



ВВЕДЕНИЕ

В этом номере журнала обсуждается актуальная и востребованная на практике тема построения единого информационного пространства предприятия, начиная от уровня ТП и до планирования и управления предприятием в целом. Актуальность и своевременность поднятой темы подтверждается активностью авторов и разнообразием рассматриваемых в статьях теоретических и практических вопросов. Все поступившие по данной теме материалы условно можно разделить по направлениям:

- обзоры: современное состояние, проблемы, перспективы и стандарты интеграции многоуровневых информационных производственных систем (авт. *Яковис Л.М.; Решетников И.С. и др.*);

- информационные системы уровня MES (авт. *Шопин А.Г. и др.; Постников В.А.; Спириин К.Ю.*);

- об эффективном использовании ЕАМ систем (авт. *Кац Б.А.; Шурыгин А.Н.*);

- применение систем оптимизационного планирования (*Раздел "Применение средств автоматизации"*, авт. *Хохлов А.С. и др.*);

- информационные сети промышленного предприятия и их интеграция с технологическим оборудованием (*Раздел "Технические средства автоматизации"*, авт. *Зубов С.А.; Хухманн А. и Корф С.; Гришин А.В.*).

МНОГОУРОВНЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ (СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ)

Л.М. Яковис (СПбГПУ)

Анализируются современное состояние, проблемы и перспективы разработок в области многоуровневого автоматизированного управления производством. Более подробно рассматриваются системы классов MES и АСУТП. Основное внимание сконцентрировано на вопросах повышения "интеллектуального уровня" автоматизированного управления.

Ключевые слова: управление производством, АСУТП, MES, многоуровневая система, оперативное управление.

Автоматизированному управлению производственными процессами на основе вычислительной техники всего 50 лет, но тем, кто трудится на этой ниве, есть, чем гордиться. Главный итог — автоматизированное управление производством из красивой игрушки, некоего дописка к самому производству, превратилось в его неотъемлемую часть, без которой немислимо нормальное функционирование современного предприятия. Если сравнить производство с человеческим организмом, то система автоматизированного управления, безусловно, должна играть роль такого ответственного органа, как мозг. И поскольку мозг, как известно, находится в голове, то, стало быть, система управления призвана играть головную, то есть главную роль. Следует, однако, признать, что современные АСУ далеко не всегда соответствуют своему высокому призванию и все еще большей частью играют относительно подсобную роль. Цель данной работы — попытаться выделить некоторые общие черты и тенденции в пестром мире промышленной автоматизации, сформулировать некоторые общие проблемы и наметить некоторые пути их решения.

Управление современным производством как многоуровневая иерархическая система

Характерной особенностью предшествующих работ по автоматизации производства являлось независимое рассмотрение отдельных задач контроля и управления и построение соответствующих человеко-машинных систем. Вместе с тем известно, что для эффективного управления сложными системами, к которым, безусловно, относятся современные крупные предприятия, необходим переход к иерархическим системам управления с обязательным согласованием целей управления

*Если наш многотысячный разум
Напряженье ослабил бы вдруг,
Все дисплеи померкли бы разом,
Все бы сети повалились вокруг.*

между уровнями иерархии. Указанное согласование целесообразно осуществлять путем интеграции информационного, математического, организационного и технического обеспечений отдельных подсистем в рамках единой системы, исходя из целостного представления о производственной, финансовой и организационной деятельности предприятия или холдинга. Такие системы принято называть интегрированными автоматизированными системами управления (ИАСУ). Целью функционирования ИАСУ является согласованное управление производственными и организационно-экономическими процессами предприятия или объединения, направленное на выполнение установленной производственной программы и достижение наилучших технико-экономических показателей в целом.

Создание подобных ИАСУ — очень сложная перспективная проблема, к ее решению следует приближаться постепенно. К настоящему времени достигнуты значительные успехи в области информационной интеграции, то есть разработки компьютерных систем, обеспечивающих широкие возможности быстрого обмена необходимой информацией и представления ее различным службам в форме, наиболее удобной для принятия рациональных решений по планированию и оперативному управлению. В дальнейшем будет неуклонно повышаться доля участия вычислительной техники в разработке и реализации таких решений.

Типичная структура ИАСУ современного крупного производства может быть представлена в виде пирамиды (рис. 1).

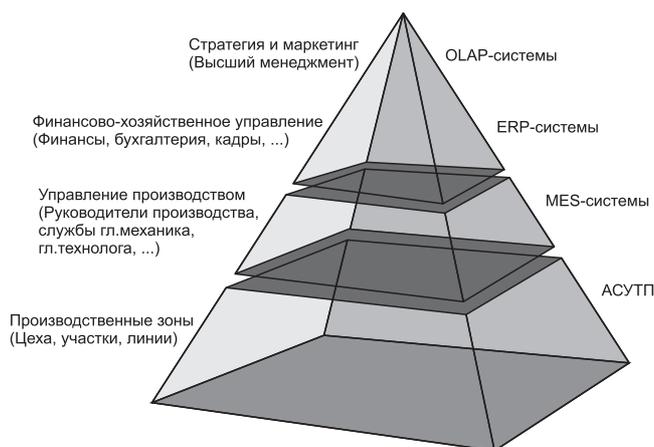


Рис. 1. Структура современной ИАСУ

Информатизация проникает на производство одновременно с двух сторон — "сверху" и "снизу". "Сверху" (в штаб-квартире холдинга и в заводууправлении) создаются информационные структуры, отвечающие за работу предприятия и объединения в целом. Это автоматизация бухгалтерского учета, управление финансами и материально-техническим снабжением, складская логистика, организация документооборота. Подсистемы данного уровня образуют автоматизированную систему управления предприятием (АСУП или ERP — Enterprise Resource Planning system). Наиболее известными и мощными интегрированными системами такого рода являются R/3 фирмы SAP, отечественные "Галактика", "Парус", "1С — производство". Автоматизированные рабочие места (АРМ), оснащенные ПК, связываются в сеть, и таким образом обеспечивается коллективное пользование и обмен информацией внутри и между различными отделами заводууправления, а также между отдельными предприятиями и интегрирующими службами объединения предприятий. На самом верху управленческой пирамиды помещаются системы для управленцев высокого ранга (OLAP — On-line Analytical

Processing). Они предоставляют разнообразные возможности формирования аналитических отчетов по данным систем более низкого уровня.

"Снизу" (в цехах) информация от датчиков используется для непосредственного управления производственным процессом с помощью различных устройств связи с объектами, контроллеров и промышленных компьютеров. Это нижний уровень управления, где замыкаются самые "короткие" контуры управления производством. Поток информации от датчиков поступает также на вход АРМ операторов ТП (SCADA-системы). На этом уровне принимаются тактические решения по управлению ТП, направленные на оптимизацию их режима и поддержание стабильности технологических показателей.

Очевидно, что первичная информация из цехов должна "доводиться" до верхнего уровня, уровня принятия стратегических решений. Очевидно также, что необходима надлежащая обработка потока "сырых" данных, заключающаяся в агрегировании информации о ходе ТП в виде аналитических сводок с усредненными показателями. Необходимым связующим звеном задач АСУТП и АСУП выступает сравнительно новый и быстро прогрессирующий класс средств управления производством — MES (Manufacturing Execution Systems) или в отечественной терминологии — систем оперативного управления. Упорядоченная на этом уровне и обработанная информация о ходе производственных процессов, а также формируемая на ее основе экономическая информация становятся доступными верхнему эшелону управления предприятием и холдингом в РВ и в привычной для него форме.

В качестве типичного примера на рис.2 представлена укрупненная схема ИАСУ цементного производства [1].

Заметим, что границы разных уровней управления достаточно условны. Например, на рис. 2 АРМ персонала главного механика и энергетика отнесены к верхнему уровню, но они же в части своих оперативных функций могут быть отнесены и к среднему уровню

оперативно-диспетчерского управления, то есть к системам типа MES. То же относится к АРМ технологов-операторов, то есть SCADA-системам, которые в отношении функций архивирования информации в агрегированной форме примыкают к среднему уровню, хотя по другим показателям могут быть отнесены к нижнему уровню — АСУТП.

Состав и типовые функции иерархической системы управления производством

Учитывая, что к собственно производственным процессам наиболее близки нижние этажи иерархической пирамиды, остановимся подробнее на системах типа АСУТП и MES. При всем разнообразии сырьевой базы, особенностей технологии и

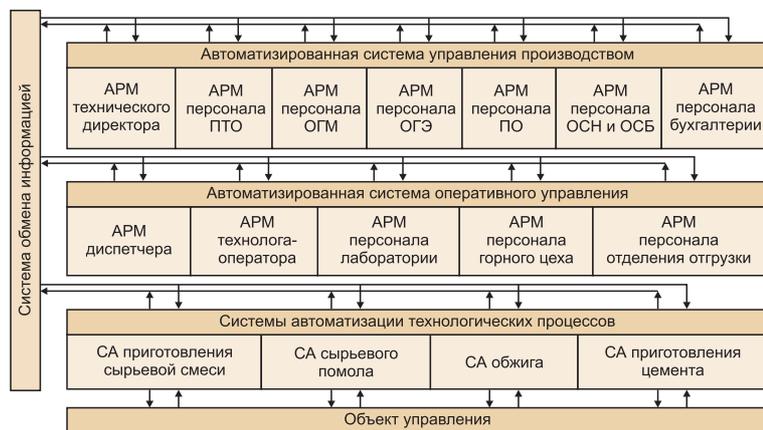


Рис. 2. Укрупненная схема ИАСУ цементного производства, где СА — система автоматизации, ПТО — производственно-технический отдел, ОГМ и ОГЭ — отделы главного механика и главного энергетика, ОСН и ОСБ — отделы снабжения и сбыта

технического оснащения предприятий различных отраслей производства автоматизированные системы каждого из этих уровней имеют много общего по своей структуре, назначению и функциям.

Состав и функции АСУТП. Обычно АСУТП современного производства имеет цеховую структуру, то есть представляет собой совокупность подсистем, каждая из которых обслуживает соответствующий ТП. Например, основными подсистемами АСУТП цементных заводов в соответствии с технологической структурой цементного производства традиционно являются:

- АСУТП сырьевого передела, осуществляющая контроль и управление дозированием и измельчением в ходе ТП приготовления сырьевой смеси с требуемыми показателями химического и фракционного состава;
- АСУТП передела обжига, осуществляющая контроль и управление термообработкой сырьевой смеси в ходе процессов получения цементного клинкера с заданными физико-химическими показателями;
- АСУТП цементного передела, осуществляющая контроль и управление процессом приготовления цемента с заданными физико-химическими показателями из клинкера и добавок в ходе одновременных процессов смешивания и измельчения.

В общем случае АСУТП отдельными участками производства имеют структуру, показанную на рис. 3. В соответствии с приведенной схемой подсистемы цехового уровня выполняют типовые функции:

- контроля основных параметров соответствующих ТП по показаниям датчиков с представлением данных контроля технологам-операторам в виде экранных мнемосхем или таблиц;
- диагностики нештатных ситуаций, регистрации их в архиве и оперативного вывода в виде соответствующих сообщений технологам-операторам;
- оптимизации режима ТП и стабилизации ТП в окрестности заданного режима;
- ситуационного управления при значительных отклонениях от номинального режима;
- непосредственного цифрового и дистанционного (силами технологгов-операторов) управления основными агрегатами соответствующих технологических участков;
- ведения архивов по всем контролируемым параметрам с возможностью их визуализации в виде графиков и сводок, обмена данными с другими подсистемами того же и более высокого уровня.

Специфические функции АСУТП определяются особенностями технологии и оборудования различных предприятий, однако и они могут подлежать определенной типизации. Так, типовые решения для АСУТП сырьевых переделов цементных заводов могут формироваться в зависимости от способа производства цемента (сухой, полусухой или мокрый), используемой схемы приготовления сырьевой смеси (порционная, полупоточная и поточная) и типа используемых измельчительных агрегатов (шаровые, валковые или роликовые мельницы, открытый или замкнутый тип измельчения).



Рис. 3. Обобщенная структура АСУТП, где УВК – управляющий вычислительный комплекс, КТС – комплекс технических средств

Состав и функции систем оперативного управления производством (MES). По сути, системы класса MES представляют собой совокупность информационно-связанных АРМ управленческого технического персонала предприятия. Технической основой для их реализации обычно служат ПК и локальная вычислительная сеть предприятия.

К АСУТП основных участков производства территориально и по функциям примыкают АРМ начальников соответствующих цехов. К их функциям относится формирование сменных, суточных, месячных отчетов о технико-экономических показателях (ТЭП). Сводки ТЭП содержат сведения о выработке, среднечасовой производительности, коэффициенте использования, числе пусков/остановов, удельном расходе электроэнергии, тепла и сжатого воздуха, усредненных показателях ТП по каждому агрегату и подразделению в целом. Статистика ТЭП предоставляет эксплуатационному персоналу и администрации цехов информацию для сравнительной оценки бригад, агрегатов, режимов ТП, составления и корректировки графиков ремонтных работ.

Более специфичны и разнообразны функции общезаводских технических управленческих структур, к которым можно отнести технического директора и его заместителей, диспетчера завода, лабораторию (часто совмещаемую с ОТК), а также службы главного технолога, главного механика, главного энергетика. Вместе с тем, и здесь, *несмотря на смысловое различие решаемых задач, возможна типизация как функций, так и программно-алгоритмических решений*, так как с информационной точки зрения все они сводятся, главным образом, к ведению БД и определенной их обработке. Общими для АРМ разного типа являются следующие функции:

- создание и ведение БД, ориентированных на конкретного пользователя, включая возможности поиска и выделения фрагментов информации по заданным пользователем условиям;

- статистическая обработка информации, включающая расчеты суммарных, средних, максимальных, минимальных значений переменных, среднеквадратических значений переменных, построение гистограмм, диаграмм и других графических представлений статистических данных;

- выполнение всех необходимых расчетов, включая подведение итогов за разные промежутки времени и определение числа выходов переменных за границы нормативов;

- автоматизированное формирование сводок, отчетов и иной документации;

- обмен данными с другими АРМ, а также с подсистемами АСУТП и АСУП.

Разработка АРМ с соответствующим приведенному перечню функциональным наполнением позволяет охватить самые разные технические задачи. Например, для цементного производства – это многовариантные расчеты многокомпонентных сырьевых смесей, прогноз активности клинкера и цемента (лаборатория), расчет материального и теплового баланса печей и составление графиков догрузок и перегрузок мельниц (служба главного технолога), построение математической модели месторождения, подсчет объемов добычи и картирование карьеров (геолого-маркшейдерская служба) и т.д.

Следует отметить, что в силу большей в сравнении с АСУТП "отдаленности" систем класса MES от конкретных технологических особенностей различных предприятий они в большей мере подлежат типизации и унификации. Так, в основе системы управления качеством любого предприятия лежит оперативный контроль характеристик разнообразных материалов на всех стадиях производства, обычно осуществляемый производственной лабораторией. В силу этого одним из основных направлений разработок систем среднего уровня являются *комплексы АРМ персонала производственных лабораторий или, иначе говоря, системы оперативного контроля, учета и анализа качества сырья, полупродуктов и готовой продукции* [2].

Для полного представления о текущем состоянии производства не достаточно знать показатели качества исходных материалов, полупродуктов и готовой продукции. Необходимо также иметь оперативную информацию о количественных показателях и маршрутах материальных потоков. В отсутствие информационных компьютерных систем данные о поставках материалов, выработке продукции и режимных параметрах процессов заносятся в сменные журналы мастеров соответствующих участков производства и плохо поддаются комплексному анализу. Вследствие сказанного вторым важным направлением деятельности в области MES является *разработка комплексов АРМ производственного персонала, призванных осуществлять сбор и хранение данных о движении материальных потоков в процессе производства* [3].

Все технико-экономические показатели ТП существенным образом зависят от состояния и беспере-

бойного функционирования сотен единиц механического, энергетического, метрологического и других видов оборудования. *Автоматизированный учет оборудования предприятия, контроль и планирование его ремонтного обслуживания* является еще одним важным направлением работ в области информационных компьютерных технологий на производстве.

Таким образом, разработки уровня MES обычно ведутся в русле трех основных направлений (www.techsoft.ru):

- оперативный контроль, учет и анализ качества сырья, полупродуктов и готовой продукции;

- сбор и хранение данных о движении материальных потоков в процессе производства;

- паспортизация оборудования предприятия, учет и планирование ремонтного обслуживания.

Проблемы многоуровневого управления производством

Поскольку, как было показано, при всем многообразии сфер применения многоуровневые системы управления современным производством имеют много сходного, то имеют общий характер и возникающие здесь проблемы. Представляется, что наиболее значимая из таких проблем – (да простит меня читатель за невольную игру слов) низкий "интеллектуальный уровень" многоуровневых автоматизированных систем. На заре автоматизированного управления производством это легко можно было объяснить сложностью задач и слабыми возможностями управляющей вычислительной техники, однако при современных успехах компьютерных технологий наблюдаемое поныне "интеллектуальное отставание" кажется парадоксальным явлением. Попробуем разобраться в этом феномене на примере двух нижних уровней системы автоматизированного управления производством.

Современное состояние и проблемы АСУТП. Большая часть современных АСУТП реализуют функции текущего контроля многочисленных показателей ТП и представления информации о процессе технологам-операторам в удобной для них форме. На основе данных контроля показателей осуществляется "анализ тревог", то есть выявление и предупреждение предаварийных и аварийных ситуаций. В режиме нормальной эксплуатации работают системы автоматического регулирования – в основном, это одноконтурные системы стабилизации расходов отдельных материальных и энергетических потоков.

При всей сложности реализация перечисленных функций АСУТП не требует длительного изучения особенностей конкретной технологии, а автоматизация проектирования с использованием SCADA-систем и унифицированных системотехнических решений позволяет относительно быстро и дешево решать наиболее насущные задачи контроля и управления. Гораздо труднее, дольше и дороже подняться на следующую ступень и реализовать управление не отдельными фрагментами ТП, а процессом в целом, когда задания регуляторам расходов дает не технолог-оператор, а ав-

томатическим или автоматизированным способом формирует сама система. И дело не в технических ограничениях, которые не позволяли решать столь сложные задачи в прошлом — современная быстро прогрессирующая вычислительная техника может справиться с задачами большой размерности. Основные сложности здесь обусловлены необходимостью построения математической модели ТП для учета взаимосвязей различных показателей — ведь отсутствие учета перекрестных связей при управлении многомерным объектом может вызвать существенное ухудшение качества управления вплоть до потери устойчивости. Но даже если сформирована модель процесса, проектировщиков и наладчиков АСУТП ждут трудности разработки алгоритмов управления и настройки их многочисленных параметров. Дело в том, что современная теория управления многомерными системами при всей ее мощи плохо приспособлена для учета совокупности таких типичных особенностей производственных объектов, как запаздывания, жесткие ограничения на допустимую область изменения переменных, значительные измерительные помехи, нестандартные критерии качества управления [4].

Как же справиться с перечисленными проблемами? Ведь это совершенно необходимо, так как оптимизация управляемых процессов в целом может дать значительный экономический эффект. Несмотря на разнообразие конкретных задач, все же можно наметить общий подход к их решению. Коротко говоря, он заключается в том, чтобы в отсутствие строгой теории формировать структуру алгоритмов управления на основе эвристики (то есть соединения науки с интуицией и опытом), а затем осуществлять модификацию, параметрическую оптимизацию и всестороннюю проверку полученных эвристическим путем способов управления на имитационных моделях, реализуемых с применением развитых средств компьютерной имитации динамических систем типа Matlab-Simulink [5].

На основе такого подхода в [6] показано, каким образом осуществляется приближенная декомпозиция задачи динамической оптимизации ТП на задачу квазистатической оптимизации режима процесса и задачу стабилизации ТП в окрестности оптимального режима. Оптимальный режим рассчитывается при этом с применением статической модели ТП известными методами математического программирования. Решение задачи стабилизации базируется на линеаризованной в окрестности режима динамической модели. Особенность предлагаемой схемы декомпозиции заключается в том, что при расчете режимных параметров ТП за счет так называемых страховых запасов учитывается текущий уровень нестабильности показателей процесса. Другая особенность заключается в том, что критерий задачи стабилизации формируется на объективной основе из условия максимизации суммарного экономического эффекта.

Что касается задачи стабилизации ТП, рассматриваемой в русле управления многомерным объектом с

перекрестными связями, то здесь возможны два основных подхода. Один из них восходит к оправдавшей себя практике применения типовых законов регулирования, к которым обычно относят И-, ПИ- и ПИД-регуляторы. В многомерном варианте речь идет о формировании закона управления, при котором каждое управляющее воздействие формируется по отклонениям от заданий всех стабилизируемых переменных. Пусть для стабилизации n переменных, характеризующих состояние ТП, используется n управляющих воздействий. Тогда для формирования многомерного ПИД-регулятора необходимо настроить $3n^2$ параметров. Например, при $n = 3$ число настраиваемых коэффициентов составляет 27. Теория не дает аналитических способов параметрической оптимизации многомерных типовых регуляторов, а поисковая оптимизация большого числа параметров с применением имитационного моделирования сопряжена с большими затратами времени и, как показывает опыт подобных расчетов, не гарантирует положительного результата. В таких условиях вновь приходится прибегать к упрощенным приближенным решениям. Так, предложенная в [7] методика базируется на комбинации двух способов настройки многомерных типовых регуляторов. Первый способ упрощает настройку за счет пренебрежения перекрестными связями, а второй — учитывает перекрестные связи в статике, однако упрощает структуру динамической части многомерного типового регулятора. Предлагаемая методика обладает несколькими важными достоинствами.

- Решающим образом снижается размерность задач поиска оптимальных параметров регуляторов.
- Гарантируется устойчивость замкнутой системы.
- Благодаря использованию имитационного моделирования в сочетании с поисковой оптимизацией возникает возможность настройки параметров субоптимального многомерного типового регулятора по любым инженерным критериям качества управления или их комбинациям. Например, можно выполнить расчет по интегральному квадратическому критерию, дополнив его ограничением на перерегулирование и степень затухания колебаний при отработке наиболее сложных для компенсации ступенчатых возмущений. Подобным же образом можно рассмотреть критерий минимизации длительности переходных процессов, дополнив его теми же ограничениями. При настройке регуляторов могут быть учтены также ограничения на величину управляющих воздействий [8].

Второй подход к формированию алгоритмов управления ТП связан с использованием прогнозирующих моделей. Идейная часть этого подхода была разработана в конце 70-х годов XX века И.И. Перельманом [4], однако из-за трудностей программной реализации его разработки долго не находили применения. В связи с интенсивным расширением возможностей вычислительной техники можно ожидать все большего распространения подобных методов в практике управления сложными ТП (например, [9]).

Суть подхода состоит в том, что максимально приближенная к реальному объекту модель используется при управлении ТП в двух временных шкалах. Модель РВ служит для выделения неконтролируемых возмущений, а та же модель, работающая в ускоренном времени, служит для проигрывания различных вариантов управления и выбора того из них, который наилучшим образом компенсирует спрогнозированные возмущения. Упрощения этой универсальной, но достаточно сложной в алгоритмическом отношении методики рассмотрены в [5]. В рамках доктрины APC (Advanced Process Control – "усовершенствованное управление") мощными фирмами-производителями ПО для АСУТП создается инструментарий, позволяющий ускорить и удешевить разработку подобных систем [9]. Имеется и опыт внедрения в наиболее "денежных" отраслях промышленного производства, в частности, в нефтепереработке [10].

Подход, использующий прогнозирующие модели, оправдан в вариантах, когда имеются относительно полные и устойчивые представления о динамике управляемого процесса, так как ощутимая неточность используемых моделей может вызвать расстройку системы управления. В этом отношении типовые регуляторы несколько менее притязательны. Перспективна комбинация двух рассмотренных подходов, когда для выделения возмущений используется имитация управляемого процесса в РВ, а компенсация возмущений "поручается" многомерному регулятору с типовой структурой. Примером такой комбинации является так называемый многомерный упредитель Смита [11].

Центральную роль в управлении ТП, как явствует из предыдущего, играют математические модели процессов. Однако в силу сложности физико-химических явлений, происходящих при переработке исходного сырья в готовую продукцию, эти модели всегда более-менее не точны и изменчивы. С данным обстоятельством связаны проблемы робастности (то есть сохранения работоспособности системы при неточных моделях) и адаптивности (то есть уменьшения неопределенности в процессе работы системы) алгоритмов управления ТП. Говоря об этих проблемах, следует отметить, что все методы управления с обратной связью, по самой своей сути, учитывают некоторую неопределенность представлений об управляемом объекте, и классическая теория, предполагая неопределенность достаточно малой, преодолевает ее за счет создания достаточного запаса устойчивости. Вместе с тем, для многих ТП это предположение не выполняется, и тогда от классики необходимо переходить к современной теории управления. К сожалению, она достаточно сложна и опять-таки не дает решения специфических задач управления ТП. Вероятно и здесь перспективными являются разработки инженерных методов эвристического характера, проверяемых имитационным моделированием и практикой.

Что касается адаптивности, то представляется, что наряду с безусловно заманчивой, но сложной для ре-

ализации идей уточнения модели процесса в режиме нормальной эксплуатации, может найти применение более практичная схема "робастно-адаптивного" управления. Она заключается в том, что при обнаружении разладки в работе системы управления происходит переход от "классического" управления, (которое строится в расчете на средние значения параметров моделей), к "робастному", (которое формируется в расчете на наиболее неблагоприятные изменения параметров моделей). При обнаружении восстановления параметров процесса в окрестности номинальных значений осуществляется обратный переход к управлению с "классическими" настройками.

Несмотря на красивое звучание современных и модных терминов "робастность" и "адаптивность" не следует забывать, что за ними обычно скрывается. Так, "робастность", как правило, влечет ослабление настроек регуляторов с целью повышения "осторожности" при выработке управляющих воздействий в условиях неопределенности. Слабое управление, в свою очередь, не обеспечивает качественную стабилизацию характеристик ТП. Следствием этого является необходимость удаляться от границ допустимых областей изменения показателей процесса и терпеть соответствующие экономические потери. Например, цементникам из-за "болтанки" активности производимого цемента приходится увеличивать запас по марке, уменьшая долю дешевого шлака и увеличивая долю дорогостоящего клинкера. Обследование фирмы Honeywell (одного из мировых лидеров в области разработки АСУТП) показало, что лишь около трети всех контуров управления работает в нормальном режиме, в то время как остальные – с ослабленными настройками или практически разомкнутыми обратными связями [12]. В этом плане более радикальное решение проблем повышения качества управления, а в итоге – проблем повышения экономической эффективности управления производственными процессами лежит на пути совместной разработки объектов и систем управления, что применительно к управлению ТП означает системное проектирование автоматизированного оборудования и, шире, – автоматизированных технологических комплексов (АТК). Не углубляясь в эту самостоятельную тему, приведем лишь аналогию. Всем известно, что гораздо разумнее не болеть, чем лечиться. Применительно к задачам промышленной автоматизации это, в частности, означает стремление к проектированию технологических объектов с малым запаздыванием, стабильными параметрами, по возможности, слабыми перекрестными связями. Для таких объектов всегда проще, быстрее и дешевле разработать эффективную систему управления ТП. С некоторыми методами и опытом системного проектирования АТК цементного производства можно ознакомиться по книге [13].

Современное состояние и проблемы MES. Сейчас на рабочем столе каждого специалиста стоит ПК. При этом хранение и представление используемых специалистами данных, а также требуемые расчеты чаще

всего осуществляются с применением "самодельных" электронных таблиц. Они, как правило, формируются средствами пакета Excel, входящего в состав стандартных программных средств MS Office. Excel не требует специальной IT-поддержки и хорошо известен многим пользователям "персоналок", однако этот замечательный инструмент предназначен для индивидуальной работы, а не для ведения коллективной БД. По этой причине системы уровня MES нередко представляют собой совокупность не связанных между собой АРМ. На более продвинутых предприятиях используются специализированные программные продукты коллективного пользования. К ним, в частности, относятся системы, выделившиеся в самостоятельный класс LIMS (Laboratory Information Management System), то есть системы управления лабораторной информацией. Это, например, такие мощные программные продукты, как LabWare LIMS (www.labware.ru) и SIMATIC IT Unilab (www.automation-drives.ru/as/products/simatic_it/unilab). Их отличительными особенностями являются современная архитектура, исчерпывающая функциональность и беспрецедентная гибкость настроек. Они обладают широкими возможностями интеграции с другими информационными системами. Сходные по универсальности системы класса EAM (Enterprise Asset Management – системы управления основными фондами) разрабатываются для паспортизации и учета технического и ремонтного оборудования предприятий (например, система iMaint www.imaint.ru/downloads). Тем не менее, при всех этих достоинствах сфера применения фирменных программных продуктов уровня MES на отечественных предприятиях весьма узка. Дело в том, что за "исчерпывающую функциональность и беспрецедентную гибкость" приходится дорого платить. Кроме того, овладение любым сложным инструментом требует весьма высокой культуры общения с компьютером, а она, большей частью, не свойственна производственному персоналу отечественных заводов. И, наконец, при всей универсальности покроя нередко оказывается более подходящим костюм, сшитый по фигуре. Альтернативные и, как представляется, перспективные решения состоят в том, чтобы, в условиях ограниченных материальных ресурсов, не гонясь за универсальностью, ограничиться разработкой и внедрением систем типа MES отраслевого характера [2]. При этом следует реализовать не максимальный, а скорее минимально необходимый набор функций, "привязанных" к практике конкретной отрасли и конкретного предприятия. Это, однако, не значит, что каждую такую разработку надо начинать "с нуля". Наоборот, чтобы сократить сроки создания систем для конкретных отраслей и предприятий следует использовать общие подходы, нанизывая конкретные детали на единый для всех систем "каркас".

Что же является общим "каркасом" MES-систем? Наряду с методами разработки БД это – методы уг-

лубленного статистического анализа и принятия решений. Речь идет о методах и программных средствах:

- статистической обработки данных для построения экспериментально-статистических моделей и проверки статистических гипотез;
- имитационного моделирования ТП для проигрывания различных производственных ситуаций;
- поисковой и аналитической оптимизации для выбора и расчета наиболее рациональных вариантов;
- формирования решений на основе анализа экспертных оценок.

Применяемые в совокупности, эти методы позволяют вывести внедряемые MES-системы из разряда информационных в разряд информационно-аналитических систем, а также систем оперативного управления. С помощью таких систем смогут успешно решаться задачи не только:

- учета, но и оперативного распределения ресурсов (как материальных, так и людских);
- фиксации выходов показателей за границы допусков, но и формирования этих допусков в зависимости от текущих показателей стабильности переменных;
- учета запасов материалов и запасных частей для оборудования, но и управления запасами;
- учета маршрутов материальных потоков, но и управления этими потоками;
- учета ремонтов оборудования, но и составления расписания плановых ремонтов с учетом текущего состояния оборудования и ресурса ремонтных служб.

Примеры реализации программных продуктов, обеспечивающих разработчика разнообразными средствами создания MES, можно найти в работе [14].

Как уже упоминалось, необходимым свойством эффективных иерархических систем является взаимодействие подсистем разных уровней. Связующим звеном между верхними и нижними этапами системы управления производством являются MES, поэтому именно здесь сконцентрированы *проблемы информационной интеграции*. Приведем примеры межсистемных связей. MES контроля качества, состояния оборудования и прослеживания маршрутов материальных потоков получают текущую информацию с нижнего уровня управления, то есть от АСУТП. С другой стороны, технологи-операторы в цехах должны получать оперативную информацию о качестве поступающих к ним материалов из заводской лаборатории, то есть с уровня MES. Для расчета материальных балансов и межпередельческих запасов управленческие структуры верхнего уровня, обслуживаемые АСУП, используют агрегированную информацию, поступающую в виде отчетных сводок из цехов, то есть от подсистем уровня MES. Системы оперативного управления распределяют материальные потоки (задачи многокомпонентного смешивания или, наоборот, разделения) в соответствии с заданиями плановых служб, "пускаемых" из соответствующих подсистем АСУП соответствующим подсистемам уровня MES.

Серьезные трудности при организации многочисленных информационных потоков между подсистемами одного и разных уровней возникают из-за так называемой "лоскутной" автоматизации, когда разные подсистемы разрабатываются разными организациями, использующими разные программно-технические средства. В последние годы для преодоления сложностей стыковки крупные разработчики автоматизированных систем стремятся к охвату своими программно-техническими решениями всех уровней управления, то есть АСУП, MES и АСУТП или двух соседних уровней [14]. Этот путь, однако, не является универсальным. Во-первых, внедрение таких систем подразумевает автоматизацию "с нуля", в то время как на большинстве предприятий система автоматизированного управления создавалась в течение длительного времени разными исполнителями с использованием разного инструментария. Во-вторых, большие преимущества при разработке АСУ может иметь учет отраслевой специфики, а это требует привлечения различных организаций, специализирующихся на разработке систем определенного класса для определенных отраслей производства.

По названным причинам имеют перспективу подходы к проблеме информационной интеграции, базирующиеся на тех или иных технологиях рационально организованной стыковки различных систем. В качестве примера можно привести идею перекрываемости для БД. Ее суть состоит в том, что различные системы с автономными БД содержат часть данных в одинаковом формате. Это дает возможность обмениваться данными с использованием копирования без их преобразований [15].

Представляется, что вполне возможен и третий путь. Если службы ИТ или АСУТП предприятия или холдинга ранее выбрали определенную программно-техническую платформу и необходимо "наращивать" существующую систему связующими подсистемами уровня MES, то для создания этих подсистем создаются коллективы, включающие с одной стороны специалистов, хорошо разбирающихся в предметной области (и, возможно, не знакомых со специфической для них платформой), и с другой стороны — специалистов по программированию и системотехнике, имеющих опыт разработок на выбранной платформе (и, возможно, не знакомых со спецификой предметной области).

Заключение

Представленные в данной работе материалы и размышления нацелены на то, чтобы попытаться выделить некоторые общие черты и тенденции в пестром мире промышленной автоматизации, сформулировать некоторые общие проблемы и наметить некоторые пути их решения. Отметив несомненные успехи

совсем молодой по историческим меркам, но уже прочно вставшей на ноги области человеческой деятельности, каковой является автоматизированное управление современным производством, автор хотел заострить внимание разработчиков и пользователей на проблемах повышения "интеллектуального уровня" многоуровневых автоматизированных систем. Думается, что от успешного решения этой сложной задачи в немалой степени зависит престиж как науки, так и практики управления.

Список литературы

1. *Дороганич С.К., Штенгель Э.Г., Яковис Л.М.* Интегрированное управление цементным производством // Цемент. 1997. №3.
2. *Яковис Л.М.* Информационно-аналитические системы для производственных лабораторий // Автоматизация в промышленности. 2008. № 9.
3. *Дедегкаев А.Т., Яковис Л.М.* Опыт разработки информационно-аналитических систем технологического прослеживания // Там же. 2007. № 9.
4. *Перельман И.И.* Динамическая оптимизация в АСУ ТП на базе алгоритмов условного прогнозирования // Автоматика и телемеханика. 1978. № 9.
5. *Яковис Л.М.* Имитационное моделирование — ключ к решению задач управления сложными технологическими процессами // Автоматизация в промышленности. №7. 2006.
6. *Яковис Л.М.* Как сблизить теорию и практику управления технологическими процессами // Сб. докладов 4-й Всероссийской конфер. "Управление и информационные технологии". СПб, 2006.
7. *Яковис Л.М.* Простые способы расчета типовых регуляторов для сложных объектов промышленной автоматизации // Автоматизация в промышленности. 2007. № 6.
8. *Яковис Л.М., Спорягин К.В.* Настройка типовых регуляторов для многосвязных объектов управления // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2009. №6.
9. *Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В.* АРС — усовершенствованное управление технологическими процессами // Датчики и системы. 2005. № 10.
10. *Розенберг Л.С., Рудяк К.Б. и др.* Повышение эффективности работы установки первичной переработки нефти с помощью системы усовершенствованного управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2007. № 2.
11. *Рей У.* Методы управления технологическими процессами // М.: Мир. 1983.
12. *Штейнберг Ш.Е., Сережин Л.П. и др.* Проблемы создания эксплуатации эффективных систем регулирования // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. №7.
13. *Яковис Л.М.* Многокомпонентные смеси для строительства. Расчетные методы оптимизации состава // Л.: Стройиздат. 1988.
14. *Подъяпольский С.В., Родионов А.В., Соркин Л.Р.* Распределенная система управления нового поколения Exregion PKS фирмы Honeywell // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. №9.
15. *Киселев А.Г.* ERP-система промышленного предприятия: разработка, внедрение и концепция развития // Информационные технологии. 2005. №2.

Яковис Леонид Моисеевич — д-р техн. наук, проф. Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Контактные телефоны: (812) 759-71-21, 950-49-39. E-mail: leonid@yakovis.com