватки запасов – 29 %;
- ◆ увеличение доли плановых ремонтов – 78 %;
- ◆ сокращение аварийных работ – 31 %;
- ◆ сокращение сверхурочных работ – 22 %;
- ◆ сокращение времени ожидания запчастей – 29 %;
- ◆ сокращение срочных закупок ТМЦ – 29 %;
- ◆ более выгодные цены на закупаемые ТМЦ – 1–8 %.



## ГЛАВА 7. Процесс управления энергоресурсами

### 7.1. Основные предпосылки создания АСУЭ ПП

Высокая энергоемкость и чрезмерные энергозатраты на функционирование экономики являются традиционными для России. Относительно невысокая цена на энергоносители, пониженное внимание к экологии и отсутствие конкуренции между предприятиями не способствовали политике энергосбережения в Советском Союзе и молодой России. Но кризис 2008 года все расставил по своим местам. Цены на энергию начали быстро расти, да и Россия вдруг «попала» в ВТО – конкурентоспособность российских промышленных предприятий оказалась под угрозой.

Еще до вступления страны в ВТО российское правительство поставило задачу снизить на 40 процентов энергоемкость экономики к 2020 году. Такая постановка вопроса позволяет рассматривать проблему энергосбережения в двух плоскостях:

#### ❶ В интересах государства (внешние факторы):

- ◆ требования федеральных и региональных нормативных актов в сфере энергосбережения (Указ Президента РФ от 04.06.2008 № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики», ФЗ от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности»);
- ◆ требования оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ).

#### ❷ В интересах собственников предприятий (экономические или внутренние факторы):

- ◆ увеличение конкуренции на рынке;
- ◆ снижение затрат на энергопотребление с учетом роста цен на энергоресурсы, требующие повышения энергоэффективности производства.

Затраты на энергоресурсы и системы энергоснабжения промышленных предприятий составляют от 5 до 40 процентов себестоимости продукции (для наиболее энергоемких предприятий – и все 50 процентов). Доля затрат на энергоресурсы имеет устойчивую тенденцию к увеличению во всем мире, но для России эта проблема наиболее актуальна. В конечном счете эффективное использование энергоресурсов самым непосредственным образом влияет на конкурентоспособность продукции предприятия. При этом на предприятиях существуют проблемы, связанные с высоким уровнем затрат на энергопотребление, постоянным ростом тарифов на энергоресурсы, использованием неэффективного оборудования, отсутствием качественной информации о современных технических решениях с низкими сроками окупаемости.

Указанные условия в совокупности с требованиями правительства России снизить на 40 процентов энергоемкость российской экономики обуславливают для предприятий особую важность выполнения следующих задач [17]:

- ◆ контроль текущих параметров системы энергоснабжения;
- ◆ распределение энергии и энергоносителей различного вида (вода, тепло, газ, электроэнергия);
- ◆ контроль приобретенных, произведенных и потребленных энергоресурсов;
- ◆ контроль состояния оборудования системы энергообеспечения;
- ◆ краткосрочное (почасовое) и долгосрочное прогнозирование и планирование потребления и собственной генерации энергоресурсов.

Конечно, проблемой энергосбережения российские предприятия начали заниматься задолго до экономического кризиса. Первая волна автоматизации процессов управления энергохозяйством на промышленных предприятиях закончилась массовым созданием автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).

Вторая волна автоматизации проходит в настоящее время и связана с требованиями федеральных и региональных нормативных актов в сфере энергосбережения, а также с увеличением стоимости энергоносителей (топлива и электроэнергии). На этой волне предприятия начинают активно заниматься вопросами энергоэффективности. Повышение энергоэффективности достигается за счет реконструкции и внедрения новых технологий, однако прежде необходимо наладить детальный контроль над собственным потреблением. Как следствие, актуальным становится создание систем технического учета (АСТУЭ) и диспетчерских систем, которые совместно позволят предприятиям не только выявлять и оперативно устранять текущие проблемы, но и измерять эффективность вложений в мероприятия по энергосбережению.

На многих предприятиях развернуты работы по созданию и внедрению АСУ энергохозяйством (АСУЭ). Наряду со строительством новых объектов активно проводится техническое перевооружение существующих объектов энергохозяйства.

Исходя из вышеизложенного, актуальна задача создания комплексной интегрированной системы управления энергохозяйством предприятия, объединяющей выполнение ряда функций управления энергохозяйством.

К таким функциям прежде всего можно отнести потребление энергии, эксплуатацию энергетического и энергоиспользующего оборудования, режимы энергоснабжения и работы энергооборудования, надежность энергоснабжения и работы энергооборудования, внутренний энергонадзор, ремонтное обслуживание энергетического и энергоиспользующего оборудования, материально-техническое снабжение энергохозяйства и всей энергетики предприятия.

## **7.2. Характеристика объекта автоматизации**

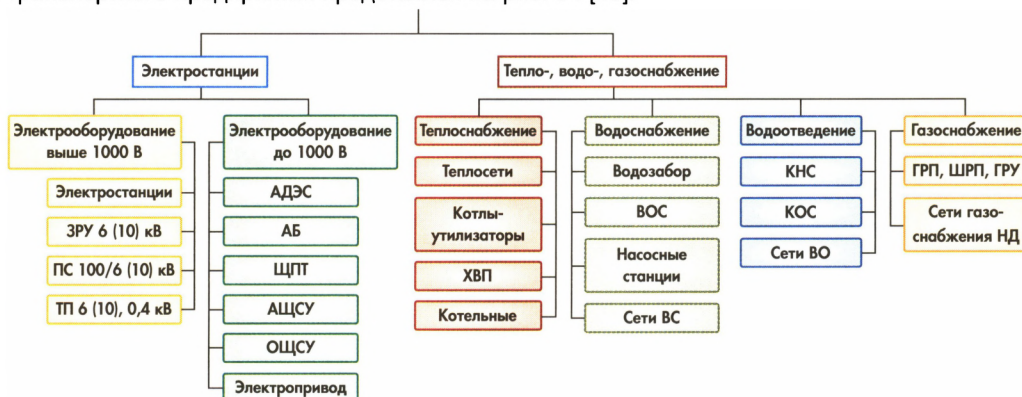
### **7.2.1. Состав энергооборудования промышленных предприятий**

На предприятиях различают систему энергоснабжения, соответствующую понятию «энергохозяйство предприятия», и систему энергопотребления – совокупность промышленного оборудования конечного использования энергии.

К комплексу энергоснабжения относятся системы электро-, тепло-, газо- и водоснабжения (основные и аварийные электростанции, трансформаторные подстанции, котельные, распределительные устройства, а также сети электро-, тепло-, газо- и водоснабжения, комплексы релейной защиты, автоматики, телемеханики и т. д.).

Потребителями энергии на предприятии являются прежде всего технологические аппараты и агрегаты основного и вспомогательного производства, насосы, компрессоры и т. п.

Например, типичный состав энергооборудования производственных подразделений газотранспортного предприятия представлен на рис. 54 [18].



**Рис. 54.** Энергооборудование газотранспортного предприятия. К объектам тепло-, водо-, газоснабжения относятся теплосети, котельные, котлы-утилизаторы, водоочистные сооружения (ВОС), насосная станция ВОС, канализационно-очистные сооружения (КОС), насосная станция КНС, газораспределительные пункты (ГРП) и т. д.

Обобщенный состав электрооборудования производственных подразделений газотранспортного предприятия перечислен ниже:

- ◆ Подстанции, например ПС 110/6 (10) кВ.
- ◆ ЗРУ 6 (10) кВ.
- ◆ Комплектные трансформаторные подстанции КТП 6 (10)/0,4 кВ; щит станции управления ЩСУ 0,4 кВ.
- ◆ Воздушные линии 6 (10) кВ электропитания.
- ◆ Устройства компенсации реактивной мощности.
- ◆ Аварийные дизельные электростанции АДЭС.
- ◆ Основные электроприемники по уровню напряжения 0,38 кВ:
  - электрооборудование вспомогательных систем;
  - электрооборудование котельных, водонасосных станций, станций систем пожаротушения, коммунально-бытовых объектов и др.
- ◆ Система постоянного тока СПТ = 220 В; = 110 В; = 27 В.
- ◆ Электроприемники системы постоянного тока (аварийные насосы, САУ ГПА, КЦ, системы аварийного оповещения и освещения).

### **7.2.2. Особенности энергооборудования как объекта автоматизации**

Для систем управления электроснабжением требуется высокое быстродействие, адекватное скорости процессов, протекающих в электрических сетях. Это необходимо для осуществления релейной защиты и противоаварийной автоматики, автоматического противоаварийного управления системой электроснабжения, осциллографирования быстрых аварийных переходных процессов и развития аварий, регистрации последовательности срабатывания защит.

Поэтому в современных АСУЭ устройства ввода информации обеспечивают дискретизацию измерений режимных параметров с периодичностью опроса не более 1,0 мс и такую же разрешающую способность при регистрации дискретных сигналов. Суммарная длительность полного цикла опроса, обработки и визуализации всей режимной информации о состоянии объекта на пункте управления не должна превышать 0,5 с для обеспечения своевременной ответной реакции оператора.

Ввиду высокой скорости ввода информации и необходимости точной ее записи во времени, в АСУЭ предусматривают систему единого времени (СЕВ) во всех контроллерах, распределенных по территории объекта. СЕВ обычно обеспечивает временную привязку первичной информации, поступающей от объекта, к Государственной шкале единого времени UTC с точностью не хуже 20 мс.

Для аппаратуры АСУЭ необходима высокая защищенность от электромагнитных влияний (помех), поскольку значительная часть аппаратуры АСУЭ территориально размещается в зонах, подверженных этому влиянию. Все устройства и приборы соответствуют специальным требованиям МЭК по защите от помех. В распределенных системах применяют высоковольтные гальванические развязки и оптоволоконные линии связи для борьбы с выносом потенциала земли и импульсными помехами. Предусматривают специальные меры при устройстве защитного заземления шкафов, исключающие влияние блуждающих токов.

Ввиду специфики процессов и разной профессиональной подготовки оперативного персонала, системы диспетчерского управления технологическими процессами и электроснабжения требуют самостоятельных рабочих мест операторов.

Территориально технические средства АСУЭ и АСУТП обычно не совмещаются. Так, все контроллеры, устройства сопряжения с объектом (УСО) и датчики (трансформаторы тока, напряжения, датчики дискретных сигналов и др.) АСУЭ размещаются в электропомещениях КТП 0,4 кВ и РУ 6–220 кВ, доступ в которые имеет только специально подготовленный электротехнический персонал. УСО систем АСУТП и их датчики (температуры, давления, расхода и др.) размещаются в помещениях технологического оборудования, для доступа в которые не требуется специальной электротехнической подготовки. Текущее обслуживание технических средств АСУЭ и АСУТП производится персоналом разной квалификации и профессиональной подготовки (для АСУЭ – электромонтер-релейщик, для АСУТП – слесарь КИП).

### 7.2.3. Особенности создания систем энергоснабжения предприятий

При создании АСУЭ необходимо учитывать следующие особенности систем энергоснабжения промышленных предприятий:

- ◆ Энергоснабжение является вспомогательным производственным процессом, поэтому возникают потребности, специфичные для разных предприятий, например наличие как внешних источников электроснабжения, так и собственных источников генерации электроэнергии.
- ◆ Объединение задач разных функциональных направлений в одной системе (например, задачи технического учета энергоресурсов с задачами диспетчерского управления).
- ◆ Акцент на последующую обработку и анализ информации.
- ◆ Наличие дополнительных уникальных для каждого предприятия функциональных требований в плане обработки информации (отчетность, расчеты).
- ◆ Широкий круг потребителей информации (в том числе и удаленных):
  - диспетчерская служба;
  - ОГЭ;
  - руководство;
  - производственные службы;
  - финансово-экономические службы.
- ◆ Возможна дополнительная задача автоматизации учета неэлектрических энергоносителей.
- ◆ Наличие существующих решений на различных уровнях, требующих интеграции информации:
  - системы АСКУЭ;
  - системы АСТУЭ;
  - ERP-системы;
  - информационные системы;
  - АСУТП основного производства;
  - смежные предприятия и их системы.
- ◆ Учет фактора плохих коммуникаций.

### 7.3. Цели и функциональные задачи создания АСУЭ

Создание АСУЭ преследует достижение следующих целей:

- ❶ Организация бесперебойного энергоснабжения потребителей.
- ❷ Снижение числа аварийных ситуаций и инцидентов в работе энергохозяйства предприятия.
- ❸ Оперативное управление системой энергоснабжения и энергопотреблением объектов предприятия.
- ❹ Технический и коммерческий учет всех видов энергоресурсов.
- ❺ Оптимизация энергопотребления объектами предприятия.
- ❻ Снижение энергетической составляющей в себестоимости продукции предприятия за счет:
  - ◆ минимизации расходов на оплату энергоресурсов;
  - ◆ повышения энергоэффективности работы основного технологического оборудования;
  - ◆ снижения эксплуатационных издержек и затрат на содержание системы энергоснабжения.
- ❼ Возможность планирования обслуживания и ремонтов электрооборудования по его фактическому техническому состоянию.

АСУЭ должна обеспечить решение следующих основных функциональных задач:

- ◆ Определение потребности в энергоресурсах и планирование норм расхода энергоресурсов по видам деятельности предприятия.
- ◆ Управление и контроль производства, распределения и потребления энергоресурсов.
- ◆ Учет получаемых, производимых и потребляемых топливных энергоресурсов (ТЭР) и вторичных энергоресурсов (ВЭР).
- ◆ Анализ расхода энергоресурсов и затрат на их производство.
- ◆ Диагностика и контроль состояния энергооборудования.
- ◆ Организация и управление техническим обслуживанием и ремонтом энергетического оборудования.
- ◆ Передача информации в смежные системы автоматизации.



Для реализации указанных функций предлагается следующая функциональная модель АСУЭ (рис. 55).

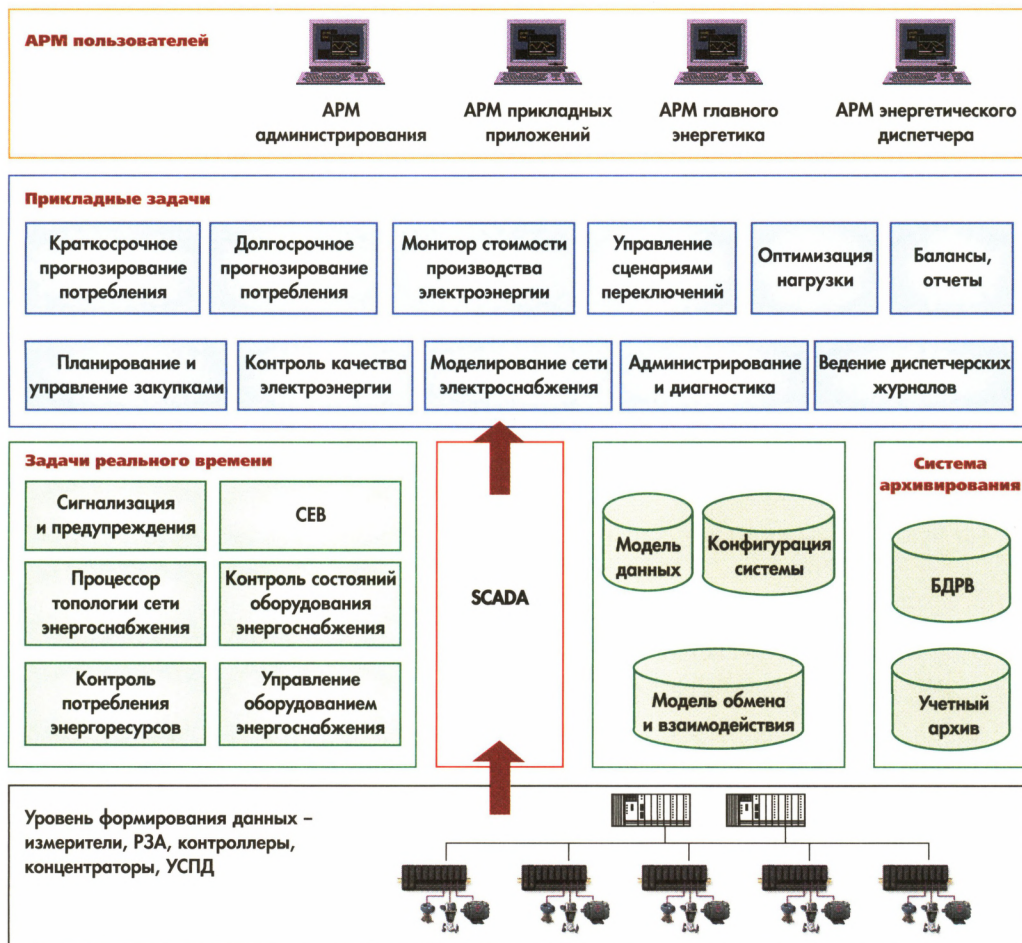


Рис. 55. Функциональная модель АСУЭ

## 7.4. Структура АСУЭ и архитектурное решение

АСУЭ представляет собой интегрированную систему управления, включающую все энергетические АСУ и САУ промышленного предприятия, существующие на момент внедрения АСУЭ. Например, для объектов управления процессом транспорта газа (КС) такими системами являются:

- ◆ Автоматизированная система управления внутреннего электроснабжения (АСУЭС).
- ◆ Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).
- ◆ Автоматизированная система технического учета электроэнергии (АСТУЭ).
- ◆ Системы автоматического управления теплоснабжением (САУ Т).

- ◆ Система автоматического управления водоснабжением (САУ В).
- ◆ Система автоматического управления канализационно-очистными сооружениями (САУ КОС).

Деление на подсистемы в общем случае может быть обусловлено разным характером решаемых задач, территориальной разобщенностью объектов, разной скоростью обработки информации.

Подсистема АСУЭС должна выполняться для сложных объектов энергоснабжения – в виде самостоятельной подсистемы со своей локальной вычислительной сетью и сервером в составе общей информационно-управляющей системы всего объекта (например, КС). Для типовой системы энергоснабжения одноцоховой турбинной КС заводится примерно 400 дискретных и аналоговых сигналов, включая управление (без учета АСКУЭ и СЕВ, привязанной к астрономическому времени через систему GPS).

В случае простых систем электроснабжения, не требующих самостоятельной подсистемы АСУЭС, УСО систем электроснабжения подключаются непосредственно к информационно-управляющей системе объекта.

Для учета и контроля расхода всех ТЭР и ВЭР в АСУЭ должны предусматриваться автоматизированные системы коммерческого и технического учета электроэнергии (АСКУЭ и АСТУЭ).

В АСУЭ должны предусматриваться следующие АРМ (рабочие станции):

- ◆ АРМ оператора (диспетчера) системы электроснабжения, который предназначен для оперативного управления системой электроснабжения.
- ◆ АРМ отдела энергетика, которые через маршрутизаторы сетей передачи данных подключаются к сети АСУЭС и технологической ИУС объекта. АРМ энергетика предназначены для работы специалистов службы энергоснабжения, в частности для решения прикладных и расчетных задач.

В рамках ИУС должно быть обеспечено информационное взаимодействие между подсистемами АСУЭ и АСУТП основной технологии. Каждая подсистема АСУЭ должна иметь выход на общую информационно-управляющую систему всего объекта.

На всех рабочих станциях соответственно их назначению должен быть предусмотрен доступ по индивидуальному паролю и блокировка от несанкционированных действий.

Структура и средства подсистем АСУ энергоснабжения должны обеспечивать расширение системы.

Таким образом, в структурном построении АСУЭ можно выделить три основных уровня (рис. 55):

- ◆ нижний – уровень формирования данных (измерительные и исполнительные устройства и контроллеры);
- ◆ средний – уровень АСУЭС, АСКУЭ, АСТУЭ и САУ (уровень SCADA);
- ◆ верхний – уровень прикладных и расчетных задач.

Уровень формирования данных (измерительные и исполнительные устройства и контроллеры) обеспечивает сбор и передачу информации для автоматического и диспетчерского управления территориально распределенными объектами энергоснабжения.

Уровень SCADA – это организация сбора, хранения, обработки и представления данных от систем нижнего уровня (АСУ и САУ) и координация их работы.

Верхний уровень реализует функции управления на основе анализа данных об объекте. Анализ данных предполагает решение целого ряда прикладных и расчетных задач, которые кратко рассматриваются в следующем разделе.

## 7.5. Прикладные и расчетные задачи

В соответствии со стандартом ISA-95, управление ресурсами (в том числе и энергоресурсами) является одним из основных видов производственной деятельности предприятия. В связи с этим на производственном уровне должны решаться наиболее актуальные прикладные и расчетные задачи управления энергоресурсами. Ведь именно на этом уровне представлены агрегированные, обработанные по специальным алгоритмам данные и информация. Анализируя эту информацию, можно делать выводы о надежности и эффективности работы системы энергоснабжения. Этот уровень может объединять следующие группы приложений:

- ❶ Контроль потребления энергоресурсов.
- ❷ Прогноз потребления энергоресурсов.
- ❸ Оптимальное распределение нагрузки.
- ❹ Анализ сети распределения.
- ❺ Разработка сценариев и моделирование.
- ❻ Формирование отчетов и контроль стоимости энергии.

### Контроль потребления энергоресурсов

Обеспечивает мониторинг поставки активной, реактивной мощности и газа.

*Сравнивает прогноз поставки на фоне:*

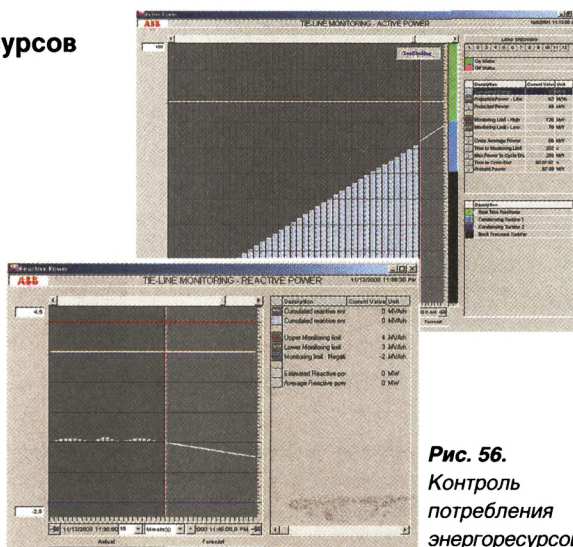
- тарифных ограничений;
- оперативных заданий;
- прогнозных значений.

*Графические формы показывают:*

- прогнозируемую поставку и время отпуска;
- общую и нарастающую стоимость;
- сигнализацию о нарушении прогнозных лимитов.

*Дополнительные функции контроля нагрузки:*

- действия по сбросу нагрузки;
- постоянный запрос заданий.



**Рис. 56.**  
Контроль  
потребления  
энергоресурсов



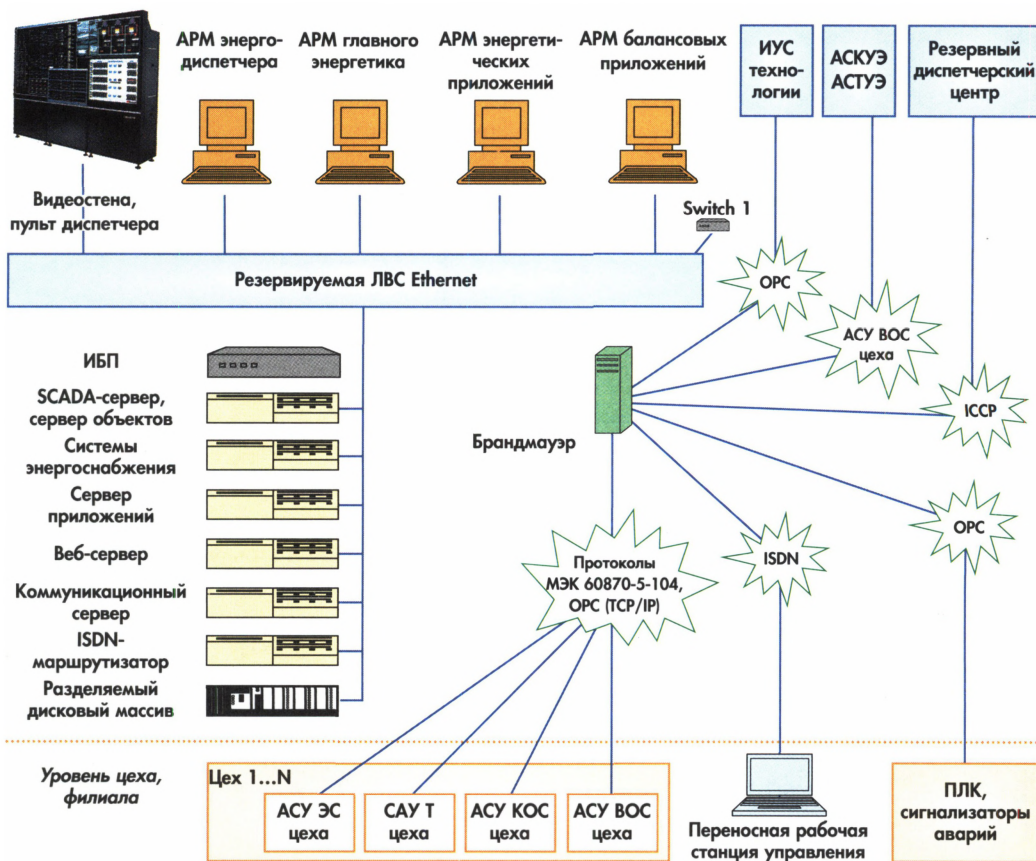


Рис. 57. Комплекс технических средств АСУЭ

## Прогноз потребления энергоресурсов

Прогноз нагрузки выполняется:

- для компании/предприятия;
- для цехов/участков/установок;
- для потребления электроэнергии, газа, воды.

Прогноз формируется на основе:

- данных от систем планирования производства;
- данных о простоях основного процесса;
- данных о профиле еженедельной нагрузки;
- данных о прогнозе погоды.

Прогнозы представляются:

- в отдел главного энергетика предприятия (электро- и теплоснабжения);
- в департамент энергетики компании (электро- и теплоснабжения).

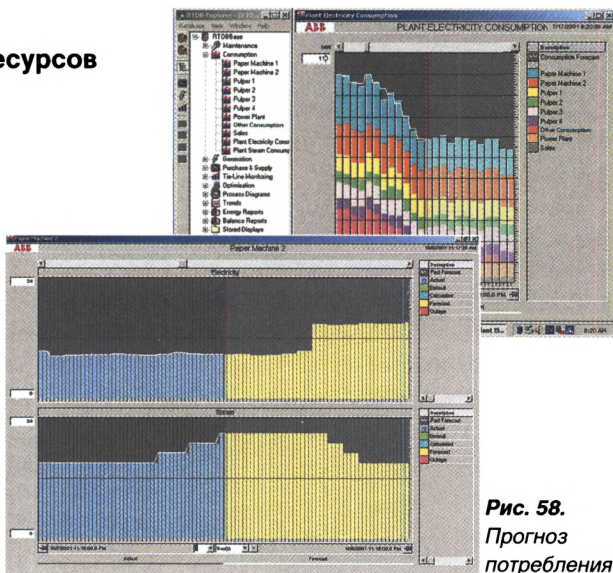


Рис. 58. Прогноз потребления

## Оптимальное распределение нагрузки

### Распределение нагрузки:

- собственные мощности;
- соглашения по двусторонним поставкам;
- электроэнергия со свободного рынка.

### График поставок использования недорогой внепиковой электроэнергии:

- отдельные производственные установки и механизмы (насосы, кондиционеры, пускатели и т. п.);
- решения на основе использования специализированных алгоритмов.

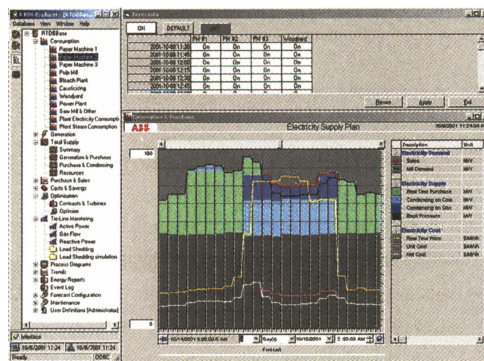


Рис. 59. Распределение нагрузки

## Анализ сети распределения

### Топологические функции:

- раскраска;
- трассировка;
- проверка блокировок;
- локализация отказа.

### Система распределения потока энергии:

- моделирование нагрузки;
- алгоритм потока энергии в реальном времени, в режиме обучения;
- изолирование отказов.

### Восстановление обслуживания:

- изоляция оборудования или участка сети;
- восстановление обесточенных участков сети;
- восстановление нормального состояния сети.

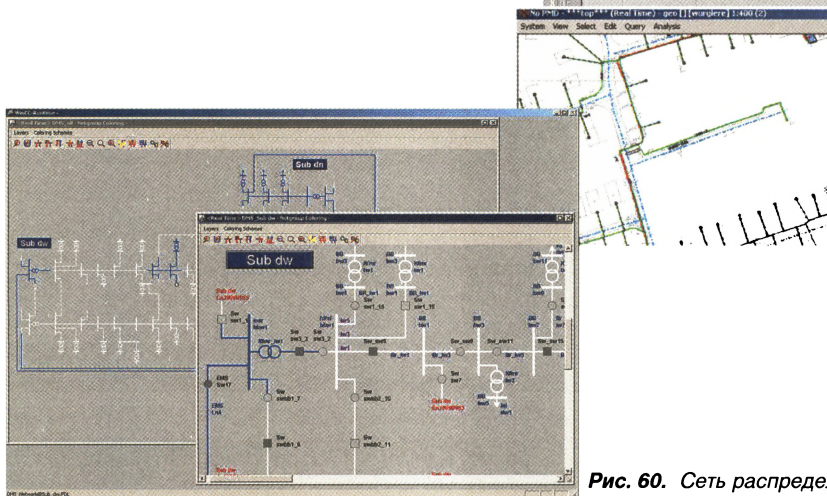
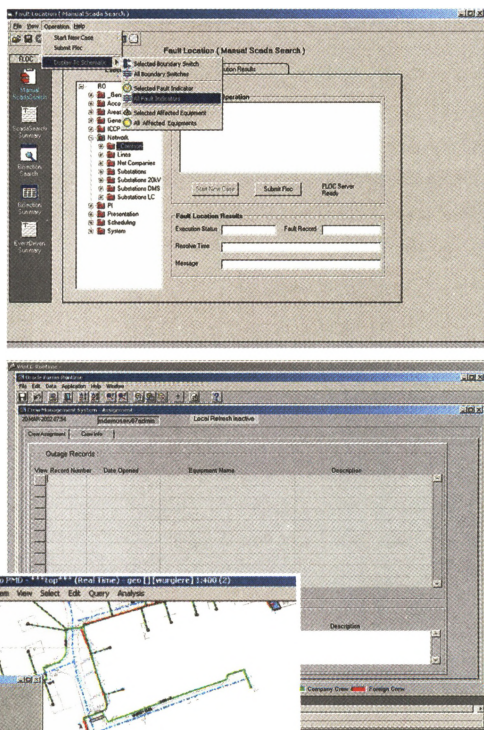


Рис. 60. Сеть распределения



## Разработка сценариев и моделирование

- Моделирование и анализ «что, если» может применяться для изучения ценовых эффектов при отклонениях системных параметров.
- Моделирование покупки и продажи энергии с точки зрения оценки экономической эффективности.
- Моделирование и изучение рисков через различные сценарии изменения цен на топливо и электроэнергию.
- Оценка производственного плана и уровня запаса энергии для энергоемких единиц оборудования.
- Имитация развития событий в случаях отключения оборудования.
- Представление результатов в удобной и понятной графической форме.

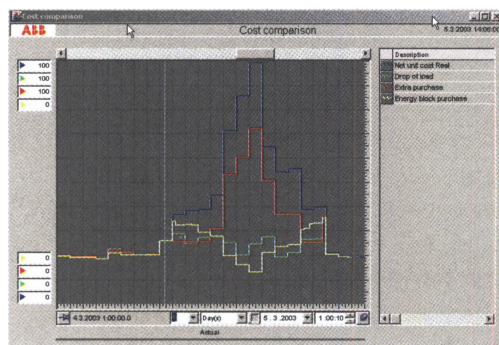


Рис. 61. Сценарии моделирования

## Формирование отчетов и контроль стоимости энергии

Вычисляет:

- энергетические балансы;
- объемы производства и потребления энергии основными подразделениями;
- объемы потребления топлива, электричества, воды;
- стоимость энергии.

Экономическая диспетчеризация:

- управление частотой нагрузки;
- мониторинг стоимости производства  $\frac{1}{3}$ ;
- мониторинг резерва.

Готовит отчеты и информационные экраны:

- графики и диаграммы текущих, архивных и прогнозируемых параметров;
- координатные графики зависимостей;
- таблицы текущих и прогнозных значений;
- журналы событий с данными о технологических событиях и алармах;
- различные списки параметров.

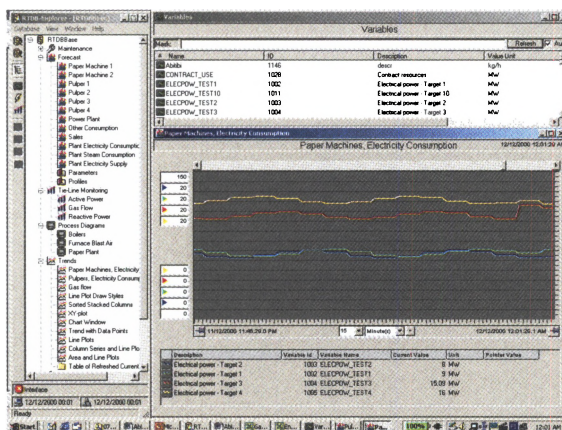


Рис. 62. Формирование отчетов

## Резюме

Специалисты ЗАО «РТСофт» имеют многолетний опыт по разработке, проектированию и внедрению систем автоматизации для предприятий, в частности систем управления энерго-ресурсами. Отличительным свойством работы компании является комплексный подход к автоматизации. Комплексный подход – это:

- ◆ сдача объекта под ключ;
- ◆ поставка полного комплекса оборудования, начиная с низового уровня и заканчивая системами управления;



- ◆ полная автоматизация энергохозяйства предприятия, начиная с локальных систем управления и заканчивая системами диспетчерского управления и корпоративными информационными системами;
- ◆ поэтапность внедрения систем автоматизации;
- ◆ модульность построения систем с возможностью масштабирования по горизонтали и по вертикали;
- ◆ открытые распределенные системы и стандартизованные протоколы;
- ◆ поставка современного оборудования и технологий;
- ◆ высокая степень готовности;
- ◆ экономия инвестиций и быстрая окупаемость;
- ◆ повышение производительности и эффективности;
- ◆ высокотехнологичные решения.

Накопленный опыт доказывает, что возврат инвестиций достигается за счет преимуществ комплексного системного подхода. Как правило, это выражается в следующем:

- ◆ Снижение издержек на оплату энергоресурсов и энергоносителей за счет автоматического контроля и правильного планирования нагрузки.
- ◆ Выявление потерь и непроизводительных расходов за счет полноценного внешнего и внутреннего учета и анализа расходования всех видов энергоресурсов.
- ◆ Снижение затрат на текущий и капитальный ремонт за счет использования высоконадежной техники.
- ◆ Снижение травматизма и уменьшение ущерба от повреждения оборудования, возникающих в результате ошибок оперативного персонала, путем автоматизации формирования бланков переключений, блокировок, безопасного обслуживания объектов.
- ◆ Снижение затрат на содержание персонала за счет внедрения «безлюдных» технологий автоматического управления, применения надежных средств автоматизации.
- ◆ Снижение издержек на эксплуатацию и ремонт оборудования за счет контроля технического состояния оборудования, паспортизации.
- ◆ Снижение потерь от повреждения оборудования за счет предупреждения аварийных ситуаций, своевременной и адекватной информации, представляемой в удобной графической и табличной форме.
- ◆ Оптимизация потребления и расхода энергоресурсов за счет использования оптимальных стратегий управления.

Построенная по таким принципам автоматизированная система управления энергохозяйством предприятия позволит решать задачи оценки энергоэффективности основных производственных процессов и основного производственного оборудования и разрабатывать мероприятия по повышению энергоэффективности основных производственных процессов предприятия в целом.

## ГЛАВА 8. Оптимизация процессов производства и процессов управления производственными фондами

Если на производственном предприятии процессы управления производством (гл. 4, 5) и управления ресурсами (гл. 6, 7) формализованы, созданы инструментальные системы поддержки этих процессов, то порядок в целом наведен: понятно, кем и с какой периодичностью выполняется любая значимая функция процесса, актуализированы описания процессов, нормативно-регламентная база, ролевая модель (зоны ответственности специалистов). После этого наступает время совершенствования внедренных процессов по различным направлениям. Совершенствование важно как для основных производственных процессов, так и для процессов управления ресурсами. И не существует универсальных механизмов — для каждого типа производства используются или заново создаются свои инструменты.

Системы оперативной оптимизации производственных процессов обеспечивают, например, для нефтехимии построение интегрированных моделей трубопроводов и технологических процессов, уточненное прогнозирование продуктивности производственного процесса, а также точный расчет общего баланса нефти/нефтепродуктов, углеводородного состава в зависимости от текущих условий функционирования технологического оборудования и состояния сырья. Системы оперативной оптимизации реализуют обычно следующие группы функций:

- ◆ автоматизированный строгий мониторинг рабочих параметров системы на основе систем строгого оперативного моделирования-планирования и оптимизации;
- ◆ многофазное композиционное моделирование потоков (трубопроводов);
- ◆ моделирование технологических процессов.

При этом важны база данных и средство генерации отчетов, представляющие интегрированную систему сбора и хранения данных и генерации отчетов с автоматизированными функциями сбора технологических показателей и создания сводок. В состав этого компонента входят серверы технологических данных и соответствующие средства анализа данных и генерации отчетов.

На большинстве предприятий перерабатывающей отрасли в оперативно-технологических базах данных (второй компонент) регистрируется с систем сбора данных огромный объем информации. Оперативная проверка и анализ собранных данных не выполняется. В результате снижается точность производимых расчетов, выявление и устранение причин снижения эффективности значительно затрудняется.

Становятся актуальными интеллектуальные и удобные средства, опирающиеся на строгие методы моделирования и анализа данных, а также методы согласования данных, обеспечивающие точную информацию о рабочих характеристиках технологического оборудования. Подобные системы должны обладать возможностью выявления и замены недостоверных показаний датчиков и обеспечения согласованности данных. Техническое решение в этом аспекте представляет общую модель, требует минимального ежедневного обслуживания и интегрировано с информационной инфраструктурой предприятия.

И в первой части этой главы мы кратко остановимся на функциях и инструментах создания систем оптимизации для нефтепереработки.

Во второй части главы предметом рассмотрения становится оптимизация процесса технического обслуживания и ремонтов газотранспортного предприятия. С одной стороны, изношенность оборудования на российских предприятиях достаточно высокая, с другой – даже новое оборудование дает сбои, что диктует необходимость создания систем, которые по диагностическим данным, данным о проведенных ремонтах, данным по окружению позволяют оценить техническое состояние единицы оборудования, важность каждой единицы используемого оборудования (по области применения) и предложить варианты решений по снижению сбоев.

## 8.1. Системы оперативной оптимизации производственных процессов

Необходимой функцией системы моделирования является оперативный мониторинг рабочих параметров. Система анализирует оперативные технологические параметры и извлекает достоверную информацию, описывающую рабочие характеристики процесса или оборудования. Для проверки технологических параметров, согласования данных и расчета отсутствующих значений в системе используется строгая модель технологического процесса. Проверенные на достоверность технологические данные применяются для определения различных эксплуатационных параметров типа степени засорения теплообменника, коэффициента эффективности компрессора, производительности дистилляционной колонки и т. д.

Что должна обеспечивать подобная система:

- ◆ Интегрированную среду моделирования, объединяющую в себе средства имитационного моделирования, согласования данных, мониторинга рабочих параметров и комплексной автоматизации.
- ◆ Фильтрацию данных с целью выполнения проверки непротиворечивости данных до их использования. Противоречивые или «подозрительные» данные могут обрабатываться различными способами, включая замену их значениями, рассчитанными на основе производственной модели.
- ◆ Прогнозирование отказов и остановок. Встроенный механизм определения грубых ошибок позволяет выявлять датчики с недостоверными показаниями и своевременно заменять их исправными. Калибровка расстроенных датчиков до выхода их из строя снижает вероятность аварий и остановок оборудования.
- ◆ Оперативный мониторинг технологических параметров. На основании проверенных и согласованных данных система рассчитывает различные рабочие характеристики оборудования типа степени загрязнения теплообменников, коэффициента эффективности насосов и компрессоров, активности катализаторов и эффективности дистилляционных колонн, что позволяет быстро диагностировать причины возникновения неисправностей и узких мест.

- ◆ Интерфейс к внешним данным. Интерфейс внешних данных обеспечивает непосредственное взаимодействие с производственной базой данных и значительно упрощает доступ к рабочим параметрам. Интерфейс к внешним источникам напрямую взаимодействует с различными административными и технологическими базами данных.
- ◆ Систему реального времени, с графической средой планирования, обеспечивающую автоматизацию задач мониторинга рабочих параметров и создания отчетов.
- ◆ Ситуационный анализ. Система позволяет проводить ситуационный анализ (сценарии типа «что, если») в автономном режиме, используя модель, являющуюся точной копией текущих производственных условий. Эта же модель может применяться для расчета потребностей в поставках материалов и оценки затрат по изменению технологического процесса.

Интегрированная модель состоит из следующих двух категорий подмоделей: моделей потоков (трубопроводов) и моделей выполнения производственных операций. Рассматриваемые модели можно объединять воедино и определять порядок их расчета. Подобная функциональная гибкость обеспечивает возможность интеграции и конфигурирования отдельных моделей потоков и производственных процессов в полном соответствии с реальной структурой потоков технологических операций производственного комплекса.

Сведения об источниках, соединительных трубопроводах, состоянии выполнения производственных операций из баз данных используются для обновления конфигураций потоковой сети и схем производственных операций, хранящихся в наборах главных моделей сети и технологических операций, и последующего создания обновленных моделей [2], соответствующих конфигурации этапа в указанный момент времени.

Потоковая модель производства используется для обновления модели поведения трубопроводной системы с помощью содержащихся в базе данных эксплуатационных параметров и расчетных композиционных данных (полученных в результате лабораторных анализов состава образцов, которые были собраны при тестах) и обновления потоковой модели во время проведения расчетов. На основании данных о входном давлении система рассчитывает значения общего потока и потоков для каждой контролируемой точки. Эти значения используются в обновленной модели оборудования для расчета выходных объемов, составов, температур и давлений продукта. Полученные результаты передаются в схемы производственных процессов или другие потоковые системы, и вычислительный процесс продолжается до тех пор, пока не будут просчитаны все «коллекции» модели. При наличии достаточного объема избыточных данных в любой момент времени при необходимости может быть сконфигурирован и запущен на месте процесс восстановления данных. В базе данных может сохраняться и расчетная, и восстановленная информация. Прочие результаты расчетов типа падений давления в линии и т. д. также могут сохраняться в базе данных согласно спецификации.

Модификация описания потоковой системы или порядка производственных операций может быть вызвана 1) временными изменениями (например, остановкой существующего оборудования) и 2) постоянными изменениями (например, изменением схемы трубопроводов или изменениями в карте технологического процесса). Учет изменений первого типа может быть автоматизирован путем сохранения в базе данных текущего состояния соответствующих элементов.

Учет изменений второго типа требует ручного изменения параметров моделей и их взаимосвязей. Поточковые модели можно модифицировать путем импортирования главных потоковых файлов, внесения необходимых изменений и повторного создания главного входного файла. Изменение моделей технологических процессов также может быть выполнено с помощью графического интерфейса.

Строгие оперативные модели, как правило, включают в себя следующие этапы создания.

### **8.1.1. Определение стационарного состояния**

Концепция имитационной модели опирается на теоретическое предположение о том, что все, что поступает на вход, должно появляться на выходе. Однако на практике в каждом узле оборудования всегда накапливается определенная доля массы или энергии. Кроме того, между подачей материала на вход оборудования и выходом готовой продукции всегда проходит некоторый период времени. В целом модель корректна тогда, когда оборудование функционирует в установившемся режиме, при этом скорости входных и выходных потоков постоянны. В действительности такого никогда не происходит из-за постоянного изменения условий эксплуатации. Однако устойчивость работы оборудования всегда можно определять статистически и принимать решения по его оптимизации на основании этого подхода.

Механизм определения установившегося состояния реализован в различных COTS-продуктах по-разному: от отсутствия подобных программ совсем (например, RTO+) до использования статистического анализа значений наиболее важных производственных показателей.

### **8.1.2. Предварительная обработка данных**

Накапливаемая производственная информация проверяется на отсутствие грубых ошибок, и все «плохие» данные отбрасываются. При удалении какого-либо элемента данных выполняются определенные корректирующие действия, которые могут заключаться, например, в его подмене последним достоверным значением или неиспользованием этого элемента данных в модели.

Механизмы предварительной обработки данных заметно разнятся в разных пакетах. Например, если все измеренные значения хранятся уже усредненными в базе данных, то это означает, что временные «недостоверные» данные будут влиять на среднее значение и, возможно, не будут определяться системой как недостоверные. В других пакетах, например RTO+, есть отдельные программы, которые записывают в свою базу данных последние 60–100 «хороших» значений каждой измеренной переменной. Таким образом, если в какой-либо момент будет получено «плохое» значение, то оно в эту базу данных не попадет. В зависимости от частоты или периодичности появления таких значений программа может отмечать соответствующие измерительные приборы как расстроенные. Это очень полезные программы, которые на этапе предварительной обработки позволяют устранить множество проблем, прежде чем они отрицательно скажутся на модели.

### **8.1.3. Согласование данных**

Текущие данные восстанавливаются до величин наилучшего согласования с текущими условиями эксплуатации оборудования. В идеале весь набор данных может быть приведен к набору величин наилучшего согласия с учетом точности измерительных приборов. На практике, учитывая относительную точность измерительных приборов и определенную степень нестабильности состояния, большая часть методов согласования данных стремится исправлять показания «хороших» приборов и «подгонять» оставшиеся показатели и параметры настройки под эти «хорошие» величины.

Системы восстановления данных различаются масштабом операции согласования. Некоторые из таких систем согласуют множество небольших порций данных из нескольких наборов. Параллельно с этим выполняется имитационная модель, которая генерирует данные о потоке и прочую информацию, требуемую для каждой малой модели согласования данных. Все смещения и настроечные параметры, создаваемые малыми моделями, применяются в имитационной модели. Другие системы восстанавливают данные из единственного набора, используя ту же модель, что и оптимизатор, за исключением того, что целевой функцией является минимизация суммы ошибок измерительных приборов и параметров.

Достоинство исполнения модели целиком заключается в автоматическом учете общего баланса масс и тепла и получении общего наилучшего согласования. Недостаток же в том, что любые задержки по времени между определением параметров сырья и определением параметров продукции приводят к ошибкам в восстанавливаемых значениях. То есть если между подачей сырья и выпуском готовой продукции проходит 4 часа, то любые изменения в составе сырья или скорости подачи не найдут отражения в параметрах продукции еще 4 часа. Иногда это может приводить к определенным проблемам, если оборудование переключается на новый вид сырья в течение довольно длительного периода времени.

Достоинство согласования небольших секций оборудования с помощью нескольких наборов данных заключается в том, что наилучшее согласование каждой секции достигается благодаря использованию до 32 наборов данных. Таким образом, один-два набора недостоверных данных будут компенсированы оставшимися достоверными наборами. Любые случайные ошибки измерений будут усреднены по всем наборам данных, что позволит определить истинную систематическую ошибку. Недостаток такого подхода заключается в необходимости наличия нескольких различных моделей, при этом каждая отдельная модель настолько же корректна, насколько корректны данные, генерируемые имитационной моделью.

В целом достоинства методологии согласования небольших наборов данных проявляются в случае малой степени использования рециркулирующего продукта; если же внутренних циклов много, то эффективность от ее использования резко снижается из-за повышения значимости связей между различными секциями оборудования. Но самое большое различие заключается в том, что методология согласования небольших наборов данных требует разработки множества различных моделей и, следовательно, гораздо более трудна в сопровождении, чем единая модель системы.

### **8.1.4. Оптимизация**

После согласования данных осуществляется оптимизация рабочих параметров оборудования с учетом согласованных уставок. Поскольку большая часть оборудования используется



в предельных режимах, очень важно согласовать уставки оборудования с целью достижения их корректного оптимума.

Возможные механизмы оптимизации:

- ◆ интегрированная программная среда моделирования, в основе которой лежит система уравнений. Расчет оптимизирующих воздействий не требует значительно большего времени, чем процесс моделирования, поскольку все параметры оптимизатора рассчитываются в ходе объединения последовательности технологических процессов;
- ◆ традиционно последовательная модульная программа, в которой оптимизатор перед определением оптимизирующего воздействия должен просчитать всю модель и определить все значения параметров оптимизации. Это означает, что он выполняется гораздо дольше и выдает значительно менее достоверные результаты, чем система в первом случае. В частности, модель BASF, имеющая 120 независимых параметров оптимизации, была успешно разрешена системой ROMeo (SIMSCI). В случае применения последовательных модульных программ типа HYSYS это неосуществимо в реальный промежуток времени.

### **8.1.5. Процедура оперативного моделирования**

Реализация проекта оперативного моделирования опирается на следующие предпосылки.

Исходная сетевая модель всех производственных процессов и трубопроводов строится на основе одного набора измеренных данных для каждого компонента, полученных в результате испытания в стационарном режиме (по возможности), что облегчает тестирование модели. Если какие-либо трубопроводы на момент разработки проекта находились в нерабочем состоянии, то заказчик предоставляет все проектные характеристики всех соответствующих трубопроводов. Проектные данные должны включать максимально возможный объем требуемых сведений о температуре, давлении, расходе и составе смеси в устье и стволе скважины в стационарном режиме, необходимых для расчета всех параметров указанных потоков. В процессе разработки модели заказчик должен также предоставить дополнительные сведения, требуемые для перекрестного контроля несоответствий, выявленных в исходных данных. Последующее тестирование будет проводиться с использованием дополнительных согласованных потоковых данных, предоставляемых заказчиком. Для подтверждения надежности и адекватности модели могут быть проведены дополнительные испытания. Все данные для тестирования должны предоставляться заказчиком в электронном формате, например в виде файлов Microsoft Excel или Access. Все наборы данных должны представлять собой усредненные показатели, полученные в стационарном режиме измерений. Для обеспечения высокой степени достоверности и надежности информации все измерения должны проводиться, когда оборудование функционирует в установившемся режиме. Полученные данные могут быть использованы в параллельной разработке различных частей модели.

Исходные модели последовательности технологических операций всего завода строятся на основе наборов технических параметров, получаемых в процессе тестирования каждой единицы оборудования. Если какое-либо оборудование на момент разработки проекта на-

ходилось в нерабочем состоянии, то заказчик предоставляет проектные характеристики всех соответствующих единиц оборудования. Проектные данные должны включать максимально возможный объем требуемых сведений о температурах, давлениях, расходах и составах, необходимые для полной параметризации оборудования. В процессе разработки модели заказчик должен также предоставить дополнительные сведения, требуемые для перекрестного контроля несоответствий, выявленных в исходных данных. Последующее тестирование будет проводиться с использованием дополнительных согласованных производственных данных, предоставляемых персоналом заказчика. Для подтверждения надежности и адекватности модели могут быть проведены дополнительные испытания. Все данные для тестирования должны предоставляться в электронном формате, например в виде файлов Microsoft Excel или Access. Все наборы данных должны представлять собой усредняемые за час значения всех технологических параметров. Кроме того, должны быть предоставлены результаты измерений в течение нескольких часов, предшествующих получению окончательного набора данных, который и будет использован при построении модели. Эти сведения будут использованы для подтверждения установившихся эксплуатационных параметров оборудования. Для обеспечения высокой степени достоверности и надежности информации все измерения должны проводиться, когда оборудование находится в установившемся режиме функционирования (и находилось в нем в течение нескольких предшествующих часов). В дополнение к усредненным почасовым показателям в состав каждого набора данных должны входить мгновенные значения всех аналоговых и дискретных переменных системы сбора данных (давление-скорость, состояние контроллеров и анализаторов, уставки, выходные параметры, предельные значения, положения задвижек и т. д.). Эти сведения позволяют выявлять действующие в момент испытаний ограничения и обеспечивают перекрестную проверку усредненных почасовых показателей. Для дополнительной проверки и уточнения модели желателен сбор и анализ промежуточных образцов. Полученные данные могут быть использованы в параллельной разработке различных частей модели.

В ходе разработки проекта может возникнуть необходимость в изменении уровня строгости моделей, обеспечивающем адекватное соотношение между точностью модели, ее сложностью, применимостью и временем исполнения.

### **8.1.6. Основа моделирования потоков и последовательности технологических процессов**

Модель потоков — трубопроводов конфигурируется согласно топологии технических средств и связей между ними на основе схем расположения трубопроводов и контрольно-измерительных приборов и схем технологических потоков, представленных заказчиком с необходимыми пояснениями.

Оперативное восстановление данных будет выполняться встроенным средством моделирования; при этом будут использованы все необходимые и соответствующие измерения, обеспечивающие строгое и точное функционирование перерабатывающего комплекса.

В моделях потоковых систем и последовательности технологических операций в оперативном моделировании будет задействовано только то оборудование, которое эксплуатируется более-менее постоянно. Устройства запуска и останова, испытательное оборудование и оборудование, используемое нечасто, в моделировании учитываться не будут.

Нефтехимическое оборудование прерывного действия будет представляться в приложении в виде упрощенных устройств непрерывного действия. Примерами таких устройств могут служить выравниватели скачков давления и сушители с молекулярными ситами.

Приложения оперативного моделирования обычно опираются на стандартные библиотеки моделей, и ниже перечислены некоторые модели ARPM-PipePhase от SIMSCI:

- ◆ В модель включаются все расчеты тепла и материалов, а также формулы расчетов переходного равновесия. Коэффициенты эффективности промежуточных стадий будут включены в формулы оценки параметров при условии, что для настройки рабочих параметров имеются соответствующие измерительные приборы.
- ◆ Вся компрессорная техника моделируется стандартной моделью компрессоров. В состав этих моделей в соответствующих местах будут включены промежуточные охладители и барабанные сепараторы. Реализация компрессорных графиков не учитывается средством оперативного моделирования. Расчеты скачков давления в моделях компрессоров не осуществляются.
- ◆ Моделирование теплообменников будет осуществляться на основе стандартных функций теплообмена. В их число входят формулы баланса тепла и массы, общий коэффициент теплопередачи и скорректированные формулы расчета разниц средних температур.
- ◆ Чаще всего модели клапанов не используются. В случае включения в систему строгих моделей клапанов заказчик должен предоставить все необходимые технические данные.
- ◆ Блоки дегидратации углеводородов и контроля точки конденсации могут моделироваться с применением сепаратора компонентов системы. Если система оперативного измерения способна определять содержание воды в углеводородной смеси, то расчет долевой отдачи будет вестись с учетом оперативных измерений. В противном случае долевая отдача будет определяться с использованием проектных данных.
- ◆ Блоки очистки от активной серы будут моделироваться упрощенным представлением.
- ◆ При необходимости в расчетах ежедневного потребления химреагентов и расходных материалов могут использоваться нестандартные формулы, учитывающие оперативные измерения. Расчет подобных материалов будет осуществляться непосредственно и уточняться не будет.
- ◆ В приложении моделирования ARPM-PipePhase будут использоваться существующие библиотечные термодинамические функции.

При отсутствии адекватных измерительных приборов для некоторых участков вместе с заказчиком вырабатываются наиболее целесообразные инженерные допущения, обеспечивающие одновременное выполнение требований стабильности и точности модели.

В таблице 13 представлены преимущества потоковой модели, модели производственных процессов и интегрированной модели.

Таблица 13

Характеристика	Результаты	Выгоды
Потоковая модель трубопроводов	Непрерывное функционирование при повышенном давлении, не превышающем предельные значения для скважины	Совершенствование производства
Интегрированная модель оборудования и техпроцессов	Улучшение баланса массы. Повышение производительности нефтехимического оборудования. Ускорение определения наилучших эксплуатационных характеристик	Совершенствование производства. Заблаговременное выявление узких мест. Ускорение настройки оборудования
Композиционное моделирование. Термодинамические расчеты	Совершенствование учета содержания углеводородов. Совершенствование классификации и моделирования резервуаров	Продление срока службы резервуаров. Совершенствование производства
Оперативность	Ежечасные и ежедневные предупреждения о состоянии скважины. Автоматизация управления процессом. Улучшение баланса массы	Заблаговременное выявление проблем. Повышение эффективности использования рабочей силы. Совершенствование производства
Запись данных и определение накопленной ошибки	Совершенствование моделей	Совершенствование производства. Заблаговременное определение проблем
Простота адаптации к изменениям	Соответствие требованиям времени – выгоды в долгосрочном плане	Совершенствование производства. Заблаговременное определение проблем. Повышение эффективности использования рабочей силы
Простота модернизации системы	Оптимизация всего комплекса	Оптимизация производства и характеристик оборудования
Единая архитектура системы	Практичность и простота сопровождения	Повышение эффективности использования рабочей силы

## 8.2. Управление техническим состоянием и целостностью ГТС

Процесс управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы нацелен на эффективное решение задач, среди которых:

- ◆ обеспечение с высокой степенью надежности поставок газа;
- ◆ обеспечение безопасности эксплуатации технологических объектов ГТС;
- ◆ поддержка эффективности процессов транспортировки газа.

Это осуществляется за счет более точной комплексной оценки текущего состояния как системы в целом, так и отдельных ее компонентов.

На этапе проработки темы использовался передовой российский и международный опыт и технологии [7, 18, 19].

### 8.2.1. Описание и характеристики процесса управления целостностью ГТС

Управление целостностью ГТС – это процесс, направленный на достижение заданного уровня рисков при реализации основного производственного процесса. Для процесса «управление целостностью ГТС» характерно отслеживание работы оборудования во времени, накопление информации о дефектах, консолидации их, проведения профилактических и ремонтных работ (рис. 63).



**Рис. 63.** Общая структура процесса

Исходными данными для оценки состояния оборудования являются данные, полученные от этапа проектирования до эксплуатационной стадии. Информация о проведенном техническом обслуживании, ремонтных работах, визуальных осмотрах поступает из ЕАМ-систем или систем ТОиР. Регулярный мониторинг состояния оборудования позволяет отслеживать скорость ухудшения характеристик его работы. На основе паспортных данных и данных об ухудшении характеристик рассчитывается остаточный срок службы оборудования с заданной вероятностью.

Управление целостностью на основании анализа результатов оценки рисков в общем контексте рассматривается как процесс, включающий:

- ◆ выявление и анализ факторов воздействия на систему и оценку степени их влияния;
- ◆ мониторинг угроз;
- ◆ определение необходимых ресурсов и мероприятий, обеспечивающих целевое назначение системы и снижение негативного влияния на нее;
- ◆ планирование и контроль исполнения мероприятий по снижению негативного влияния факторов воздействия на систему;
- ◆ анализ эффективности предпринятых действий.

Перечень групп оборудования для мониторинга включает линейную часть магистральных газопроводов (ЛЧ МГ), компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС). Список оборудования по группам следующий:

- ◆ ЛЧ МГ:
  - газопроводы;
  - запорная арматура;
  - переходы через препятствия;
  - узлы подключения КС;
  - противозерозионные и защитные сооружения (ветровые, механические защиты) и др.;
- ◆ КС:
  - ГПА;
  - технологические газовые коммуникации;
  - установка очистки технологического газа;
  - установка охлаждения газа;
  - система автоматического управления ГПА и КЦ;
  - система маслоснабжения КЦ и ГПА и др.;
- ◆ ГРС:
  - узел переключения;
  - узел очистки газа;
  - узел предотвращения гидратообразования;
  - узел редуцирования;
  - узел учета газа;
  - узел одоризации газа.

Компоненты процесса управления целостностью на основе анализа результатов оценки рисков и их последовательность представлены на рис. 64.



Для реализации процесса управления целостностью разрабатывается программа управления целостностью.

Программа управления целостностью для заданных групп управления включает:

- ◆ план управления целостностью;
- ◆ план работ;
- ◆ план коммуникаций;
- ◆ план управления изменениями;
- ◆ план контроля качества.

**План управления целостностью** – перечень мероприятий и сроки их проведения, направленные на оценку целостности, проверку результатов данной оценки и снижение влияния угроз на целостность объектов и системы.

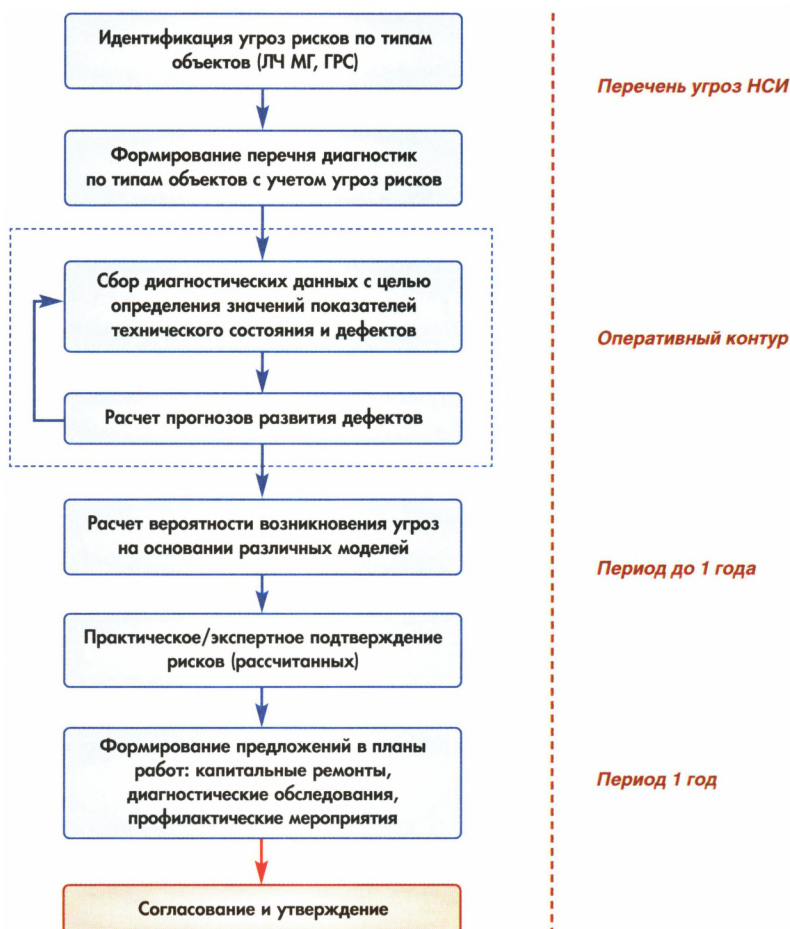


Рис. 64. Компоненты процесса управления целостностью

**План работ** – перечень мероприятий и сроки их выполнения по оценке эффективности программы управления целостностью.

**План коммуникаций** – перечень мероприятий и сроки их выполнения по информированию персонала компании, государственных органов, общественных организаций и общества о мероприятиях (программе) по обеспечению целостности системы и результатах выполнения данной программы.

**План управления изменениями** – перечень мероприятий и сроки их выполнения, проведение которых необходимо в соответствии с установленными процедурами управления изменениями, для регистрации и последующего анализа влияния внесенных изменений на целостность объектов или системы. Управление изменениями должно рассматривать технические, физические, процедурные, организационные и другие изменения, носящие как постоянный, так и временный характер.

**План контроля качества** – перечень мероприятий и сроки их выполнения по проверке соответствия всех действий по обеспечению целостности системы утвержденной программе управления целостностью и нормативным регламентным документам.

Процесс управления целостностью включает оценку финансовых, материальных, трудовых, информационных и других затрат на проведение мероприятий по снижению рисков.

### **8.2.2. Цели и задачи процесса управления целостностью объектов ГТС**

Процесс управления целостностью объектов ГТС – составная аналитическая часть процесса управления активами предприятия, в данном случае производственными фондами. В настоящее время выделяются следующие стратегии управления производственными фондами:

- ◆ реактивная (аварийная, по отказам) – ремонт оборудования производится по факту отказа (аварии);
- ◆ превентивная – ремонт оборудования планируется и производится в определенные промежутки времени, это широко распространенная в настоящее время система ППР;
- ◆ по состоянию – ремонт оборудования производится на основе данных о состоянии оборудования;
- ◆ проактивная – ремонт оборудования производится на основе прогноза возможного отказа и ухудшения свойств оборудования;
- ◆ с оценкой рисков – ремонт оборудования производится на основании анализа всей совокупности рисков для предприятия с учетом прямых и косвенных затрат, вызванных остановкой конкретной единицы технологического оборудования.

Модель управления целостностью на основе анализа результатов оценки рисков позволит реализовать наиболее передовую стратегию управления производственными фондами предприятия.

Основная задача управления техническим состоянием и целостностью ГТС – обеспечение заданного уровня надежности, безопасности и эффективности объектов магистральных газопроводов на основе оптимального планирования и реализации диагностических и ремонтных работ с учетом существующих технических, финансово-экономических и организационных ограничений.

Решение данных задач достигается за счет совершенствования и развития:

- ◆ системы управления техническим состоянием ГТС;
- ◆ нормативно-методологической базы процессов оценки, прогнозирования, регулирования и контроля технического состояния;
- ◆ методов определения прочности, долговечности, показателей надежности и безопасности ГТС, разработки расчетных модулей для анализа данных, формирования и оптимизации программ диагностики, технического обслуживания и ремонта, технического перевооружения и реконструкции ГТС.

На рис. 65 приведена структура нормативно-регламентной базы для ЛЧ МГ и трубопроводов КС для оценки технического состояния, прогнозирования развития дефектов.

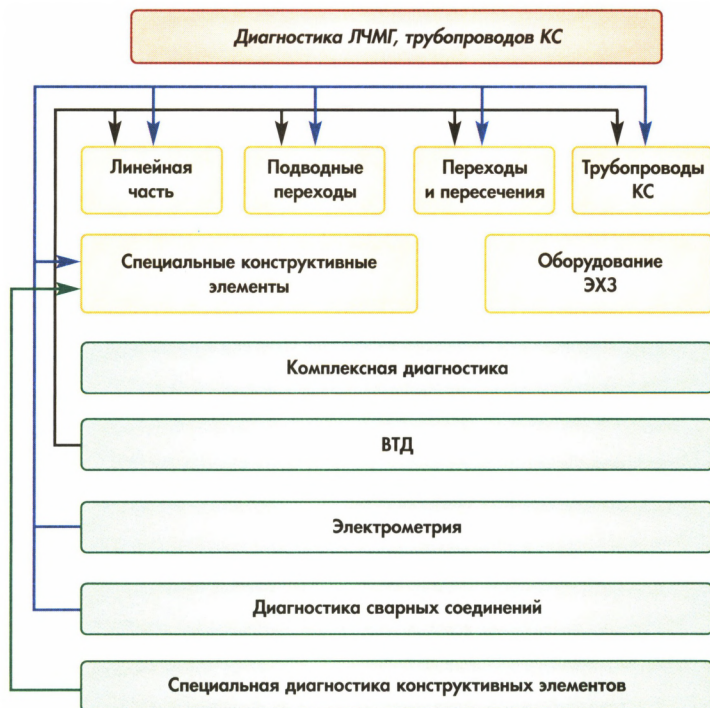


Рис. 65. Структура нормативно-регламентной базы по группам оборудования

## Риски

Риск — это вероятностная оценка опасностей, характеризующая возможность возникновения негативных событий на производственном объекте и тяжесть их последствий, выраженная качественными или количественными показателями.

Риск — результат математического произведения вероятности события и ее последствий, наступивших в результате совершения данного события.

Соответственно, при анализе риска производственной системы или ее компонентов необходимо определить перечень угроз для данной системы, вероятность их возникновения, события, которые порождаются при реализации данных угроз, вероятность возникновения данных событий и их последствия.

## Угрозы целостности

Один из первых шагов по управлению целостностью объектов ГТС — установление потенциальных угроз целостности. Наиболее полный перечень угроз для трубопроводного транспорта и их классификация приведены в документе ASME B31.8S. В данном документе выделяется 21 угроза, сгруппированная в 9 категорий и разбитая на 3 группы (рис. 66).



Рис. 66. Классификация угроз



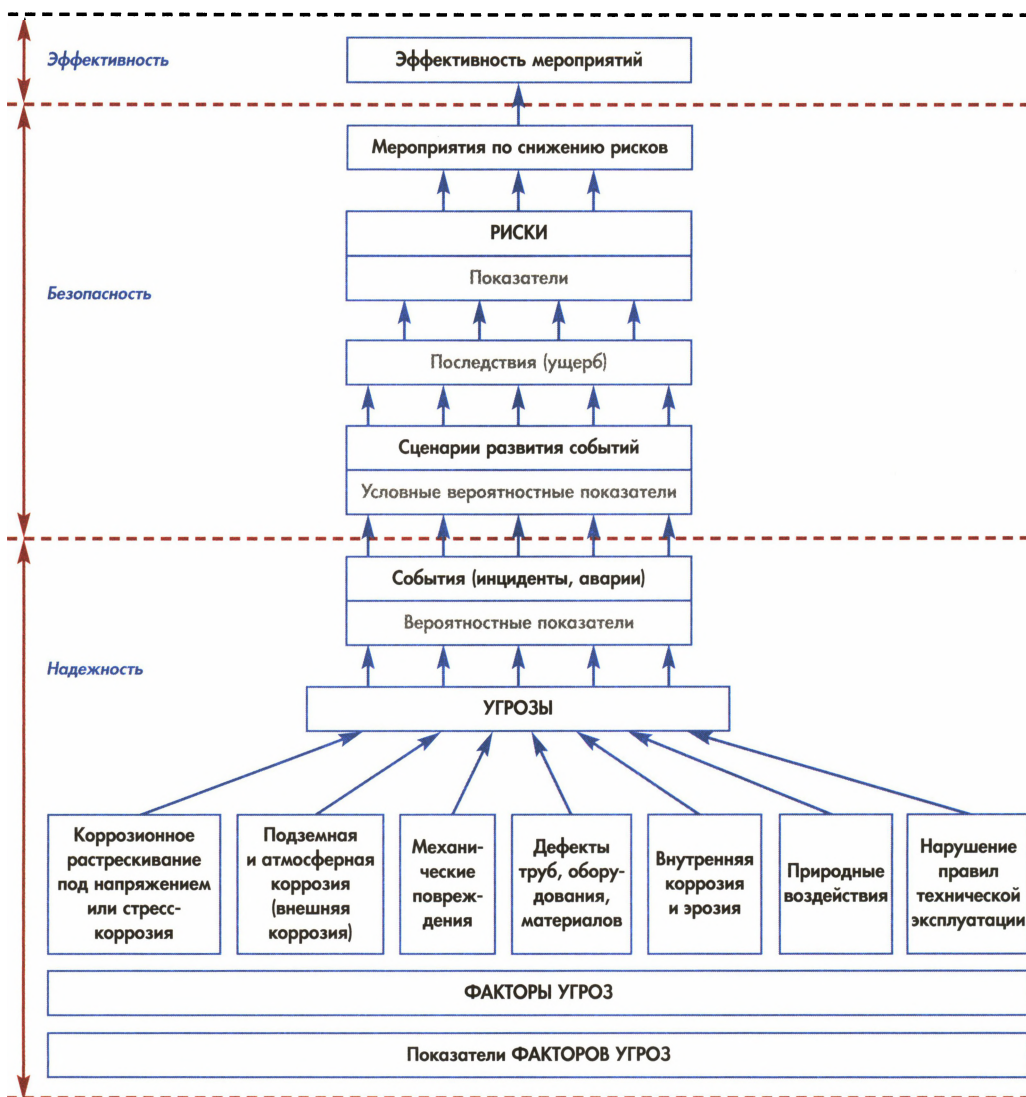


Рис. 67. Структура расчета рисков

Данная классификация угроз, возможно, излишне детализирована, однако она позволяет охватить все наиболее распространенные виды угроз. В методиках анализа рисков, применяемых при управлении целостностью, возможен учет ограниченного перечня угроз, наиболее значимых для объектов ГТС конкретного предприятия.

На рис. 67 приведена структура расчета риска целостности с детализацией видов угроз для ЛЧ МГ.

## События

Наиболее полный перечень событий для объектов ЛЧ МГ дан в документе, разработанном Северо-Восточной газовой ассоциацией (North East Gas Association – NGA). В данном документе определены следующие события:

- ◆ разрыв;
- ◆ прокол;
- ◆ утечка.

Для объектов КС можно выделить следующие события:

- ◆ разгерметизация;
- ◆ отказ;
- ◆ несанкционированное (самопроизвольное) срабатывание.

### **Последствия событий**

При анализе последствий свершения негативных событий при реализации угроз выделяются прямые и косвенные потери (или ущерб). Данное разделение позволяет более точно определить ролевые функции участников процесса управления технической целостностью, рассматриваемые в разделе «Организационная поддержка технической целостности».

К прямым потерям относятся:

- ◆ социально-экономический ущерб – ущерб, связанный с гибелью и травмированием людей, выбытием трудовых ресурсов в результате реализации конкретного сценария аварии;
- ◆ прямой ущерб производству – стоимость восстановления основных фондов и товарно-материальных ценностей организации, которые могут быть уничтожены или повреждены в результате реализации конкретного сценария аварии;
- ◆ ущерб, связанный с затратами на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий и расследование причин;
- ◆ ущерб имуществу третьих лиц – стоимость восстановления уничтоженных или поврежденных в результате реализации конкретного сценария аварии зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, продукции, сырья, принадлежащих третьим лицам;
- ◆ экологический ущерб – ущерб, связанный с загрязнением атмосферы, водных ресурсов, почвы, уничтожением лесных массивов, других компонентов природной среды в результате реализации конкретного сценария аварии.

К косвенным потерям относятся:

- ◆ потери доходов в результате простоев;
- ◆ штрафные санкции по неисполнению договоров;
- ◆ ущерб репутации компании и т. д.



Типы рисков, перечень угроз, факторы влияния, последствия должны быть определены в соответствующих нормативных документах [20, 21].

### **8.2.3. Структура показателей целостности ГТС**

Управление целостностью ГТС в целом и отдельных ее объектов подразумевает следующие этапы (фазы) процесса (рис. 68):

- ◆ классификация и ранжирование объектов системы по критериям, определяемым исходя из их роли (критичность, значимость) в выполнении целевого назначения системы;
- ◆ классификация угроз целостности системы в целом и отдельных объектов, факторов угроз и их показателей;
- ◆ определение набора угроз для объектов системы (паспорт рисков объекта) и мероприятий по снижению влияния данных угроз;
- ◆ определение потенциального влияния каждого из вида угроз на объект системы (паспорт рисков объекта);
- ◆ сбор, верификация, согласование и обобщение данных по каждому виду угроз целостности объекта системы;
- ◆ проведение расчета риска и оценки результатов расчета рисков для отдельных объектов и системы в целом (при необходимости) [25, 26];
- ◆ проведение мероприятий по проверке (подтверждению) результатов оценки целостности отдельных объектов или системы в целом;
- ◆ формирование предложений в план мероприятий по снижению влияния угроз на объекты;
- ◆ контроль результатов исполнения запланированных мероприятий по снижению рисков;
- ◆ повторный расчет рисков и оценка эффективности проведенных мероприятий.

Одним из ключевых моментов в процессе управления целостностью объектов ГТС является расчет рисков и анализ результатов. Перечень методик для оценки рисков при управлении технической целостностью объектов ГТС должен определяться соответствующим корпоративным нормативным документом. Анализ существующих отечественных и зарубежных методик оценки рисков объектов трубопроводных систем позволяет выделить основные (базовые) положения данных методик.

Для методик оценки рисков объектов характерны следующие этапы (шаги, подходы):

- ◆ определение списка объектов, по которым будет проводиться оценка рисков;
- ◆ определение вероятности наступления негативных событий для объектов;
- ◆ определение последствий при свершении негативных событий для объектов;
- ◆ расчет рисков.

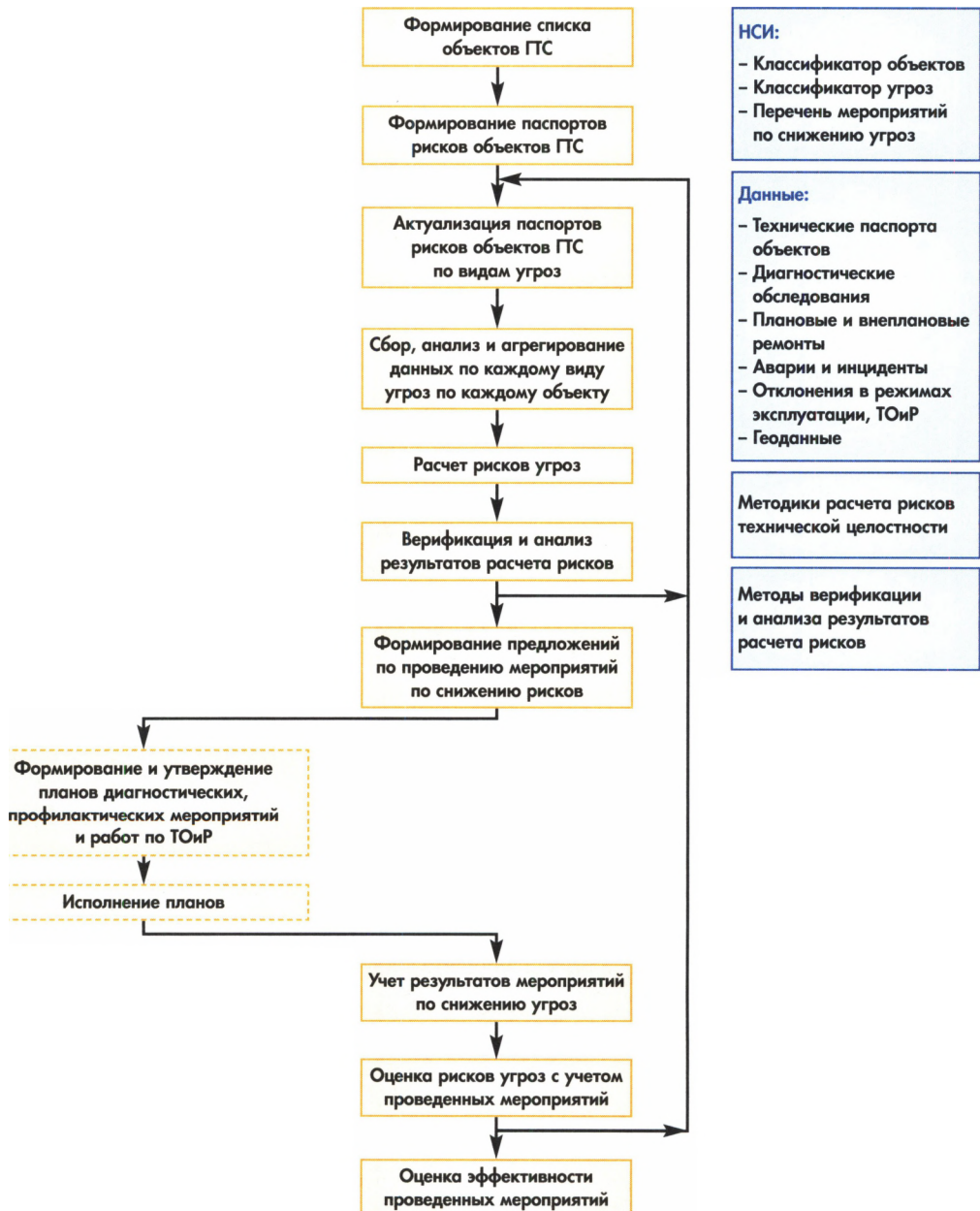


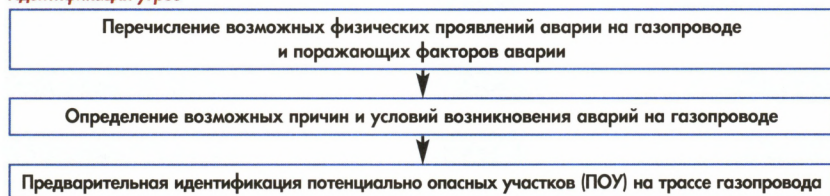
Рис. 68. Этапы процесса

Определение численных значений каждой из угроз (например, вероятность реализации данной угрозы) происходит, как правило, на основе статистической обработки архивных данных по данному виду угрозы для конкретного типа оборудования. Учет каждого фактора угрозы осуществляется через корректирующие коэффициенты или посредством балльной оценки факторов влияния. Аналогичные корректирующие коэффициенты применяются и при учете отдельных показателей факторов влияния данной угрозы.

Вероятность наступления негативного события для конкретного объекта является суммой вероятностей всех угроз, формирующих данное событие.

Последствия для каждого негативного события определяются как сумма последствий развития событий по каждому из сценариев с учетом условной вероятности реализации данного сценария.

#### Идентификация угроз



#### Расчет риска

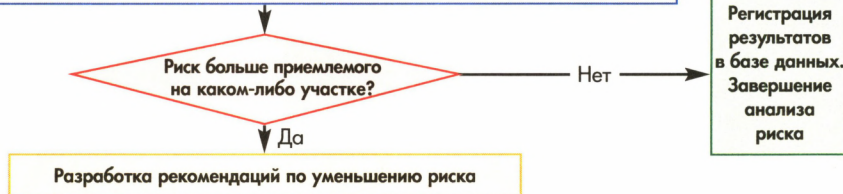
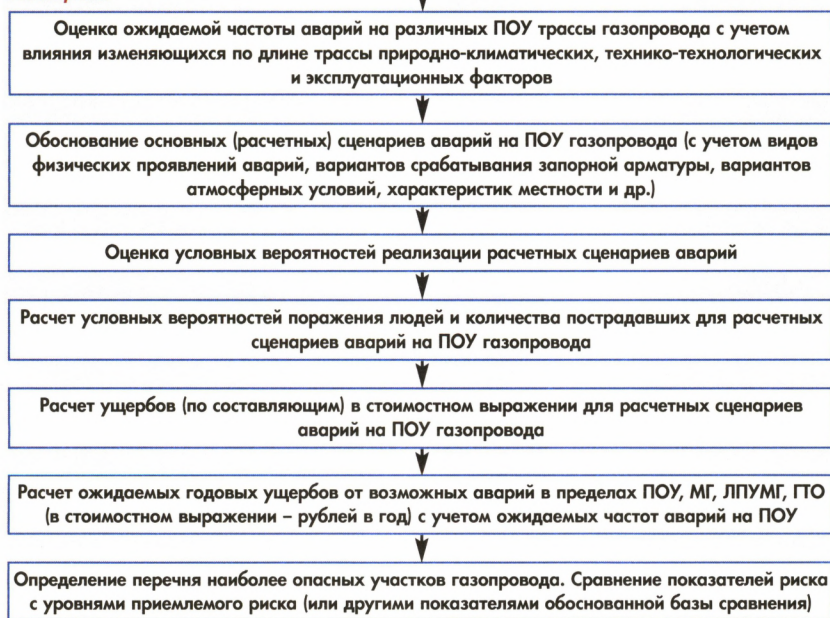


Рис. 69. Блок-схема расчета показателей риска ЛЧ МГ

Количественные показатели последствий для каждого сценария развития и условная вероятность реализации сценариев определяются, как правило, на основе статистической обработки архивных данных по ликвидации последствий данных событий.

Следует отметить, что все количественные параметры угроз, факторов угроз и показателей факторов, а также последствий сценариев развития событий могут рассматриваться как нормативная информация предприятия и должны регламентироваться соответствующим нормативным документом.

На рис. 69 приведен пример расчета показателей рисков ЛЧ МГ.

#### **8.2.4. Организационная поддержка целостности**

На уровне производственных служб ЛПУ осуществляется контроль и прогнозирование технического состояния объектов ГТС, мониторинг угроз, разработка предложений по повышению надежности объектов ГТС, выполнение или контроль выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту объектов ГТС. Таким образом, можно констатировать, что на уровне служб ЛПУ осуществляется оценка вероятности возникновения событий (аварий и инцидентов), формирования предложений по снижению данной вероятности, а также исполнение или контроль за исполнением запланированных мероприятий по снижению вероятности возникновения событий.

На уровне производственных отделов ГТП имеется информационная основа для анализа рисков. С уровня ЛПУ поступает информация о вероятности наступления событий на объектах ГТС и мероприятиях, необходимых для снижения данной вероятности. На уровне производственных отделов ГТП также имеется возможность оценить прямые потери от аварий и инцидентов. Это позволяет провести анализ рисков уровня ГТП. По результатам данного анализа формируются предложения в план мероприятий по снижению рисков (планы ремонтов и технического обслуживания).

К мероприятиям по снижению рисков, которые могут быть предложены на уровне производственных отделов ГТП, можно отнести следующие:

- ◆ диагностика;
- ◆ техобслуживание и текущий ремонт;
- ◆ капитальный ремонт.

К процессам управления целостностью уровня ГТП относятся:

- ◆ оценка и прогнозирование технического состояния объектов ГТС;
- ◆ оценка рисков с учетом последствий уровня ГТП;
- ◆ разработка предложений по снижению рисков уровня ГТП, включая формирование предложений в планы проведения диагностических, профилактических мероприятий и ремонтов.

К процессам управления целостностью уровня ГТП, осуществляемым службами ЛПУ, относятся:

- ◆ контроль технического состояния объектов ГТС и оценка их надежности;
- ◆ подготовка заявок на проведение мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту объектов ГТС с целью повышения их надежности;
- ◆ контроль исполнения ремонтов и технического обслуживания объектов ГТС.

Как и для любого процесса управления, для процесса управления технической целостностью объектов характерно наличие двух контуров управления рисками:

- ◆ среднесрочное управление (годовой и среднесрочный – 3–5 лет);
- ◆ оперативное управление.

Управление технической целостностью объектами ГТС в первом случае предполагает проведения всего комплекса мероприятий для формирования предложений по снижению предполагаемых (планируемых) рисков и направленного на снижение как вероятности нежелательных событий, так и их последствий.

### **Источники данных**

При планировании ремонтных и диагностических работ сотрудники производственных отделов работают практически со всем набором данных, необходимых для проведения анализа при выборе объектов ЛЧ МГ. Только для отдельных планов можно однозначно определить один или два основополагающих критерия, по которым проводится отбор объектов. В большинстве случаев выбор объектов осуществляется на основании экспертной комплексной оценки всех имеющихся и значимых данных. Ниже приводятся основные параметры для некоторых источников, влияющие на выбор объектов ЛЧ МГ при составлении планов работ:

#### **Паспортные данные:**

- ◆ срок эксплуатации;
- ◆ диаметр трубопровода;
- ◆ максимальное разрешенное рабочее давление;
- ◆ ограничения по рабочему давлению;
- ◆ состояние и тип изоляционного покрытия;
- ◆ «значимость» (количество потребителей, экспортный МГ и т. д.);
- ◆ количество и тип пересечений;
- ◆ глубина залегания – для подводных переходов;
- ◆ категория и тип дороги – для переходов под а/д и ж/д.

**Технологический режим эксплуатации газопроводов:**

- ◆ рабочее давление;
- ◆ состав перекачиваемого газа.

**ВТД:**

- ◆ рекомендации по результатам обследования;
- ◆ коэффициент безопасного давления (КБД);
- ◆ уточнение по результатам шурфования.

**Другие виды обследований (ЭМИ, обследования переходов и т. д.):**

- ◆ рекомендации по результатам обследования.

**Данные об авариях и инцидентах:**

- ◆ причины их возникновения.

**Геоданные:**

- ◆ условия прохождения газопровода на местности;
- ◆ наличие участков с потенциальной угрозой оползней;
- ◆ наличие нарушений зон минимальных расстояний.

**Метрологические данные:**

- ◆ значение параметра «точка росы».

**8.2.5. Инструментарий СУТСЦ**

Инструментальных средств, поддерживающих процессы управления целостностью, на рынке оказалось достаточно. Анализ специального класса систем PIMS (Pipeline Integrity Management System – система управления целостностью трубопроводов), ориентированных на информационную поддержку процесса управления целостностью, показал, что существует спектр коммерческих продуктов, де-факто реализующих набор базовых функций (таблица 14). Но заметны различия в расчетных моделях, в использовании ГИС (геоинформационная система), формализации механизмов сбора данных, модели данных. Сравнительный анализ закончился выбором системы Uptime, поскольку разработка сделана на основе самой используемой в мире ArcGIS, поддерживалась миграция данных в автоматическом режиме из разных источников, допускалось встраивание ранее написанных расчетных модулей.



Таблица 14. Сравнение PIMS

Системы контроля целостности газопроводов					
	PipeGurdian	UpTime	Fachschale Pipeline	GE Oil & Gas	GeoDynSeg
Разработчики	STAR-APIC, GLOBE	Advantica	GeoMagic	GE	Magyar (Венгрия)
Модули	Модуль трехмерной ГИС Административный модуль Модуль создания профилей Правовой модуль Модуль нарушений Инспекционный модуль Модуль обслуживания Мобильный модуль	Модуль данных Модуль оценки рисков Модуль обследований Модуль отчетов	Модуль ВТД Модуль катодной защиты Модуль анализа и оценки тех. состояния ГП	Загрузка ВТД Анализ результатов инспекций и прогноз Оценка рисков Планирование работ Планирование инспекций Генератор запросов Модуль веб-доступа	Модуль сегментации осевой линии ГП Модуль калибровки оборудования
Открытая модель хранения данных	Да	Да	Да	Да	Да
Возможность расширения структуры данных	Да	Да	Да	Да	Нет
Нач. миграция данных Дин. обновление данных Выгрузка данных в другие системы (ТОРО и капитальное строительство)		Частично			
Наличие моделей оценки производственных рисков	Частично Упрощенная модель	Да	Да	Да	Упрощенно
Средства и инструменты встраивания собственных моделей и алгоритмов обработки данных		Да	Да	Да	Нет
БД	Oracle Spatial (пространственная СУБД)	Oracle SQL Server	Oracle	Oracle	SQL Server
ГИС	ГИС-сервер STAR NeXt	ArcGIS	Smallworld Core Spatial Technology	Smallworld Core Spatial Technology	Нет

## Архитектура приложений

Обобщенная архитектура, обеспечивающая реализацию основных функций, закладываемых в систему, может быть представлена в виде, приведенном на рис. 70.

Данные об объектах ГТС и результаты диагностики из разных источников, составляющие технологические данные, поступают в хранилище, обеспечивающее хранение исходной информации и результатов ее обработки. Информация обрабатывается с помощью комплекса взаимосвязанных специализированных модулей, аналитических методик, обеспечивающих оценку рисков, надежности газопроводов, выбор методов ремонта при выявлении дефектов, влияющих на надежность транспортировки газа и повышающих риски, а также выработку решений по управлению техническим состоянием и целостностью систем транспортировки. Геоинформационная система обеспечивает привязку аналитических данных к картографическим и обеспечивает их визуализацию с привязкой к карте.

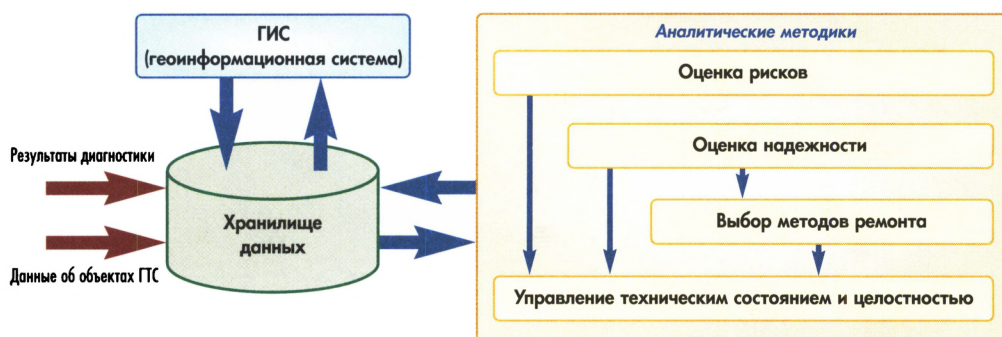


Рис. 70. Обобщенная архитектура СУТЦ

В качестве приложения, реализующего интерфейс взаимодействия с картографическими системами, рассматривался (как уже упоминалось) комплекс Uptime, базирующийся на ArcGIS, к которой добавлен функционал по расчету рисков, надежности объектов ГТС. К основным преимуществам данного комплекса можно отнести:

- ◆ широкие возможности по визуальному моделированию ГТС;
- ◆ возможность трехмерного моделирования объектов ГТС;
- ◆ готовую реализацию западных методик расчета рисков;
- ◆ возможность реализации собственных методик расчета рисков.

Понятно, что любой коммерческий продукт не может реализовать технические требования заказчика полностью и необходимы дополнительные разработки на выбранной платформе. По факту оказалось, что обнаруживаются некоторые проблемы, которые требуют коренной переработки продукта, например:

- ◆ отсутствие возможности реализации сложных расчетов, в особенности прогнозирования (работа со сложными структурами данных), что представляет особый интерес в рамках функциональности создаваемой системы;



- ◆ отсутствие заложенного в архитектуру веб-клиента, что исключает возможность построения решений по принципам «тонкого» клиента;
- ◆ весьма низкая производительность, свойственная многим геоинформационным системам в силу значительности объемов проводимых расчетов и недостаточной оптимальности с точки зрения применения прогрессивных решений по повышению производительности вычислительных процессов;
- ◆ очень слабые возможности по интеграции (отсутствие развитых внешних интерфейсов), поскольку данное решение представляет собой автономное приложение.

Тем не менее анализ PIMS и использование UpTime сократили время выстраивания технологии разработки такого класса и собственно создания своего решения.

На рис. 71 представлена многоуровневая система с распределением функций по уровням.

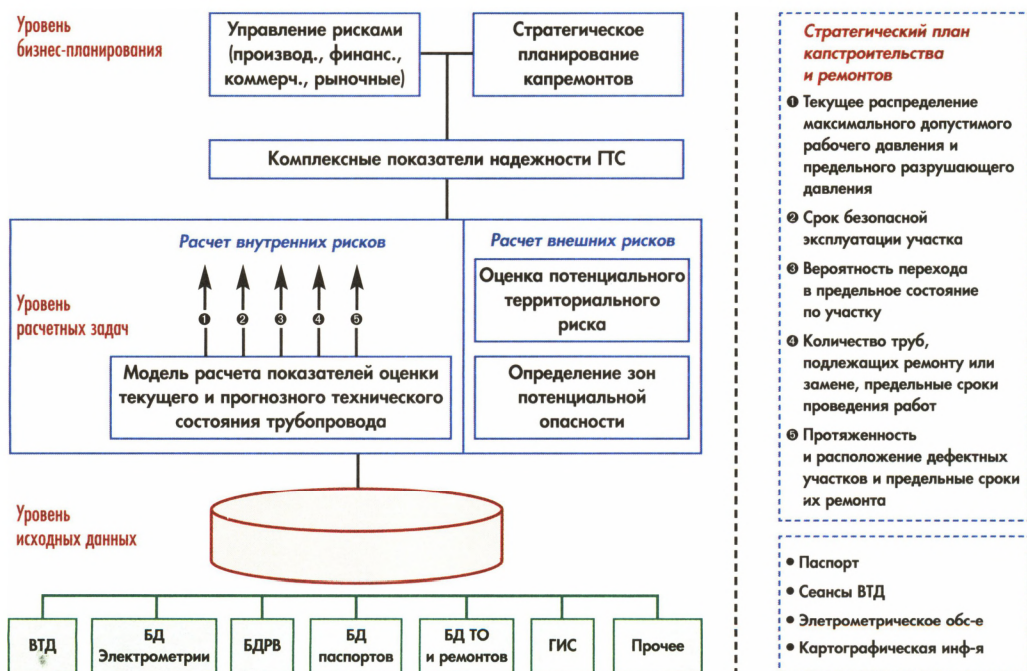


Рис. 71. Распределение функций по уровням

## Архитектура данных

Наиболее принципиальный вопрос, затрагивающий ключевые аспекты создания системы, — проработка информационного обеспечения, в частности разработка архитектуры данных.

## Информационная модель

Информационная модель представляет собой подмножество бизнес-модели, описывающее все существующие (в т. ч. не формализованные в документальном виде) информационные

потоки, правила обработки и алгоритмы маршрутизации всех элементов информационного поля. Информационная модель включает в себя все формы документов, структуру справочников и данных и пр. с указанием источников сведений и адресатов их использования. Информационная модель фактически является концептуальной моделью информации предметной области.

Именно такая модель в полной мере должна соответствовать функциональному назначению каждой конкретной информационной системы. Полноценная информационная модель – это основа для выделения консолидированного перечня взаимосвязанных логических информационных объектов. Такие базовые элементы должны быть положены в основу для формирования согласованного комплекса классификаторов и справочников, применяемых в системе нормативно-справочной информации и корпоративного хранилища технологических данных.

Для этого необходимо провести анализ информации, циркулирующей в контуре управления автоматизируемыми процессами, что позволит:

- ◆ выделить классификационные признаки компонентов информации;
- ◆ сформировать информационную модель процессов;
- ◆ разработать модель данных;
- ◆ разработать модель интеграции со смежными системами.

### **Модель данных**

Модель данных представляет собой нормализованную взаимосвязанную структуру компонентов информации с указанием свойств и состояния ее элементов. К значимым компонентам модели данных следует относить:

- ◆ коллекции типов объектов данных, образующих базовые строительные блоки для любой базы данных;
- ◆ коллекции общих правил целостности, ограничивающих набор экземпляров тех типов объектов;
- ◆ коллекции операций, применимых к таким экземплярам объектов.

Особую важность в аспекте информационного обеспечения СУТЦ имеет использование согласованной модели данных, применяемой всеми компонентами системы. За основу была взята APDM-модель разработки компании ESRI, для организации взаимодействия с внешними системами рассматривалась поддержка PODS-модели.

Модель APDM была разработана компанией ESRI специально для хранения пространственных данных. APDM спроектирована и оптимальна именно для работы с геоданными. Для расчетов и аналитики она не предназначалась.

## Структура системы

На рис. 72 представлена структура, допускающая дальнейшее развитие до состояния полнофункциональной системы. Понятно, что такого типа системы должны быть развиваемы и наращиваемы. Следует отметить, что приведенные объекты инфраструктуры указаны в виде ролевых объектов.

Сервер баз данных предназначен для хранения и управления информационными компонентами системы. На основе информационной модели должна быть разработана модель данных, положенная в основу базы технологических данных и базы расчетных данных. На основе анализа состава циркулирующей в системе информации должна быть выделена нормативно-справочная информация (НСИ), которая организуется в отдельную базу НСИ. Сервер приложений должен содержать основные программные компоненты, применяемые в системе, — основные аналитические методики, которые можно реализовать в отсутствие сопряженной работы с взаимодействующими ИУС и подлежащие отладке и проверке, а также геоинформационную систему, предназначенную для визуализации загруженных технологических и получаемых в результате расчетов данных.

Сервер печати необходим для управления принтерным выводом при необходимости печати получаемых расчетных данных. Сервер управления используется для имитации управления системой. Файл-сервер выполняет стандартные функции подготовки и передачи файлов в рамках создаваемой системы. Пользователи системы получают доступ к использованию методик и других приложений с рабочих мест. В целях предварительной проработки решений и возможности их использования в процессе создания полнофункциональной системы представляется целесообразной организация рабочих мест пользователей на основе «тонкого» клиента. Особенностью системы является то, что исходная информация предварительно подготавливается и загружается для проведения отладки и испытаний, но в процессе проведения исследований свойств и работоспособности не изменяется.

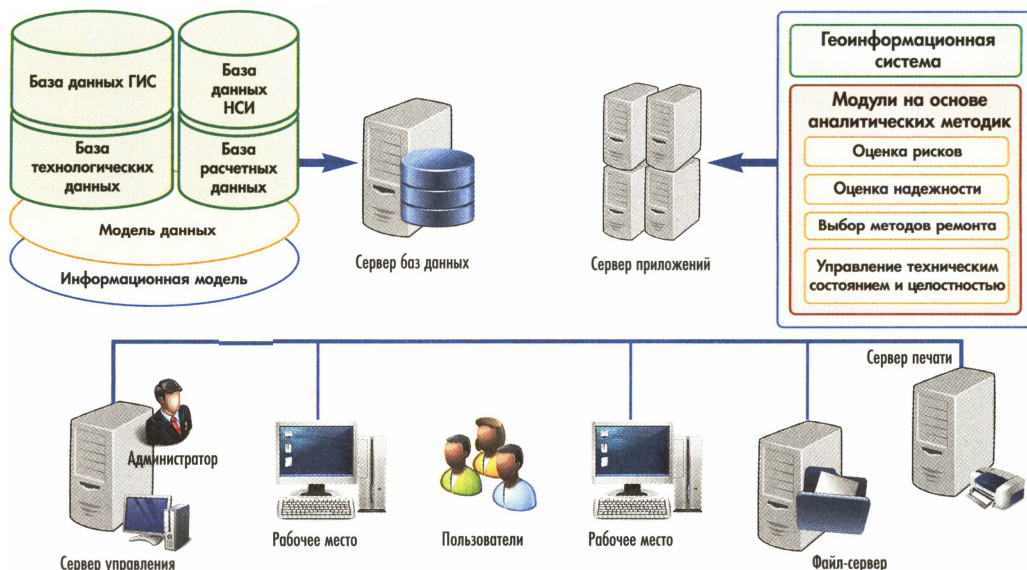


Рис. 72. Структура СУТЦ

К достоинствам такой технической архитектуры можно отнести следующие свойства:

- ◆ гибкость;
- ◆ масштабируемость;
- ◆ низкие затраты на поддержку;
- ◆ кроссплатформенность.

Такая структура содержит основные узлы системы и позволяет реализовать базовые процессы, которые будут протекать в реальных условиях.

Вычисляемые в системе показатели дают персоналу, эксплуатирующему трубопроводы, возможность управлять техническим состоянием оборудования на основе эффективного определения областей с относительно высоким уровнем риска и последующей оптимизацией действий по уменьшению рисков. При этом можно быть уверенным в том, что для расчетов используются наиболее достоверные и актуальные данные. С другой стороны, продуманный интерфейс позволяет строить свои собственные модели оценки риска, что обеспечивает сохранение лучших достижений практики анализа рисков и помогает повторно использовать их при анализе аналогичных трубопроводов.

## Резюме

Авторы не ставили своей задачей рассмотрение информационно-аналитических систем, но не упомянуть о них сложно, поскольку наличие большого объема данных позволяет принимать интеллектуальные решения. В этой главе мы коснулись двух типов систем, для разных отраслей.

**1-й тип.** Система оперативной оптимизации производственных процессов должна быть интегрирована с уже эксплуатируемыми системами сбора данных, диспетчерскими SCADA-системами и другими системами управления базами данных. Уже существующая наращиваемая и модифицируемая система оперативных данных может стать основой для строгого автоматического и ручного моделирования всего производственного комплекса или его отдельных подсистем с помощью единого приложения на основе универсальной входной модели. Выполняемые расчеты позволяют определять ежедневные дебиты и прочие полезные сведения типа производительности трубопровода, оборудования и всего комплекса. Сводные данные могут быть восстановлены с помощью измеренных фискальных показателей, точно регистрирующих потоки производственного комплекса.

Дополняют эти возможности такие функции, как моделирование и генерация специализированных отчетов по запросу – регулярно или в момент наступления определенных событий на основе исходных или расчетных данных. Кроме того, в сети Интернет имеется самая последняя инженерная модель системы, которую можно загрузить для подробного анализа и изучения. По желанию заказчика в системе может быть реализована возможность ручного ввода информации с перезаписью уже существующих в базе данных АСУТП сведений.



При выборе таких инструментов внимание следует обращать на следующие моменты:

- ◆ интегрированная среда моделирования, позволяющая работать как в составе комплекса, так и автономно;
- ◆ встроенный строгий механизм определения грубых ошибок;
- ◆ простота и наглядность добавления пользовательских уравнений;
- ◆ встроенные методы подключения модели к реальным источникам данных посредством интерфейса к внешним базам данных, методам обработки измерений (блокирование, включение, приостановка), а также методам обработки недостоверных данных;
- ◆ способность отключать и включать оборудование и способность определять его состояние средствами графического интерфейса пользователя;
- ◆ наличие оперативного планировщика (RTS – Real Time Scheduler).

**2-й тип.** СУТСЦ представляет собой пример аналитической системы управления ресурсами – активами и чрезвычайно важна для капиталоемких отраслей, поскольку методически качественно выстраивает логику принятия решений от определения целей и задач к определению подходов к оценке рисков, расчету рисков и их анализу, опираясь на паспортные, эксплуатационные данные, нормативные документы по обработке этих данных. Такой подход позволяет выстроить единую систему координат для принятия решений по проведению дорогостоящих ремонтных работ на наиболее приоритетных объектах.

Наличие значительного количества инструментальных средств для создания таких систем говорит о том, что мы уже далеко не пионеры на мировом рынке, но применение коммерческого инструментария вводит дополнительные ограничения. И для столь сложных систем, возможно, стоит делать собственные разработки.

Автоматизация технологических процессов существенно отличается от автоматизации производственных. Если в системе АСУТП оператор участвует в слежении за технологическими параметрами процесса и обрабатывает действия при возникновении алармов, то в работу АСУПП включен персонал, действия которого регулируются нормативно-регламентными требованиями. При этом:

- ◆ периодически изменяется оргструктура и вменяемые персоналу задачи, обновляются функции;
- ◆ совершенствуются производственные задачи, что приводит к постоянному изменению АСУПП.

Как результат АСУТП функционирует годами без изменений. На этапе технологической модернизации/реконструкции заменяется и АСУТП. Производственные системы более изменчивы, что диктует более высокие требования к инструментарию при создании MES по конфигурируемости, возможностям настройки на различные категории специалистов по уровням доступа к функциям.

## ГЛАВА 9. Смежные системы

В данной главе представлены некоторые из дополнительных систем, но на ряде предприятий они крайне важны.

Например, с ростом комплексности предлагаемых решений контроль от несанкционированного доступа и недекларируемых вложений становится принципиальным, поскольку неадекватное управляющее воздействие может привести к техногенным авариям.

Любое более или менее успешное предприятие развивается. Для того чтобы выполнить вовремя строительство высокотехнологичных объектов, часто внедряют соответствующие системы, которые становятся инструментом контроля исполнения работ в руках управлений или отделов капитального строительства предприятий.

Рост количества генерируемых производством данных создает условия для создания отчетов в интересах разных служб и производственного руководства. Требования к инструментам генерации отчетов возрастают.

Разумеется, мы рассмотрим в этой главе далеко не все системы, а уделим внимание лишь тем, которые создавались компанией «РТСофт» не один раз в рамках комплексных решений для управления производством.

### 9.1. Система безопасности

В связи с повышением степени автоматизации технологических и производственных процессов, развитием автоматизированных систем технологического и диспетчерского управления, появилась потребность в создании систем защиты данных и инфраструктур технологического и производственного сегментов сети.

#### ***9.1.1. Предпосылки появления систем защиты данных и инфраструктур систем управления***

Развитие комплексных информационных систем (КИС) всегда сопровождалось развитием систем безопасности и сохранности данных [22]. Одной из ключевых задач при создании и дальнейшем развитии операционных систем тоже была безопасность, развитие сетевых инфраструктур также сопровождалось созданием специализированного оборудования, повышались требования к сетевым протоколам передачи данных и т. д.

Развитие АСУТП и АСУПП сопровождалось другими требованиями: увеличение производительности протоколов, скорость, оптимальность, низкая стоимость. Вопрос безопасности никогда не поднимался. С развитием веб-технологий появляются требования к реализации возможностей удаленного мониторинга и управления через Интернет. Развитие беспроводных технологий также создает предпосылки для реализации удаленного мониторинга и управления через GSM, GPRS, ZigBee, Bluetooth. Все это ведет

к тому, что системы управления технологическими и производственными процессами оказываются незащищенными от внешних и внутренних угроз.

КИС используют оборудование для управления данными, а системы управления технологическими и производственными процессами используют данные для управления устройствами. Для АСУТП и АСУПП важно обеспечение гарантированной доставки данных с указанной производительностью, что требует создания специальной системы безопасности технологических сегментов сети, которая должна, с одной стороны, взаимодействовать с корпоративной системой безопасности, а с другой – обеспечивать мониторинг приложений, серверов баз данных (рис. 73).

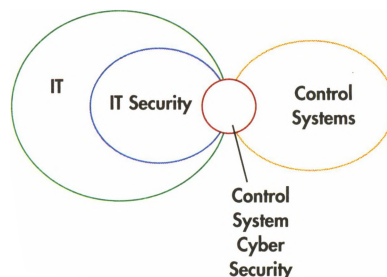


Рис. 73. Общая схема

### 9.1.2. Методология создания систем защиты

Независимая консалтинговая компания KEMA предлагает методологию MOAT (рис. 74) разработки и внедрения систем защиты данных и инфраструктур управляющих систем, которая включает в себя следующие разделы:

#### Управление и координация (Management and Governance)

- ◆ Вовлечение заинтересованных лиц в процесс разработки системы.
- ◆ Обеспечение прозрачного и согласованного управления и координации на местах.

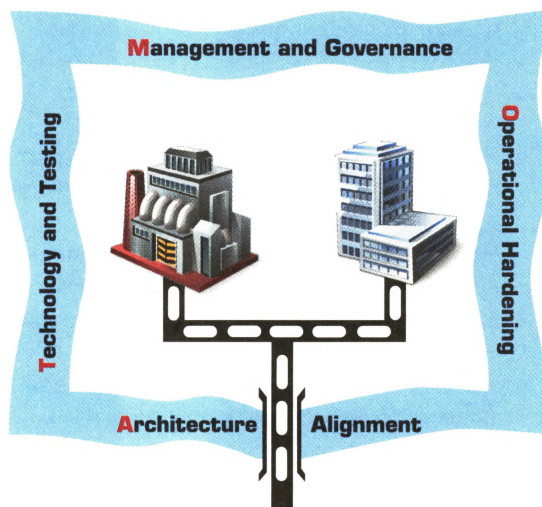


Рис. 74. Методология MOAT

#### Проектирование (Operational Hardening)

- ◆ Определение специальных правил и процедур для систем защиты данных и инфраструктур управляющих систем.
- ◆ Адаптация к существующим стандартам в области безопасности (ISO17799).
- ◆ Создание административных правил и процедур.

### **Проверка архитектуры (Architecture Alignment)**

- ◆ Обеспечение соответствующего разделения сегментов сети.
- ◆ Определение четкого различия и предназначения каждого из сегментов сети.
- ◆ Организация контроля границы раздела сегментов.

### **Тестирование (Technology and Testing)**

- ◆ Разработка системы защиты данных для новых и текущих проектов.
- ◆ Тестирование системы защиты.

Список возможных угроз для производственных систем отличается от стандартного набора:

- ◆ Вирусы, трояны, занесенные на хост с помощью Интернета, электронной почты, внешних накопителей.
- ◆ Человеческий фактор.
- ◆ Несанкционированные проникновения.
- ◆ Черви (увеличивают количество ненужного трафика между хостами и, как следствие, снижение производительности передачи полезных данных).
- ◆ Некорректные обновления и патчи системы (следствием установки могут быть непреднамеренные перезагрузки управляющих систем либо несовместимость существующей управляющей системы и обновления).
- ◆ Некорректно настроенные антивирусные программы (неправильно настроенные антивирусные программы могут повлечь снижение производительности системы управления процессами, критическими по времени).

Объектами атак могут быть следующие приложения и устройства:

- ◆ SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition.
- ◆ DCS – Distributed Control System – распределенные системы управления.
- ◆ PLC – Programmable Logic Controller – контроллеры.
- ◆ Field devices – полевые устройства (датчики, приводы и т. д.).
- ◆ Базы данных.
- ◆ Приложения MES.

### 9.1.3. Предлагаемое решение

Аппаратное обеспечение необходимо для предотвращения проникновения несанкционированных данных от одного хоста к другому. При заражении одного из хостов система способна в зависимости от сконфигурированных сценариев автоматически блокировать трафик от зараженного хоста к другим хостам системы управления. Одной из особенностей является то, что не всегда целесообразно производить обновления антивирусных баз на хостах, а уж тем более запускать на проверку систему управления технологическим процессом, которая может повлечь за собой задержки в управлении или сдвиг по времени получения данных. Первичную проверку на вирусы целесообразней осуществлять на аппаратном уровне – уровне интеллектуальных свичей, которые сканируют сетевой трафик, а не на самом хосте. В систему управления входят сценарии, определяющие последовательность действий при обнаружении угроз и атак.

#### **Функции аппаратного обеспечения:**

- ◆ Слежение за трафиком, блокирование нежелательного трафика.
- ◆ Стандартные функции межсетевого экрана (Firewall).
- ◆ Проверка трафика на вирусы.
- ◆ Выявление вторжений.
- ◆ Сценарии запланированных действий.
- ◆ Мониторинг сетевого оборудования по протоколу SNMP.
- ◆ Удобные, прогрессивные средства анализа и отчетов.
- ◆ Единая консоль управления.

Программные агенты устанавливаются на хостах. Потребление ресурсов процессора и памяти незначительны, объем трафика между агентами и консолью управления не превышает 1 процента, так как данные передаются в формате xml. Порты открываются только на время передачи служебной информации. Основное отличие АСУТП от КИС в том, что системы управления, как правило, стабильны как в отношении загрузки процессора, так и в передаваемом трафике между узлами. Таким образом, определить аномальное поведение системы не составляет труда. Любые действия, связанные с изменением реестра или запуском новых процессов и приложений, а также использование внешних накопителей вызовут ряд изменений и отклонений в работе системы, любые аномалии фиксируются программными агентами в базе данных, в соответствии со сценариями происходят блокировки тех или иных процессов, приложений, хостов.

#### **Функции программных агентов:**

- ◆ Слежение за производительностью хоста.
- ◆ Слежение за процессами.

- ◆ Слежение за файловой системой.
- ◆ Слежение за использованием внешних накопителей.
- ◆ Слежение за изменениями в системном реестре.
- ◆ Слежение за логами работы ОС.
- ◆ Слежение за аутентификацией в системе.
- ◆ Мониторинг сокетов.
- ◆ Мониторинг запущенных приложений.
- ◆ Мониторинг SCADA-приложений.
- ◆ Мониторинг работы специализированных промышленных протоколов.
- ◆ Блокировки процессов, приложений, сокетов в соответствии с заданными сценариями.

Именно завершенная комплексная интегрированная система управления защитой данных и инфраструктур для технологического и производственного сегментов сети от одного поставщика позволят обеспечить надежность функционирования предприятия в целом.

## **9.2. Система управления строительством и реконструкцией высокотехнологичных объектов АСУС ВО**

Независимость процессов управления строительством и реконструкцией и управления операционной деятельностью на стадии эксплуатации сопровождается непростым переходным этапом при завершении проекта и передачи его результата (построенного объекта) в эксплуатацию. Использование традиционного варианта (завершить строительство, пустить в эксплуатацию новый цех или установку, а потом на стадии эксплуатации дополнить информационную базу) приводит:

- ◆ к возможности потерь информации по оборудованию: технические, эксплуатационные характеристики, регламенты по обслуживанию и др. от поставщиков по завершенным контрактам;
- ◆ к увеличенным затратам в бюджетах на создание полноценных баз данных (традиционная технология информационного обмена между различными участниками двух групп процессов – выполнение проекта по реконструкции/строительству и эксплуатации созданного проектом продукта – трудоемка и вносит много ошибок);
- ◆ к снижению качества процессов управления основными производственными фондами на период перехода от строительства к эксплуатации.



Следует отметить, что для некоторых отраслей интеграция систем, поддерживающих процессы строительства, с процессами на стадии эксплуатации считается очевидной. Это относится прежде всего к добывающим отраслям, где состояние недр оценивается и уточняется на стадии обустройства месторождений. Далее на всех этапах эксплуатации учитывается в том числе и объем сырья в пластах. Информационные системы и моделирующие комплексы, моделирующие места и структуру залегания полезных ископаемых, становятся все более сложными, применяются уже не только на стадии обустройства месторождений, но и на стадии эксплуатации, поскольку производственная деятельность влияет на структуру залегания пластов и вызывает необходимость расчета объемов запасов, учитывая новые условия.

Сейчас же мы более детально остановимся на процессе строительства именно высокотехнологичных объектов, которые представляют собой сложные объекты, содержащие множество компонент различного типа: строительные конструкции, оборудование, инженерные системы и др. Жизненный цикл объекта поддерживается группой процессов, охватывающих все состояния высокотехнологичного объекта на предынвестиционной, инвестиционной и постинвестиционной (эксплуатационной) стадиях. Далее мы остановимся в большей степени на жизненном цикле оборудования, включающем инициацию, планирование, исполнение, контроль и мониторинг, переходный этап от строительства к эксплуатации.

**Основные решения** в области управления строительством и эксплуатацией высокотехнологичного оборудования **на всех этапах** жизненного цикла требуют создания:

◆ АСУ проектами строительства и реконструкции, включающей:

- создание нормативно-регламентной базы;
- систему управления проектами.

◆ АСУ эксплуатацией, основывающейся:

- на методологии управления активами;
- на системе управления производственными фондами.

Создание такой комплексной системы, поддерживающей управление всеми этапами жизненного цикла оборудования, обеспечит хранение всей информации (о проектировании объекта, изготовлении, монтаже, текущем состоянии, об имевших место авариях, простоях, отключениях, о производившемся ремонте, обслуживании, модернизации и т. д.). Это даст возможность руководству компании более аргументировано принимать решения по оптимальному управлению имеющимися ресурсами. Комплексное нормативно-регламентное сопровождение процессов позволит надлежащим способом обеспечить сопровождение на всех этапах жизненного цикла объекта.

К основным задачам создания такой системы следует отнести:

- ◆ оперативное обеспечение менеджеров высшего звена предприятия оперативной и достоверной информацией для обоснованного принятия решений о вложении ресурсов в развитие основных фондов;



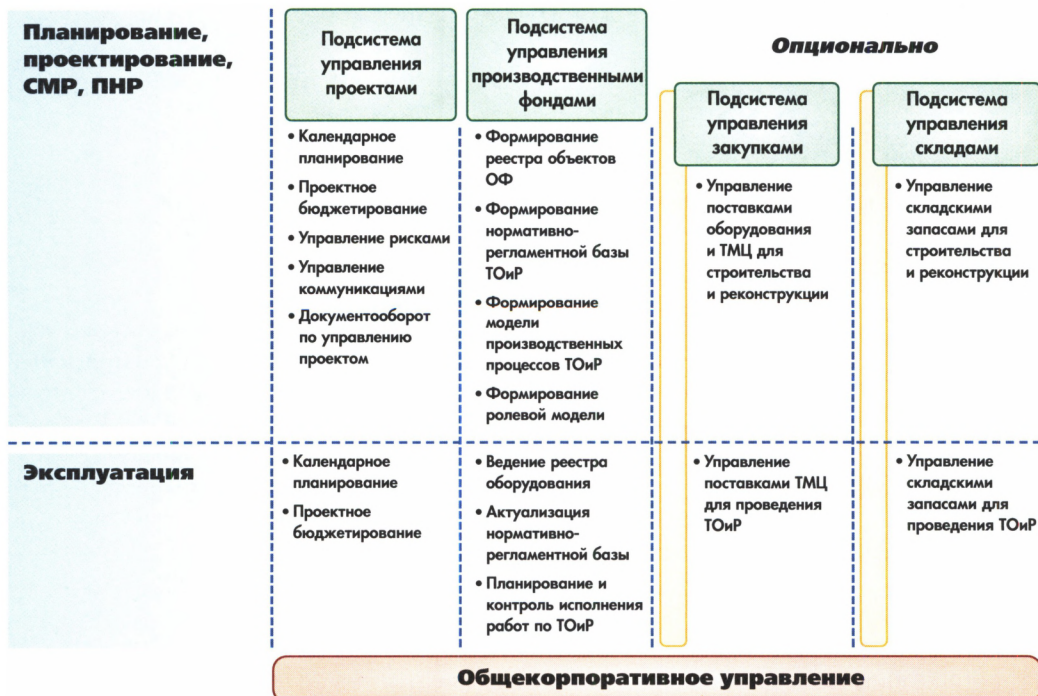
**Рис. 75.** Процесс стадии реконструкции и строительства.

СМР – строительно-монтажные работы, ПНР – пусконаладочные работы

- ♦ снижение затрат на обеспечение стабильной эксплуатации основных фондов, в т. ч. за счет сокращения срока перехода к «операционному режиму».

На рис. 75 представлен процесс стадии строительства, а на рис. 76 – структура комплексной системы [23].

Мы не будем останавливаться на особенностях систем управления проектами и систем управления производственными фондами, поскольку они рассматривались ранее. Важно лишь отметить, что формализация и информатизация процесса реконструкции и строительства, состоящего из базовых процессов, рассмотренных ранее, в виде АСУС ВО позволяет:



**Рис. 76.** Структура АСУС ВО. ОФ – основные фонды, ТООиР – техническое обслуживание и ремонты, ТМЦ – товарно-материальные ценности

- ◆ построить эффективное управление как на стадии строительства высокотехнологичных объектов, так и на стадии их эксплуатации;
- ◆ обеспечить «безударность» перехода от строительства объекта к эксплуатации;
- ◆ учесть интересы всех участников (инвестор, заказчик, генподрядчик, эксплуатирующая организация) инвестиционного проекта;
- ◆ снизить риски возникновения отклонений по срокам и бюджетам как в рамках каждой стадии, так и в рамках всего инвестиционного проекта;
- ◆ снизить эксплуатационные затраты при управлении сложным высокотехнологичным оборудованием.

С другой стороны, сама система АСУС ВО является основой для создания других, прежде всего производных (аналитических) процессов, поскольку позволяет отслеживать жизненный цикл оборудования.

### 9.3. Система генерации отчетов

Новые, иногда агрессивные методы ведения бизнеса требуют отслеживания быстрых изменений, таких как изменение спроса и цен на сырье, энергоносители, оборудование, товары и услуги, реальное состояние производственных мощностей, с целью принятия решений, соответствующих текущему состоянию. Имея своевременные и достоверные данные, можно принимать адекватные управленческие решения, в то время как недостоверные или отсутствующие данные являются причиной неадекватных действий. Поэтому необходимость создания системы учета, контроля товарно-сырьевых потоков, энергоресурсов, производственных фондов становится очевидной. Такие системы должны обеспечивать:

- ◆ получение оперативной и достоверной информации;
- ◆ хранение истории;
- ◆ метрологический контроль, гарантирующий поддержку полноты и целостности получаемых данных.

Для перехода от констатации текущего состояния производственных процессов к управленческим решениям необходимо создание единого информационного пространства, позволяющего:

- ◆ обеспечить единый источник информации для руководителей всех уровней;
- ◆ поддерживать систему отчетов для всех бизнес-процессов предприятия;
- ◆ специальный инструментарий для анализа данных.

### 9.3.1. Система формирования отчетов

Отчеты представляют собой сводные обобщающие документы о функционировании предприятия или компании. Особенность инструментальных средств, обеспечивающих создание отчетных документов, заключается в том, что они должны:

- ◆ использовать различные источники данных для получения информации. Каналы передачи данных должны быть к системам разного уровня: контроллерного, SCADA, базам данных реального времени, реляционным базам, системам управления предприятием и др.;
- ◆ поддерживать OLAP-технологии;
- ◆ обеспечивать математическую и статистическую обработку данных;
- ◆ обеспечивать средства поддержки базы документов;
- ◆ соответствовать стандарту по документообороту IDEF2.

Соблюдение вышеперечисленных требований позволит не только использовать инструментальные средства как систему генерации отчетов для предприятия в целом, но и автоматически агрегировать разнотипную информацию (технологическую, производственную, финансовую), обеспечить электронный исторический архив в виде иерархических деревьев. Структура деревьев определяется особенностями организационной структуры, основными технологическими переделами и т. д. Древовидная структура архива поддерживает:

- ◆ не только конфигуратор, обеспечивающий создание таких деревьев, но и средства извлечения ретроспективных документов, в том числе и из старой конфигурации. Совершенствование технологии документооборота сопровождается тем, что структура дерева документов изменяется, но инструментарий по формированию отчетов должен поддерживать работу с отчетами в исторической и актуальной на текущий момент структуре деревьев;
- ◆ хранение разноформатных документов (pdf, doc, txt, text и др.);
- ◆ конвертацию данных из одного формата в другой.

### 9.3.2. Отчетно-аналитические системы

Аналитические системы (АС) являются развитием систем отчетности, поскольку этот класс программного обеспечения можно отнести к инструментарию, поддерживающему генерацию отчетов, ведение документооборота. АС предназначены для:

- ◆ стандартизации доступа к информации;
- ◆ удобного использования информации конечным пользователем;
- ◆ гибкого и многоцелевого анализа данных;
- ◆ распространения данных.

При выборе корпоративной аналитической системы большую роль играет область ее применения, какие задачи она должна решать, кто ее пользователи. К основным функциям АС следует отнести:

- ◆ доступ ко многим типам источников данных, объединение информации из разных источников в одном документе;
- ◆ возможность описания физической модели данных предприятия терминами предметной области. Может быть несколько словарей бизнес-терминов, каждый из которых ориентирован на определенный источник данных и/или группу пользователей;
- ◆ организация единой системы хранения и управления доступом к документам.

Единый репозиторий документов, организованный в реляционной СУБД, с одной стороны, упрощает управление системой документов, а с другой – разрешает проблему безопасности передачи и хранения данных в системе. Доступ к данным и функциям АС осуществляется через авторизацию и аутентификацию каждого пользователя. В репозитории должны храниться документы других приложений (таких как Adobe, Acrobat, MS Excel, MS Word и др.). Сервер приложений для работы с документами должен быть реализован в веб-технологии, что значительно расширяет круг пользователей.

Необходимы в АС:

- ◆ средства аналитической обработки OLAP для осуществления операций детализации и обобщения данных, выполнения срезов информации в многомерных кубах, поддержка работы с перекрестными таблицами;
- ◆ поддержка сервера документов для распределенного пользования, который позволяет определять расписание автоматического обновления документов и условия дистрибуции документов. При этом важны персонализированные технологии передачи данных, такие как электронная почта, факс, пейджер, телефон и др.;
- ◆ поддержка жесткого контроля за использованием информации. Модель системы безопасности позволяет устанавливать и изменять права доступа как группы, так и индивидуального пользователя. Администратор может определить, какая функциональность продукта, информация и документы будут доступны каждой группе пользователей.

По мере внедрения АС потребности пользователей становятся более разнообразными, АС становится инструментом поддержки принятия решений, инструментом исследования технологических закономерностей в данных, набором средств анализа продаж товаров, зависимостей объемов товара от сырья.

Наиболее широкое распространение в настоящее время АС получили в банковских, финансовых организациях, в телекоммуникационных, торговых и страховых компаниях. По наличию субъективных и объективных условий наступила пора использования АС на промышленных предприятиях.

Наличие точных количественных показателей деятельности предприятия – важный результат использования АС-систем. Однако аналитические нематериальные результаты, которые

можно получать на единых количественных достоверных данных, позволяют добиться значительно большего эффекта, нежели количественные показатели (технологические, балансовые, диагностические). Информация становится доступной в различных срезах, а принятые решения – обоснованными в важных направлениях, таких как:

- ◆ модернизация технологического оборудования (приоритеты);
- ◆ совершенствование технологических процессов;
- ◆ повышение дисциплины поддержания бизнес-процессов;
- ◆ оперативное формирование плановых показателей.

## Резюме

Большинство информационно-управляющих систем, рассмотренных в гл. 3, 4, 5, 6, 7, ориентированы на поддержку эксплуатационных процессов предприятия, что гарантирует:

- ◆ формализацию соответствующих процессов. Если процедура или функция процесса не исполняется вовремя или должным образом, то появляется сообщение о нарушении;
- ◆ поступление текущих технологических данных, алармов, показателей производства, что позволяет принимать решения об улучшении процессов.

Но важной целью внедрения MES является повышение эффективности производства, а значит, применение средств оптимизации:

- ◆ для сценарного моделирования в формате «что, если» с целью выбора оптимальных режимов работы технологических установок в отдельности и всей цепочки в целом: от сырья до товарной продукции;
- ◆ для динамического перепланирования используемых ресурсов, например энергоресурсов, при изменении производственных планов;
- ◆ для формирования оптимального обоснованного плана ремонтных работ с учетом технического состояния оборудования, рисков выхода оборудования из строя.

Таким образом, после внедрения систем класса АСОДУ, АСОДУ Э, СУПФ возникают условия для создания аналитических приложений и систем (примеры в главе 8).

Смежные, дополнительные системы, рассмотренные в настоящей главе, иногда являются не менее важными, чем основные, поскольку риски, например от несанкционированного доступа, могут перекрыть все результаты эффективного управления производством. Или сдвиги вправо при строительстве производственных объектов увеличивают затраты по сравнению с планируемыми в разы. В этой связи принципиально определиться со спектром таких систем заранее. Спектр упомянутых в данной главе систем далеко не полон, и краткое описание именно их вызвано лишь достаточно большим количеством внедрений компаний «РТСофт» при комплексной автоматизации производства.



## Заклучение

❶ Системы класса АСУТП являются техническими, детерминированными системами. Описывается список входных и управляющих сигналов, определяются алгоритмы обработки входных сигналов, список управляющих воздействий в зависимости от состояния. В АСУПП необходимо выделить и описать основные производственные процессы, т. е. необходимо часто делать постановку задачи. Правильное выделение основных производственных процессов зависит от многих факторов:

- ◆ технологической карты производства;
- ◆ организационно-административной структуры предприятия;
- ◆ сложившихся ролевых приоритетов;
- ◆ обоснования выбора одного, двух или трех производственных процессов, для которых должна создаваться информационно-управляющая система.

В отличие от систем АСУТП, участниками производственных систем становятся специалисты-производственники. А следовательно, действия субъектов системы должны быть формализованы не только в плане всех процедур, которые субъект должен выполнять в рамках должностной инструкции, но и оперативной реакции на штатные и нештатные состояния, генерируемые технологическими объектами и действиями субъектов – других участников процесса. Фактически каждый специалист должен быть «колесиком-винтиком» некоторого производственного процесса. Создание ролевой модели, в которой формализовано описываются роли и ролевые функции, является трудной задачей и чаще всего плохо реализуемой без привлечения административного ресурса предприятия.

❷ Изменение задач и функций, реализуемых ИТ-структурами на предприятии. Создание комплексных информационно-управляющих систем на предприятиях рассматривается как инструмент управления и развития бизнеса предприятия. Созданию системы предшествует разработка ее концепции, моделей построения компонент в соответствии с бизнес-целями. Предложения по решению формируются в соответствии с выбранной **стратегией** (всё от одного поставщика, лучшее от ряда поставщиков или собственная разработка) и **технологией** реализации системы.

Создание систем, ориентированных на бизнес-цели, сопровождается модификацией и совершенствованием структуры ИТ-подразделения предприятия с целью поддержки, сопровождения создаваемых систем, развития компонент в системе или ее расширение в зависимости от требований бизнеса.

Роль ИТ-подразделения усиливается и претендует на переход от коммунальной модели, в рамках которой реализуется только сервисная функция, к модели «постоянных изменений», в которой ИТ-структура является активным игроком бизнеса предприятия. Переход к этой модели требует реструктуризации ИТ-подразделения в соответствии с выбранной стратегией. Выбор зависит от понимания необходимости участия ИТ в бизнесе, ролевой модели предприятия.

ИУС в руках ИТ и других подразделений является инструментом:

- ◆ минимизации затрат (решение учетных задач, локализация узких мест);
- ◆ модификации и расширения существующей ИС с целью как адаптации к текущим бизнес-процессам, так и поддержки развития бизнеса в новых направлениях.

Организационная ИТ-структура должна меняться в этом случае в направлении усиления аналитической составляющей, прежде всего в части более глубокого понимания бизнеса ИТ-специалистами и использования ИУС как инструмента в достижении лучших бизнес-показателей. Вторичными становятся знания отдельных подсистем ИС и тем более их создание и установка. Эти виды деятельности могут быть в аутсорсинге.

Целевые установки ИТ-руководителей на использование комплексной ИС:

- ◆ формирование списка важных показателей, их расчет, модификация в зависимости от требований бизнеса;
  - ◆ разработка стратегий вместе с руководителями соответствующих бизнес-блоков по максимизации одних показателей и минимизации других;
  - ◆ выявление на основе оперативных данных положительных тенденций в бизнесе и их закрепление;
  - ◆ максимизация эффективности бизнеса, поиск ключевых точек оптимизации.
- ⑧ Изменение формата работы системных интеграторов. Изменения смысловой части в области системной интеграции для большинства компаний, работающих на рынке более 10 лет, связаны с размером выполняемых проектов. Созрели объективные и субъективные предпосылки перехода от разработки локальных систем автоматизации отдельных технологических установок до создания производственных систем, интегрирующих как отдельные АСУТП, так и системы цехового уровня предприятия и производственного процесса в целом.

Это связано с тем, что масштаб и сложность создаваемых систем возросли, а заказчик хочет и должен получить результат:

- ◆ за ограниченное время. Сроки выполнения даже большого проекта (до 0,5–4,0 млн долларов USA) в большинстве своем не превышают 1 года;
- ◆ за внятно выраженный качественный и количественный возврат инвестиций;
- ◆ за обоснованный объем инвестиций в проект.

Инфраструктура, обеспечивающая реализацию нового типа проектов, претерпевает значительные изменения в области:

- ◆ поддержки технологии ведения проектов, поскольку документооборот по проекту значительно усложняется, увеличивается количество подразделений (групп внутри

одного подразделения), вовлеченных в проект на всех его стадиях, усложняются взаимосвязи между участниками. Системный интегратор вынужден использовать специальный инструментарий ведения проектов в компании, а участники – жестко подчиняться дисциплине ведения проекта во всех его срезам;

- ◆ расширения продуктовых линеек компании. Переход от автоматизации отдельных технологических установок к цеховым системам и автоматизации производственного процесса в целом требует использования продуктов MES-уровня. Ни одна компания-разработчик и ни один системный интегратор не могут предложить всего спектра MES-продуктов. Поэтому каждый системный интегратор, во-первых, вынужден на основе опыта выполненных проектов и его видения рынка промышленной автоматизации выбрать приоритетные, с его точки зрения, продукты, а во-вторых – обречен на партнерство с другими системными интеграторами, специализирующимися в других продуктах при выполнении сложных проектов заказчика.

Системные интеграторы, осознающие переход на качественно новый уровень деятельности, вынуждены много инвестировать, с одной стороны, в проработку концепций систем управления производственными процессами, в выбор и обоснование выбора продуктовых линеек, в технологию реализации проектов, а с другой – в совершенствование технологии ведения проектов внутри компании системного интегратора, прежде всего для обеспечения качества исполнения проекта, оперативного анализа состояния проекта.

④ Вопрос выбора разработчика программно-аппаратных средств в основном актуален при создании систем класса АСУТП. Переход системного интегратора в новое качество, вызванное созданием систем управления производственными процессами (АСУПП), сопровождался анализом наличия на мировом рынке соответствующих инструментальных средств. Выводы, как нам представляется, получились похожими у многих системных интеграторов:

- ◆ Предпочтения в выборе программно-аппаратных средств АСУТП остаются прежними. Имеющиеся у СИ знания по владению этими средствами удешевляют разрабатываемые проекты, уменьшает срок их реализации. Значительная часть этих базовых средств поддерживает стандартные интерфейсы для обмена данными с внешними подсистемами, в том числе и в реальном времени.
- ◆ Ни один из производителей программных средств не представляет сейчас полного спектра продуктов для систем управления производством в целом. Поэтому многие СИ заключили различного типа партнерские отношения с рядом компаний – разработчиков продуктов данного класса. Следует отметить, что путь выбора продуктов (и их разработчиков) не может быть безошибочным, поскольку выбор зависит не только от типа производства, но и от отрасли, так системы оперативного планирования и моделирования различны для дискретного и непрерывного производства. Значительную долю российского рынка автоматизации, в отличие от западного, составляет непрерывное производство. Степень присутствия в СМИ публикаций по продуктам и решениям для дискретного производства совершенно не соответствует этой пропорции.
- ◆ Важно определить минимальное количество компаний-разработчиков, учитывая прежде всего опыт традиционных производителей АПС, с которыми СИ проработали много лет при создании АСУТП. Поскольку необходимость выхода на рынок АСУПП

они почувствовали раньше, то и, соответственно, начали предпринимать шаги в этом направлении. Прежде всего это либо заключение партнерских отношений с компаниями, поставляющими инструментарий для АСУПП, либо приобретение соответствующих компаний. Конечно, это не значит, что по такому пути компании-разработчика должен следовать СИ, поскольку рынки, под которые формируются эти образования, часто не соответствуют требованиям российского рынка, а значит, и наших заказчиков. Важен опыт для более осознанного выбора СИ.

Выбор инструментальных программных средств класса АСУПП зависит:

- ◆ от списка основных производственных процессов, в которых СИ видит зону своей компетенции;
- ◆ от формализованных требований в рамках функциональной, информационной моделей, модели документооборота для каждого производственного процесса;
- ◆ от видения обобщенной ролевой модели промышленного предприятия;
- ◆ от наличия коммуникационных и интеграционных средств для обеспечения взаимодействия с внешними подсистемами.

### ***Основные источники получения экономического эффекта от внедрения MES-систем***

Применение комплексной системы управления производственными процессами позволит:

- ◆ увеличить срок службы оборудования;
- ◆ уменьшить затраты на ремонт и замену оборудования;
- ◆ рационально использовать людские ресурсы;
- ◆ повысить качество продукции;
- ◆ поддерживать рост объемов производства;
- ◆ повысить безопасности труда.

Ввиду небольшого срока применения подобных систем в России и странах СНГ количественные оценки эффективности применения данных систем в промышленном производстве приведены по материалам зарубежных источников. В развитых промышленных странах системы подобного назначения применяются более 10 лет.

Интеграция с системами технологического уровня обеспечивает в режиме реального времени систему управления производственными процессами (MES-систему) оперативной информацией о состоянии оборудования, о фактическом выполнении плана. Анализ данной информации позволяет:

- ◆ снизить количество сбойных ситуаций на 50 %;
- ◆ на 3–12 % уменьшить вероятность выхода оборудования из строя;
- ◆ на 5–10 % увеличить срок ее эксплуатации;
- ◆ существенно снизить незапланированные ремонтные работы (стоимость незапланированных работ в 2,8–3,4 раза выше, чем запланированных);
- ◆ минимизировать простой оборудования (уменьшение времени простоев на 10–20 %) за счет встроенных в систему средств планирования работ по техническому обслуживанию оборудования;
- ◆ исключить малоэффективную (бесполезную) работу, оценить потребность и резервировать необходимые материальные и трудовые ресурсы, улучшить координацию деятельности обеспечивающих подразделений;
- ◆ сократить трудовые затраты на 2–15 % за счет автоматизации процессов планирования, контроля и оценки качества проведенных работ.

Внедрение информационной системы неизбежно приводит к перестройке существующих бизнес-процессов. Анализ требований заказчика позволяет выяснить, где находятся наиболее слабые места, какие из вышеперечисленных направлений принесут наибольший эффект, насколько глубоким изменениям подвергнется существующая структура организации процесса производства. Именно адаптация к требованиям предприятия позволяет выделить наиболее существенные направления, где можно получить наибольший экономический эффект и, опираясь на экспертные оценки, предоставить количественные параметры эффективности.

### **Экономика внедрения**

Для оценки эффективности разработок и внедрения ИУС ПП выделено три критерия:

- ◆ срок окупаемости ( $T_{ok}$ ) с учетом дисконтирования поступающего потока доходов  $\Delta In$  (NPV);
- ◆ суммарный чистый дисконтированный доход – доход, полученный по истечении срока службы ( $T_{cl}$ ) соответствующих программно-аппаратных средств;
- ◆ индекс доходности инвестиций  $\Delta In$  (NPV), показывающий количество денежных единиц полного дисконтированного дохода на одну денежную единицу инвестиций.

При этом использованы следующие модели срока окупаемости:

$$T_{ok} = -\ln[1 - r(\Delta I / \Delta In_{cp})] / \ln(1 + r_{cp});$$

полного дисконтированного дохода за период Т<sub>сл</sub>:

$$\Delta In_{\Sigma} = \Delta In_{cp} [1 - (1+r)^{-T_{сл}}] / r_{cp};$$

чистого дисконтированного дохода:

$$N\Delta In_{\Sigma} = \Delta In_{\Sigma} - \Delta I;$$

индекса доходности:

$$Id = \Delta In_{\Sigma} / \Delta I.$$

По ним получены (таблица 15) оценки эффективности инвестиций.

Таблица 15. Пример расчета чистого дисконтированного дохода проекта NPV по проекту создания СУПФ

Характеристика	Оценка				
Норма дисконта	0,25				
Себестоимость продукции, руб. в год	30000				
Затраты на производственные фонды, %	5				
Снижение затрат на производственные фонды, %	12				
Год реализации проекта	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Затраты на проект $\Delta I$	-300	-15	-15	0	0
Экономия		180	180	180	180
CF проекта	-300	165	165	180	180
Коэффициент дисконтирования	1	0,8	0,64	0,512	0,4096
Дисконтированный денежный поток	-300	132	105,6	92,1	73,7
NPV ( $\Delta In$ )	-300	-168	-62,4	29,7	103,4
	82,79				
IRR	43%				

Сокращения:  
 NPV – Net Present Value – чистая текущая стоимость как сумма текущих стоимостей всех спрогнозированных, с учетом ставки дисконтирования, денежных потоков;  
 CF – Cash Flow – денежный поток;  
 IRR – Internal Rate of Return – внутренняя норма прибыли проекта.

Метод чистой текущей стоимости (NPV):

- ♦ определяют текущую стоимость затрат (I<sub>0</sub>), т. е. решают вопрос, сколько инвестиций нужно зарезервировать для проекта;



- ◆ рассчитывают текущую стоимость будущих денежных поступлений от проекта, для чего доходы за каждый год CF (кеш-флоу) приводят к текущей дате.

При этом возврат инвестиций происходит в начале 3-го года (рис. 77).

Внутренняя норма доходности данного проекта приблизительно 43 процента (рис. 78). Это выше нормы дисконтирования, что означает приемлемость проекта по этому критерию.

Показано, что одним из основных параметров проекта, влияющим на NPV, является объем производства и, как результат, себестоимость продукции. Анализ чувствительности оценивали через риск проекта и потери в случае реализации пессимистичного прогноза. Показано, что снижение себестоимости продукции может происходить из-за снижения объема производства, а также повышения постоянных или переменных затрат.

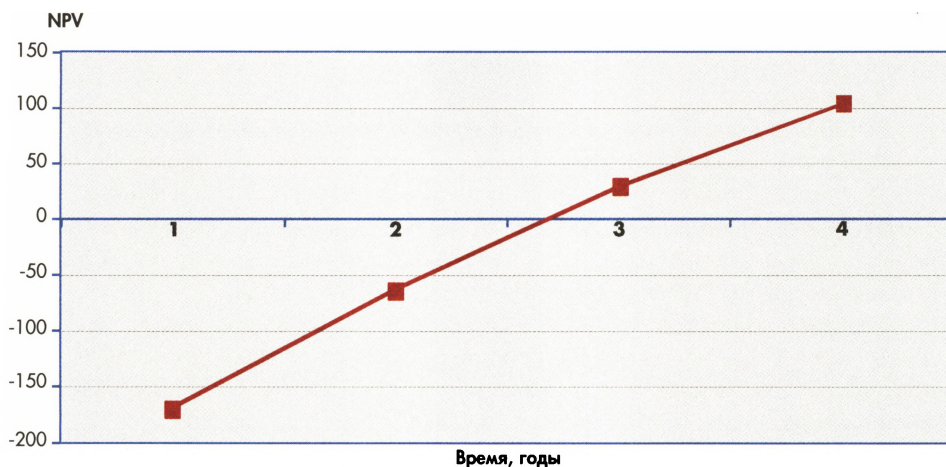


Рис. 77. Оценка срока возврата инвестиций

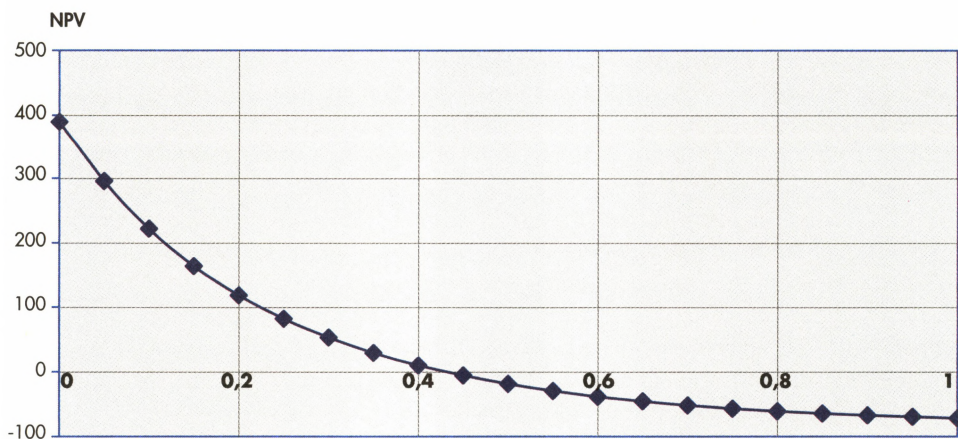


Рис. 78. Оценка нормы доходности проекта

## **Системный консалтинг как вид деятельности**

Отечественный рынок средств и систем автоматизации как для управления предприятием, так и для управления производством становится все более цивилизованным. Зарубежные разработчики предлагают нам не только новые продукты и технологии, но и новую систему ценностей, и прежде всего применительно к знаниям и опыту.

Опыт, накопленный в различных областях автоматизации и информатизации, в том числе на уровне производственных процессов, становится бесценным. Прошло совсем немного времени — около 10 лет, и понятие «консалтинг» многими воспринимается уже совершенно нормально. Эта деятельность признана в качестве работы, за которую готовы платить реальные деньги.

Объективно рынок консалтинговых услуг первоначально сформировался там, где надо было деньги квалифицировано тратить, хранить, возвращать кредиты и т. д. Это область банковской сферы. И первые продажи «мозгов» пошли именно здесь.

Затем пришел черед внедрения и использования класса программных продуктов, автоматизирующих элементы управления административно-хозяйственной деятельностью предприятия. Внедрение систем АСУП отчасти дало и дает эффект. Но эти системы по факту не имеют возможности вмешательства в оперативное управление производством, где и создается прибавочная стоимость. Отсутствие этого качества превращает их в хороший инструмент для накопления статистики. Наступает время, когда «охота за реальными данными» превращается в объективную потребность. Уровень реальных технологических процессов всегда жил в море реальных данных. Но огромные объемы информации, находящиеся здесь, оставались нужны только узкому слою специалистов завода.

Задача интеграции подсистем АСУТП и систем управления предприятием (АСУП) переходит в разряд первостепенных, без решения которой уже сложно себе представить современное производство.

Не так давно термин «хай-тек» (высокие технологии) сопровождал прежде всего системы военного и специального назначения, а также научную тематику. Но посмотрите на современные средства автоматики и автоматизации, пришедшие сегодня на предприятия. Промышленные компьютеры со встроенными операционными системами, которые ранее были использованы в основном у военных. Модульные конструкции измерительной и управляющей аппаратуры, имеющей свои корни для обслуживания сложнейших физических экспериментов. Но основное ноу-хау и хай-тек приходят на современные предприятия через *программные технологии*, которые потоком устремились на предприятия. Море информации, обрушившееся сегодня на нас, требует своего осмысления. Это касается и мира промышленной автоматизации. Реально ли этим заниматься отдельным людям и службам на предприятии? Скорее, это поле деятельности для консалтинговых фирм.

Сегодня в этот бизнес включились компании, традиционно на протяжении последних 8–10 лет занимавшиеся проектным бизнесом в АСУТП (группа 1) или АСУП (группа 2) и выделившие для этого специальных людей или подразделения.

Специалисты в области АСУТП накопили огромный опыт практической работы, им известны многие современные аппаратно-программные технологии и особенности технологических

процессов. При внедрении систем АСУПП компании группы 1 имеют больше оснований к автоматизации процессов, связанных со знанием особенностей технологических переделов, таких как АСОДУ, отслеживание процесса производства и др., компании группы 2 – к процессам планирования, прежде всего объемного. Их задача сегодня – предложить рынку свои знания и опыт в виде набора продуктов и услуг, направленных на заполнение информационных вакуумных ниш, образовавшихся на производственных предприятиях.

Такая консалтинговая деятельность чрезвычайно актуальна [24] для тех отраслей, которые сегодня стоят на пороге больших процессов, связанных с грядущей модернизацией своего основного оборудования, как, например, российская энергетика.

Кратко основную суть деятельности по системно-техническому консалтингу можно сформулировать следующим образом: *осознание проблем предприятия на пути создания, внедрения и сопровождения интегрированных систем автоматизации и предложение путей и средств разрешения этих проблем.*

Что бы там ни говорили, но судьба успешного решения задач в создании АСУПП и интеграции ее с другими системами целиком зависит от воли и желания первых руководителей предприятия, т. к. именно они являются, во-первых, основными *потребителями* информации и, во-вторых, *носителями воли*. К сожалению, и это объективный фактор, даже самые квалифицированные специалисты предприятия по роду своей деятельности решают хоть и очень важные, но *локальные* в проекции на все предприятие задачи. Передавать им полное ведение работ по интеграции нельзя, т. к. результат этих работ нужен не им.

Кроме этого в процессе решения задач по интеграции выявляется большой спектр нерешенных ранее или только что обозначившихся организационных проблем. Это означает, что неминуемо придется вносить определенные коррективы в организационную структуру предприятия, изменять устоявшийся порядок, в том числе и в существующих человеческих отношениях.

Серьезнейшее внимание придется уделять переподготовке кадров. Интеграция как технический аспект влечет за собой приход на предприятие совершенно новых современных аппаратно-программных средств и технологий. Специалисты, обеспечивающие реализацию интеграционных задач, должны быть не только хорошо знакомы с такими технологиями, но и мыслить они уже должны масштабно. По сути дела, этот коллектив должен быть правой рукой руководителя предприятия (ИТ-подразделение). Три главных начала должны лежать в основе успешного решения задачи создания системы управления производством и встраивания ее в существующую инфраструктуру предприятия, а в конечном счете – создания так называемого интеллектуального предприятия:

- ❶ Воля и готовность к изменениям руководителя предприятия.
- ❷ Наличие ядра подготовленных или готовых учиться специалистов предприятия.
- ❸ Привлечение компании, имеющей консалтинговый опыт в области создания систем АСУП, АСУПП и АСУТП.

Логично рассматривать деятельность по консалтингу в качестве прелюдии дальнейшей совместной работы и консалтинговых компаний, и системных интеграторов на одного заказчика. Разумеется, и ответственность за конечный результат должна быть разделена на всех.

## Словарь обозначений

АДЭС	Аварийная дизельная электростанция
АИИСКУЭ	Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии
АРМ	Автоматизированное рабочее место
АСКУЭ	Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии
АСОДУ	Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления
АСУП	Автоматизированная система управления предприятия
АСУПП	Автоматизированная система управления производственными процессами
АСУТП	Автоматизированная система управления технологическими процессами
АСУЭ	Автоматизированная система управления энергоресурсами
АСУЭС	Автоматизированная система управления электроснабжением
АСУС ВО	Автоматизированная система управления строительством высокотехнологичных объектов
АСТУЭ	Автоматизированная система технического учета электроэнергии
БДРВ	База данных реального времени
ГИС	Газоизмерительная станция
ГИС	Геоинформационная система
ГПА	Газоперекачивающий агрегат
ГРС	Газораспределительная станция
ГТП	Газотранспортное предприятие
ДП	Диспетчерский пункт
ЗРУ	Закрытое распределительное устройство
ИУС	Информационно-управляющая система
КИС	Комплексная информационная система
КИПиА	Контрольно-измерительные приборы и автоматика
КОС	Канализационно-очистные сооружения
КПЭ	Ключевые показатели эффективности
КС	Компрессорная станция
КТП	Комплектная трансформаторная подстанция
КЦ	Компрессорный цех
ЛИС	Лабораторные информационные системы
ЛПУ	Линейное производственное управление
МЭК	Международная электротехническая комиссия

НПС	Нефтеперекачивающая станция
НСИ	Нормативно-справочная информация
ОГЭ	Отдел главного энергетика
ОТК	Отдел технического контроля
ПДС	Производственно-диспетчерская служба
ПЛК	Программируемые логические контроллеры
ПС	Подстанция
ПС	Программные средства
ПО	Программное обеспечение
ППР	Планово-предупредительный ремонт
ПТК	Программно-технический комплекс
ПТС	Программно-технические средства
ПЭО	Планово-экономический отдел
САУ	Система автоматического управления
САУ В	Система автоматического управления водоснабжения
САУ Т	Система автоматического управления теплоснабжения
СБ	Система безопасности
СЕВ	Система единого времени
СУБД	Система управления базами данных
СУПД	Система управления производственными данными
СУПФ	Система управления производственными фондами
ТО	Технический отдел
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт
УСО	Устройства сопряжения с объектом
SIM	Common Information Model – общая информационная модель
COM	Component Object Model – модель составных объектов
COTS	Commercial-On-The-Shelf – готовые к использованию, коммерчески распространяемые системные аппаратные и программные компоненты
DCS	Distributed Control System – распределенные системы управления
DDE	Dynamic Data Exchange – динамический обмен данными (стандартный программный протокол)
DSS	Decision Support System – система поддержки принятия решений
EAM	Enterprise Asset Management – управление фондами предприятия
ЕЕМUA 191	Документ, описывающий ряд принципов, касающихся управления аварийными сигналами. Содержащиеся в нем рекомендации законодательной силы не имеют

EMS	Energy Management System
EPRI	Electric Power Research Institute
ERP	Enterprise Resource Planning — планирование ресурсов предприятия
HMI	Human Machine Interface — человекомашинный интерфейс
ICAM	Integrated Computer Aided Manufacturing — комплексно автоматизированное производство
IDE	Integrated Development Environment — интегрированная среда разработки
IDEF	Icam DEfinition — Integrated Computer Automated Manufacturing Definition — методология семейства ICAM для решения задач моделирования сложных систем
ISA	International Standard Association — международная ассоциация по стандартизации
ISA-88	Batch Control — рецептурные производства. Стандарт определяет технологии управления периодическим производством, иерархию рецептов, производственные данные
ISA-95	Manufacturing Enterprise Systems Standards and User Resources — системы производственного управления и человеческие ресурсы. Международный стандарт для разработки систем класса MES и интеграции производственных информационных систем
ISO	International Organization for Standardization — международная организация по стандартизации
KPI	Key Performance Indicator — ключевые показатели эффективности
LIMS	Laboratory Information Management Systems — лабораторные информационные системы (ЛИС)
MES	Manufacturing Executive System — система управления производственной деятельностью
MOAT	Методология
ODBC	Open Database Connectivity — программный интерфейс (API) доступа к базам данных, разработанный Microsoft
OEE	Overall Equipment Effectiveness — общая эффективность оборудования
OLAP	Online Analytical Processing — аналитическая обработка в реальном времени, оперативный анализ данных для поддержки принятия важных решений
OLE	Object Linking and Embedding — включение и встраивание объектов
OLTP	Online Transaction Processing — обработка транзакций в реальном времени
OPC	OLE for Process Control — OLE для управления процессами
PLC	Programmable Logic Controller — программируемый логический контроллер
PODS	Pipeline Open Data Standart — стандарт для хранения данных о трубопроводах в информационных системах. Разрабатывается PODSA (PODS Association)
SADT	Structured Analysis and Design Technique — методология структурного анализа и проектирования
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных
SQL	Structured Query Language — язык структурированных запросов
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol — протокол управления передачей/межсетевой протокол



## Литература

1. Любашин А. Н. Интегрированные системы автоматизации для отраслевых применений, МКА, № 3, 2001.
2. Леньшин В. Н., Куминов В. В. Производственные исполнительные системы (MES) – путь к эффективному предприятию, МКА, № 1, 2002.
3. ANSI/ISA 95.00.05. Enterprise-Control System Integration Part 5: Business-to-Manufacturing Transactions/Note: Approved 2007-01-10.
4. ANSI/ISA-95.00.01-2010. Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology.
5. Дуглас Т. Росс. Методология структурного анализа и проектирования, 1969.
6. Стандарт PODS (Pipeline Open Data Standard) Release 5.0.
7. IEC 61970: Energy Management System Application Program Interface. Common Information Model (CIM) Base. Revision 6.
8. Р 50-1-028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Методология функционального моделирования (в рамках комплекса рекомендаций по стандартизации в области CALS-технологий).
9. Стандарт ИСО 9000:2000 (Е) «Системы менеджмента качества. Фундаментальные принципы и словарь».
10. М. Хаммер, Дж. Чампи. Реинжирирование корпорации. Манифест революции в бизнесе.
11. Эрик Ван Хоутвен. Общая эффективность оборудования (OEE) и управление простоями (DTM)//<http://www.sms-automation.ru/support/info/OEE-DTM.pdf>.
12. Andrea Molinari Overall Equipment Effectiveness (OEE)//[http://www.simatic-it.ru/articles/files/OEE\\_DTM\\_V7.pdf](http://www.simatic-it.ru/articles/files/OEE_DTM_V7.pdf).
13. Coer News//the free Newsletter, Issue No.2, July. – Massey University, New Zealand, 2002.
14. Third Edition of EEMUA 191. Alarm Systems: A Guide to Design, Management, and Procurement.
15. ГОСТ Р 53798-2010. Стандартное руководство по лабораторным информационным менеджмент-системам (ЛИМС).
16. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
17. Семикин В. Ю., Ханьгин А. Н. От большой энергетики к автоматизированной системе управления энергетикой газотранспортного предприятия//Нефтяное хозяйство, № 10, 2007.
18. ASME B31.8S-2004. Revision of ASME B31.8S-2002 Managing System Integrity of Gas Pipelines.
19. РД Ростехнадзора России РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
20. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
21. Федеральный закон № 116-ФЗ от 20.06.97. О промышленной безопасности опасных производственных объектов (в ред. федеральных законов от 07.08.2000 № 122-ФЗ, от 10.01.2003 № 15-ФЗ, от 22.08.2004 № 122-ФЗ, от 09.05.2005 № 45-ФЗ, от 18.12.2006 № 232-ФЗ).
22. ISO/IEC 17799:2000 Information Technology – Code of Practice for information security management (IDT). ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799-2005.
23. Дж. И. Кендалл, Ст. К. Роллинз. Современные методы управления портфелями проектов и офис управления проектами, Москва, 2004.
24. А. Н. Любашин. Системная интеграция и системный консалтинг, МКА, № 1, 2001.

## Об авторах

**Андреев Евгений Борисович,**

доцент кафедры АТП (автоматизация технологических процессов)

Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина.

**Куцевич Игорь Викторович,**

сертифицированный специалист по продуктам LIMS, ведущий сотрудник

ЗАО «Аврора-ИТ», специализирующийся в области разработки программ

внутрилабораторного контроля качества, автор ряда работ по данным темам.

**Куцевич Надежда Александровна,**

кандидат технических наук, технический директор ЗАО «РТСофт», автор многих публикаций, посвященных SCADA-продуктам и MES-решениям.



ЗАО «РТСофт» – инновационная инженерно-производственная компания, один из лидеров российского рынка промышленной автоматизации. Компания создана в 1992 году.

Основные направления деятельности «РТСофт» – встраиваемые компьютерные системы, программное обеспечение реального времени, SCADA-системы, аппаратно-программные комплексы, информационно-управляющие системы, разработка электронной аппаратуры.

Отраслевая компетенция компании «РТСофт» – электроэнергетика, атомная промышленность, нефтегазовый сектор, металлургия, транспорт, приборостроение, телекоммуникации и связь, железнодорожная отрасль, автоматизация зданий и ЖКХ и сфера специального применения.

«РТСофт» осуществляет широкий спектр услуг. Это экспертиза и консалтинг, разработка и внедрение базовых аппаратно-программных средств и программно-технических комплексов, поставка оборудования. Компания реализует комплексные проекты под ключ и обеспечивает заказчику необходимое обучение и поддержку на всех этапах работ.

Группа компаний «РТСофт» объединяет центральный офис, Инженерный дом и Инженерный центр разработки электронной аппаратуры (Москва), инженерно-технические центры, филиалы и представительства в Екатеринбурге, Новочеркасске, Хабаровске, Красноярске, Чебоксарах, Протвино, Санкт-Петербурге, Воронеже, собственное производство СКБ «РТСофт» (г. Черноголовка), НОУ «Учебный Центр РТСофт» и издательство «РТСофт» – «Космоскоп» (Москва).

Профессионализм сотрудников, а также долгосрочные стратегические соглашения с зарубежными и отечественными партнерами и поставщиками позволяют «РТСофт» предлагать не только типовые, но и индивидуальные решения для задач любого уровня сложности.

Высокое качество предлагаемых услуг гарантировано сертификатом TÜV NORD CERT на соответствие международному стандарту ISO 9001:2008 и всеми необходимыми лицензиями и сертификатами.

## ЗАО «РТСофт»

Москва, ул. Никитинская, 3  
Тел.: +7 (495) 967 15 05, факс: +7 (495) 742 68 29  
rtsoft@rtsoft.msk.ru, www.rtsoft.ru

Андреев Евгений Борисович  
Куцевич Игорь Викторович  
Куцевич Надежда Александровна

# MES-системы: взгляд изнутри

Подготовка макета и дизайн обложки: *Олег Шинькович*  
Корректурa: *Нелли Рыбакова*

Подписано в печать 01.03.2015  
Формат 70х100/16  
Бумага мелованная  
Печать офсетная  
Тираж 1 000 экз.  
Заказ О-608.



ООО «РТСофт»  
105264, Москва, ул. Верхняя Первомайская, д. 51.  
Тел./факс: (495) 742-68-43

Отпечатано в типографии филиала АО «ТАТМЕДИА»  
«ПИК «Идел-Пресс». 420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2.