

# ИНТЕГРАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ПРИНЦИПЫ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ

А. А. Мусаев, Ю. М. Шерстюк

Рассматриваются вопросы интеграции автоматизированных систем управления промышленных предприятий с непрерывным технологическим циклом. Основное внимание уделяется вертикальной интеграции АСУ как важнейшей компоненте построения единой интегрированной системы управления предприятием.

Приведены сведения о современных взглядах на создание автоматизированных предприятий.

**1. Проблема интеграции АСУ: генезис.** За последнее десятилетие на предприятиях с непрерывным технологическим циклом стали широко внедряться информационные системы и АСУ нового поколения, основанные на текущих достижениях в области компьютерных и сетевых технологий. При этом предприятия с полностью или частично непрерывным производством, как правило, относятся к относительно благополучным отраслям отечественной экономики (нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, металлургическая и т.п.), что позволяет им вкладывать существенные инвестиции в развитие средств автоматизации производства и управления производством.

В настоящее время *de facto* сложилось разделение средств промышленной автоматизации на системы, действующие в рамках отделов, управлений, служб (применительно к терминологии ГОСТ 34.003-90 [2] рассматриваемые как *АСУ предприятия* (АСУП)), и автоматизированные системы мониторинга и управления технологическими установками и процессами - *АСУ технологическими процессами* (АСУТП).

Следует отметить, что наряду с быстрыми темпами и широкими масштабами внедрения средств автоматизации данный исторический период характеризуется и рядом явлений, оказавших отрицательное влияние на развитие АСУП и АСУТП. Среди них следует отметить:

появление множества реализаций *автоматизированных систем* (АС) от различных производителей и, как следствие, крайне разнородный состав средств (прежде всего программных) эксплуатируемых АС;

фрагментарное внедрение и локальное использование АС для частных задач управления (явление, получившее название "лоскутная автоматизация");

дистанцирование средств решения задач автоматизированного управления предприятием и *технологическими процессами* (ТП), проявившееся на ряде предприятий в

создании самостоятельных подразделений АСУП и АСУТП в составе одной или разных служб;

внедрение существенно менее интеллектуально емких систем, чем это предполагалось идеологией построения АСУ 70...80-х годов, что объясняется стремлением производителей АС к быстрой окупаемости разработок в сочетании с ожиданиями очевидного практического результата от приобретаемых средств автоматизации со стороны руководства предприятий.

Тем не менее, положительный опыт внедрения разного рода АС, осознание возрастания роли современных информационных технологий в жизнедеятельности промышленных предприятий, а также развитие технологий построения вычислительных сетей, распределенного хранения и обработки данных естественным путем привели к интенсификации внедрения средств автоматизации, и, как следствие, к актуализации проблематики интеграции АС предприятия. Как отмечалось в [8], "задача интеграции подсистем АСУТП и АСУП переходит в разряд первостепенных, без решения которой уже сложно себе представить современное производство".

В контексте совершенствования систем автоматизированного управления предприятием под интеграцией, в абсолютном большинстве случаев, понимается создание единого информационного пространства предприятия, осуществляемое путем объединения разнородных АС во взаимосвязанную интегрированную АСУ. В качестве основных побудительных мотивов такой интеграции обычно указываются [3, 8]:

устранение информационных барьеров внутри предприятия, формирование единого информационного пространства для всех АС предприятия, под которым понимается потенциальная возможность взаимного обмена данными в реальном масштабе времени между компонентами любых АС;

обеспечение гибкости производственной системы, повышение ее оперативности при смене видов выпускаемой продукции, корректировке производственных заданий;

повышение управляемости предприятия через обеспечение информационной прозрачности, оперативности управления, согласованности принимаемых решений.

Стремление к интеграции АСУ являются следствием глобального противоречия, корни которого лежат в области истории развития АСУП и АСУТП: противоречия между единством производственно-административной деятельности предприятия и разобщенностью отдельных уровней и контуров управления, и, как следствие, разобщенности (целевой, функциональной, информационной, технической) всей системы автоматизированного управления производственным циклом предприятия. Указанное противоречие существен-

но снижает объективную возможность управления производством, а его устранение (или, хотя бы, ослабление) является одним из действенных внутренних резервов повышения эффективности промышленного производства.

**2. Направления интеграции автоматизированных систем.** Следует отметить, что понятие "интеграция автоматизированных систем", определяемое в ГОСТ 34.003-90 [2], существенно шире, чем интеграция АСУП и АСУТП. Данное понятие применимо к любой совокупности двух или более взаимоувязанных автоматизированных систем, в которой функционирование одной из них зависит от результатов функционирования другой (других) так, что эту совокупность можно рассматривать как единую АС.

Интеграция может рассматриваться в различных направлениях, которые перечислены в табл. 1.

Таблица 1. Направления интеграции автоматизированных систем

№№	Вид интеграции	Характеристика интеграции
1.	<b>Организационная</b>	Рациональное сочетание управленческой деятельности персонала по всем уровням интегрированной АСУ
2.	<b>Функциональная</b>	Обеспечивает единство локальных целей функционирования, согласованность функций и критериев эффективности всех компонентов. Требуется разработки общей функциональной структуры всей системы, декомпозиции системы на компоненты. Устанавливает для каждого компонента: критерий эффективности, модели функционирования, процедуры обработки данных, функциональные и информационные связи между компонентами.
3.	<b>Информационная</b>	Требуется единого подхода к сбору, представлению, хранению и использованию информации об объекте управления на всех уровнях иерархической системы управления. Обеспечивает взаимосвязанную циркуляцию информации между компонентами системы.
4.	<b>Программная</b>	Обеспечивает совместное функционирование программных средств, используемых для решения задач.
5.	<b>Техническая</b>	Обеспечивает объединение средств вычислительной техники, средств низовой автоматизации и локальных сетей ЭВМ, позволяющее проводить автоматическую реализацию всех направлений интеграции при распределенной обработке информации.

Применительно к иерархически организованной системе управления предприятием интеграция может быть горизонтальной и вертикальной. В общем случае горизонтальная интеграция предполагает объединение АС одного уровня, а вертикальная – различных (смежных).

**3. Основные принципы интеграции АС предприятия.** В качестве важнейших принципов интеграции АС предприятия выступают [1, 6]:

Принцип системности. Объекты управления комплекса промышленной автоматизации образуют открытую динамическую систему, погруженную в неоднородную и нестационарную эволюционирующую производственную среду и активно с ней взаимодействующую. При этом предполагается, что как объект управления, так и АСУ отвечают всем системным характеристикам: целостности, структурированности и целенаправленности. Реализация принципа системности приводит к необходимости решения задач:

первоочередного определения глобальной цели функционирования автоматизированной системы управления предприятием;

идентификации внутренних и внешних возмущающих воздействий;

многоуровневой декомпозиции структурных и функциональных подсистем;

управления на основе иерархии математических моделей объектов управления.

Важным следствием принципа системности является неаддитивность управления, в соответствии с которым общий комплекс автоматизированного управления предприятием в рамках *интегрированной АСУ* (ИАСУ) предприятия должен решаться на базе взаимосвязанных моделей отдельных подсистем, а не формироваться путем простого комплексирования (технического сопряжения) этих подсистем.

Принцип иерархичности. Система автоматизации процессов управления на предприятии должна строиться как многоуровневая иерархическая система. Уровни иерархии АСУ определяется уровнями разделения процессов управления.

Принцип единства технологической информации. Результаты мониторинга состояния технологических установок должны служить базой как для решения технико-экономических задач управления производственным циклом в целом, так и для решения задач технологического управления (оптимизация процессов, расчеты материальных балансов и технико-экономических показателей работы установок и т. д.).

Очевидно, что в основе создания ИАСУ промышленных предприятий лежит интеграция АСУП и АСУТП, которая осложняется целым рядом факторов. Среди них необходимо выделить следующие три, имеющие ключевое значение для выбора подхода к осуществлению интеграции:

1. *Динамичность состава и среды функционирования АС предприятия.* В процессе жизнедеятельности любого предприятия происходят разного рода преобразования организационного, технологического и технического характера, затрагивающие систему и (или) объект управления;

2. *Существенное различие темпов наступления отслеживаемых событий для АСУП и АСУТП.* Управление ТП функционируют в реальном масштабе времени, опреде-

ляемом поведением объектов управления, а к управлению предприятием требования реального масштаба времени не предъявляются, что на практике приводит к необходимости создания между АСУП и АСУТП промежуточных накопителей и преобразователей информации;

*3. Различие масштабов "старения" средств автоматизации управления и промышленного оборудования.* Как отмечено в [7], если технические средства вычислительной техники "устаревают" в среднем через 6-12 месяцев после выхода на рынок, а новые версии современных информационных систем выходят через год, то промышленное предприятие не может себе позволить столь частую смену не только технологического, но и измерительного и исполнительного оборудования, кабельного хозяйства и т. д. В результате этого происходит "наслоение" АС, относящихся к разным поколениям вычислительной техники, программного обеспечения, средств промышленной автоматизации и т.д.

#### **4. Моделирование уровней управления промышленным предприятием.**

Сложный характер взаимосвязей в многоуровневой структуре управления производственным циклом определяется организационно-функциональной структурой современного промышленного предприятия. В связи с этим процессу интеграции неизбежно предшествует этап структурного анализа, базирующийся на комплексном моделировании уровней управления предприятием.

Для многоуровневой структуры управления в настоящее время имеется достаточно много вариантов определения состава и содержания отдельных уровней управления [1, 4-8]. Некоторые из них схематично показаны на рис. 1.

Несмотря на то, что все приведенные примеры крайне схематичны, они наглядно показывают, что даже в рамках самой общей идеологии автоматизации управления промышленного предприятия имеет место широкий разброс подходов к определению состава и содержания уровней управления.

Принципиальная важность выбора того или иного подхода определяется тем, что в рамках конкретной схемы уровней управления осуществляется дальнейшее проектирование АС. Фактически, с учетом всей специфики промышленного предприятия, выбранная модель уровней управления определяет:

- какова декомпозиция подразделений предприятия по уровням управления;
- где должна пройти линия "водораздела" между АСУП и АСУТП;
- как должны быть установлены соответствующие зоны ответственности;
- каковы потенциальные множества АС для горизонтальной и вертикальной интеграции;

к каким видам АС по "пирамидальной" модели они принадлежат или должны принадлежать.

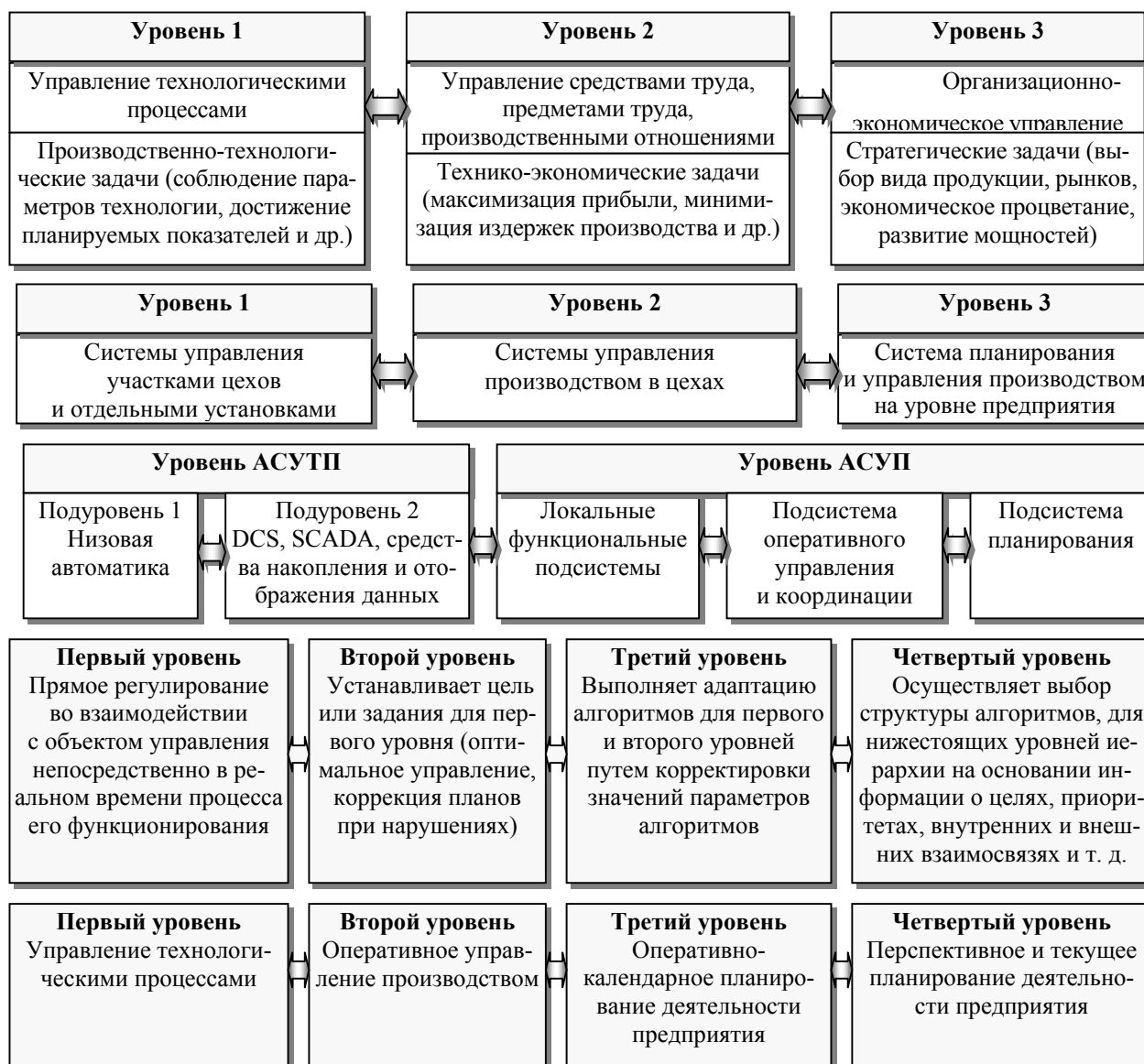


Рис. 1. Примеры декомпозиции уровней управления

Очевидно, что ответ на эти ключевые вопросы является определяющим для структурно-функциональной декомпозиции комплекса АС предприятия, организационных решений по его созданию и последующей эксплуатации, технических решений по его реализации.

В свете вышеизложенного несомненный интерес представляют более детальные модели уровней управления промышленным предприятием. Объективная сложность построения детальной модели уровней управления для конкретного предприятия связана с тем, что его организационная структура, структура уровней управления и структура ин-

формационных потоков в системе управления предприятием не совпадают. В частности, одни и те же подразделения и должностные лица могут решать задачи управления различных уровней. Имеется множество взаимодействующих контуров управления, по которым ряд должностных лиц имеет множественное подчинение (например, у каждого главного специалиста имеется свой контур управления, в который входят и представители цехов, одновременно подчиненные начальнику цеха, участка, установки и т. д.).

Кроме того, построение подобной детальной модели осложняется динамичностью среды погружения АС. Под средой погружения АС понимается ее контекст как совокупность объектов внешних интерфейсов данной системы, существенных с позиций ее целевого назначения и обеспечивающих ее информационную интеграцию в систему управления предприятием. Причины динамичности среды погружения достаточно очевидны – в ходе производственного процесса, как уже указывалось, происходят разного рода преобразования организационного, технологического и технического характера, затрагивающие объект управления.

Таким образом, представляется невозможным построить формальную модель управления производства с позиций управления его функционированием "один раз и навсегда" – динамика модели должна повторять динамику объекта моделирования. Кроме того, из-за большой размерности модели управления для современного промышленного предприятия длительность ее разработки является соизмеримой с длительностью периодов между изменениями в моделируемом объекте.

В целом совокупность особенностей производств с позиций создания ИАСУ в сочетании со спецификой конкретных предприятий приводит к отсутствию единых готовых "рецептов" интеграции АС производственных процессов. Различные системные интеграторы, выступающие на рынке АСУП и АСУТП, предлагают набор собственных решений, сформированных из практики и опирающихся на соответствующий программный инструментарий.

**5. Общие проблемы интеграции АСУ предприятия.** Создание ИАСУ требует решения целого ряда общих проблем, краткая характеристика которых приведена в табл. 2.

С точки зрения технической реализации сопряжения эксплуатируемых и вновь создаваемых АС основные подходы к осуществлению интеграции подсистем уровней АСУП и АСУ ТП достаточно четко определились [4, 5]:

стандартизация интерфейсов, протоколов обмена информацией и т. д.;

использование буферного информационного хранилища между АСУП и АСУТП (в качестве которого выступает база данных реального времени);

внедрение комплекса продуктов одной фирмы-производителя, ориентированного на удовлетворение максимального объема потребностей современного промышленного предприятия в хранении и обработке данных в интересах управления предприятием и имеющего развитые средства импорта/экспорта данных (например, R/3 (SAP AG), PI System (OSI Software), Total Plant Solution (Honeywell), Enterprise Technology Solution (Yokogawa), Plant Information Management System (JGC Corporation)).

Таблица 2. Основные проблемы, подлежащие решению при создании ИАСУ

<b>Проблема</b>	<b>Характеристика проблемы</b>
<b>Комплексное совершенствование системы управления</b>	Обеспечение условий для взаимосвязанного и согласованного управления организационно-экономическими технологическими процессами. Оптимизация принятия решений по системе в целом.
<b>Декомпозиция объекта</b>	Разделение объекта автоматизации на части, позволяющие осуществить эффективную автоматизацию каждой из них и автоматизируемой системы в целом.
<b>Декомпозиция целей</b>	Построение дерева целей и установление для группы взаимосвязанных целей критериев интеграции, определяющих степень согласованности функционирования отдельных частей ИАСУ.
<b>Межуровневая и внутриуровневая интеграция</b>	Установление рациональных способов организации взаимосвязи и взаимодействия частей одного иерархического уровня и различных уровней.
<b>Совместимость</b>	Обеспечение совместимости средств технического, программного, информационного обеспечения ИАСУ.
<b>Повышение эффективности системы</b>	Увеличение эффективности ИАСУ по сравнению с суммарной эффективностью автономно функционирующих АС.
<b>Полная реализация задач автоматизированного управления</b>	Расширение границ постановки задач управления по сравнению с задачами обработки данных. Задачи в ИАСУ должны охватывать все фазы управления: измерение, учет, контроль, анализ, выработка управляющего воздействия
<b>Адаптивность</b>	Возможность перехода к эффективному функционированию в условиях меняющихся целей и ресурсов
<b>Выбор средств реализации</b>	Анализ и выбор средств реализации, обеспечивающих создание в приемлемые сроки компонентов ИАСУ и их совместимость
<b>Согласование компонентов ИАСУ</b>	Выбор согласованных параметров точности, достоверности информации, производительности и надежности взаимодействующих компонентов ИАСУ, обеспечивающих достижение цели
<b>Координация и управление частями ИАСУ</b>	Организация управления обменом и распределением ресурсов. Согласование целей и критериев функционирования локальных компонентов
<b>Методическое обеспечение ИАСУ</b>	Формирование общих требований к ИАСУ, к разработке норм и правил классификации, технологии разработки, внедрения и эксплуатации систем, к составу и содержанию документации



Выражением наивысшей степени интеграции АС выступает *автоматизированное предприятие* (АП), в котором интегрированная АСУ охватывает весь производственный цикл и отвечает трем основным требованиям:

полный охват системами АСУ ТП (класса DCS и SCADA) всего технологического оборудования основного и вспомогательного производства, всех его наблюдаемых (контролируемых) и управляемых параметров;

всеобъемлющий контроль качества сырья, полуфабрикатов и конечной продукции; полное обеспечение автоматизированного информационного взаимодействия функций внутриуровневых и межуровневых контуров управления.

При выполнении перечисленных требований дальнейшее содержательное развитие ИАСУ осуществляется в направлении роста функциональных возможностей ее компонентов, т. е. повышения степени автоматизации.

Следует отметить, что в настоящее время наиболее близко к идеалу создания АП приблизились зарубежные фирмы (OSI, Yokogawa и др.), которые, по оценкам ряда специалистов, обогнали результаты отечественной практики создания и применения ИАСУ более чем на 10 лет.

В качестве обобщающего примера подхода к построению ИАСУ промышленного предприятия как АП на рис. 2 приведены "пирамидальная модель" и функциональная схема ИАСУ, используемая фирмой Yokogawa, функциональные элементы которых достаточно сильно совпадают с перспективными предложениями других крупных зарубежных фирм-производителей средств промышленной автоматизации и системных интеграторов.

**6. Тенденции развития интегрированных АСУ.** По результатам анализа решений и продуктов от ведущих мировых системных интеграторов для промышленных предприятий следует отметить, что развитие ИАСУ в рамках преобразования в полноценное автоматизированное предприятие сопровождается следующими основными тенденциями:

смена поколения Distributed Control System (DCS);  
рост значимости диспетчерской службы предприятия;  
преобразование функций операторов;  
централизация размещения органов управления производством;  
переосмысление роли данных, информации и знаний в управлении предприятием;  
широкое применение развитого (advanced) управления, оперативной оптимизации и моделирования в управлении технологическими процессами и оборудованием.

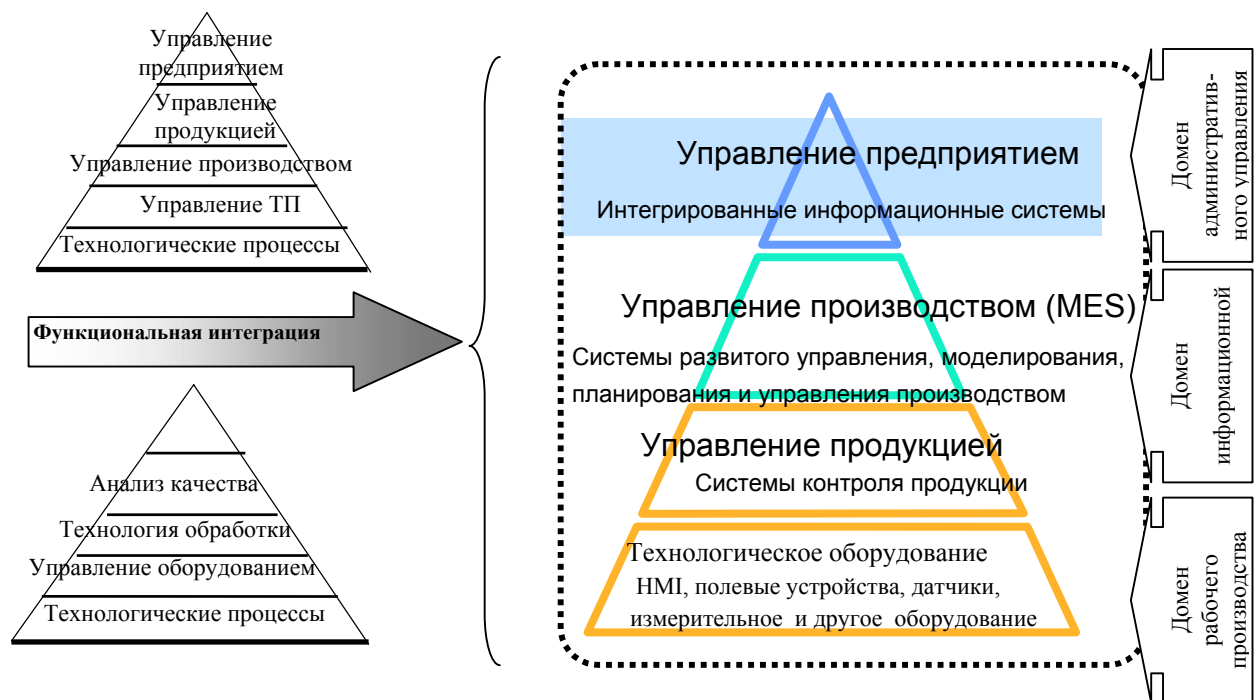


Рис.2. Элементы подхода Yokogawa

По данным Japan Energy Corporation и Mizushima Oil Refinery совершенствование DCS предполагает увеличение производительности и надежности этих АС, расширение возможностей мониторинга и управления, уменьшение габаритов, упрощение эксплуатации и обслуживания с целью расширения области и целей применения, сокращения количества операторов и эксплуатационных расходов. В результате производители объявили о формировании нового поколения DCS, характерными чертами которого являются:

ориентация на поддержку современных технологий выполнения процессов переработки сырья технологическим оборудованием;

высокие функциональные возможности по управлению процессами;

высокая надежность;

архитектура на основе комбинирования высоко функциональных PLC и ПЭВМ и дублирования полевых шин серийного производства с унифицированными и стандартизованными протоколами.

**7. Особенности интеграции управления процессами MES-уровня.** Рост значимости процессов MES-уровня (Manufacturing Execution Systems), и, прежде всего, процессов диспетчеризации обусловлен тем, что в условиях автоматизированного предприятия диспетчер, обладая оперативной и достоверной информацией по всем аспектам производства, получает возможность осуществлять управляющие воздействия на технологические объекты управления (через операторов), исходя из обстановки по предприятию в целом.

На фоне повышения надежности и роста функциональных возможностей DCS происходит и *преобразование функций операторов* технологического оборудования – переход от задач контроля состояния технологического объекта и установления/поддержания заданных режимов его функционирования к задачам оперативной оптимизации в контексте выполнения заданного производственного плана (операторная становится "production center", "производственным центром").

Благодаря достижениям современных средств телекоммуникации и возможностям DCS и с учетом вышеизложенного происходит постепенный переход к *централизованному размещению* органов технологического управления и оперативного управления производством, их территориальная концентрация в виде единого производственного центра предприятия.

Интеграция управлений MES-уровня ведет к переосмыслению роли данных, информации и знаний в управлении предприятием, состоящей в осознании важности сбора и

накопления данных мониторинга и управления, применении современных методов анализа данных для решения управленческих задач.

**Заключение. Состояние процессов интеграции АСУ на предприятиях промышленности.** Следует заметить, что современное состояние АСУ ТП отечественных промышленных предприятий связано с процессом реконструкции, в частности с переводом парка АС предприятий на безщитовое управление технологическими установками. Для сегодняшнего состояния АСУТП характерно наличие множества разнородных локальных АС, решающих широкий спектр задач мониторинга и управления, от различных производителей (в основном зарубежных).

АС, относящиеся к АСУТП, подразделяются на *информационные системы* (ИС) и *распределенные системы управления* (PCY), участвующие в управлении конкретными технологическими объектами (установками, оборудованием). Согласно принятой терминологии, к распределенным системам управления относятся автоматизированные системы (класса DCS/SCADA), обеспечивающие сбор, обработку и хранение информации, а также осуществляющие управляющие воздействия на конкретном технологическом объекте. ИС отличаются от PCY отсутствием возможности выдачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

По отношению к множеству АСУТП со стороны АСУП имеется как определенная необходимость в получении результатов мониторинга технологических процессов, значимых для решения управленческих задач в АСУП (центральное место среди которых занимает расчет материального баланса), так и возможность обеспечения передачи сведений от АСУТП в АСУП посредством предоставления коммуникационных ресурсов вычислительной сети АСУП.

В этих условиях предприятия осуществляют комплекс работ по интеграции АС, входящих в АСУТП, как вертикальной информационной, технической и программной интеграции, причем обеспечение информационной интеграции при таком подходе является первичным. Данное решение призвано обеспечить удовлетворение потребностей АСУП в результатах мониторинга, выполняемого АСУТП, и в то же время осуществить программно-информационную "развязку" АСУП и АСУТП (на аппаратном уровне), крайне важную с позиций обеспечения работоспособности и безопасности функционирования АСУТП. Суть развязки заключается в односторонней передаче требуемых сведений в АСУП без предоставления возможностей непосредственного обращения ее пользователей к ресурсам АС, входящим в состав АСУТП. Тем самым на предприятиях стала создавать-

ся АСУ ТП верхнего уровня, обеспечивающая трансфер данных от ряда АС, составляющих АСУ ТП нижнего уровня, к потребителям этих данных в АСУП.

#### Литература:

1. Гершберг А. Ф., Мусаев А. А., Нозик А. А., Шерстюк Ю. М. Концептуальные основы информационной интеграции АСУ ТП нефтеперерабатывающего предприятия. – СПб: Альянс-строй, 2003. – 128с.
2. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Автоматизированные системы. Термины и определения // Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 144с.
3. Информационные системы: Уч. пособие для студентов вузов по специальности 071900 - "Информационные системы в экономике" / Под ред. В. Н. Волковой, Б. И. Кузина. - СПб.: СПбГТУ, 1998. - 213с.
4. Куцевич И. В. Инструментарий для интеграции разнородных подсистем. - Мир компьютерной автоматизации, 2000, № 1, с. 33-37.
5. Леньшин В., Синенко О. Интеграция на пути повышения эффективности предприятия. - Мир компьютерной автоматизации, 2000, № 1, с. 12-16.
6. Любашин А. Н. Системная интеграция и системный консалтинг. - Мир компьютерной автоматизации, 2000, № 1, с. 55-59.
7. Методы разработки интегрированных АСУ промышленными предприятиями / Г. М. Уланов, Р. А. Алиев, В. П. Кривошеев. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320с.
8. Славин Р. Единственный путь повышения эффективности производства – интеграция "снизу вверх". - Мир компьютерной автоматизации, 2000, № 1, с. 17-22.