



ВВЕДЕНИЕ

На страницах журнала «Автоматизация в промышленности» ежемесячно уже ровно 10 лет обсуждаются актуальные для отечественной промышленности вопросы, связанные с развитием комплексных систем автоматизации, алгоритмического и программного обеспечения, технических средств автоматизации. За 10 лет в журнале было опубликовано 120 тематических подборок, отражавших реальную ситуацию по оснащению средствами и системами автоматизации предприятий различных отраслей промышленности, намечавших вектор развития рынка промышленной автоматизации и знакомивших читателей с передовыми научно-техническими разработками.

Прошедшее десятилетие ознаменовано появлением целого ряда значимых для промышленной автоматизации технологий, без которых на сегодняшний момент уже трудно представить современный проект по автоматизации предприятия.

Выделим условно 10 ключевых событий рынка промышленной автоматизации, появившихся и утвердившихся в период 2003–2012 гг.

1. Усовершенствованное управление ТП.
2. Интеллектуальные приборы*.
3. Единое информационное пространство предприятия.
4. Системы класса MES*.
5. Использование элементов Internet-технологий в промышленной автоматизации.
6. Облачные вычисления*.
7. Беспроводная связь.
8. Промышленные решения на базе Ethernet.
9. Технология SMART GRID.
10. Встраиваемые и мобильные технологии*.

В юбилейном номере журнала вниманию читателей предлагаются: обзоры стандартов в области беспроводных сетей и решений Ethernet, вопросы безопасности при использовании Internet-технологий, основы и история развития усовершенствованного управления ТП (APC) в мире и в России, анализ основных тенденции в области интегрированного управления современным производством и анализ современного состояния рынка «интеллектуальных» сетей. Темы, помеченные звездочкой, будут рассмотрены в отдельных выпусках журнала в 2013 г.

Усовершенствованное управление технологическими процессами (APC): 10 лет в России

В.М. Дозорцев (ЗАО «Хоневелл»), Э.Л. Ицкович (ИПУ РАН),
Д.В. Кнеллер (ЗАО «Хоневелл»)

Рассмотрены основы и история развития усовершенствованного управления ТП (APC) в мире и в России. Отмечены особенности реализации APC-систем на отечественных предприятиях. Дан прогноз развития APC на ближайшие годы.

Ключевые слова: технологический процесс, усовершенствованное управление, математическая модель, управление на основе прогнозирующей модели.

Краткое введение

Об усовершенствованном управлении ТП написано много — в основном за рубежом, где на эту тему существует даже специализированный Internet-портал (www.apc-network.com). В России первые публикации появились в начале 2000-х гг., в последнее время их число растет. Тем не менее, приходится с сожалением констатировать недостаточную информированность нашего промышленного сообщества (и в первую очередь технологов-производственников) об этом перспективном направлении промышленной автоматизации, давно подтвердившем свою эффективность в мире, а с недавних пор — и на российских предприятиях.

Под усовершенствованным управлением ТП (в мировой и, отчасти, российской литературе принят термин «APC» от английского наименования Advanced Process Control) понимают набор математических

методов и программно-алгоритмических средств, направленных на повышение эффективности производства в результате добавления дополнительных возможностей в существующую на технологическом объекте систему управления. Подробное обсуждение основ усовершенствованного управления и, в частности, источников его рентабельности, выходит за рамки данной статьи; краткое изложение этих вопросов читатель может найти в [1] — ниже мы предлагаем лишь введение в тему.

Управление на основе прогнозирующей модели объекта

В последние годы наиболее популярным классом систем управления для сложных технологических объектов (нелинейных объектов, объектов со значительным транспортным запаздыванием, объектов с взаимосвязанными регулируемыми переменными,

объектов с множеством одновременно соблюдаемых ограничений) стала технология управления на основе *прогнозирующей модели* объекта. Идея такого управления — введение заранее построенной математической модели объекта в контур автоматического управления. В мировую практику вошел английский термин Model-based predictive control (или сокращенно Model predictive control), буквально переводимый как «Прогнозирующее управление на основе модели»; в литературе используют аббревиатуру этого термина «МРС», а также термины «многопараметрический контроллер» и «предикт-контроллер» (от английского predict — прогнозировать).

Отметим, что когда говорят «усовершенствованное управление» или APC, то почти всегда имеют в виду именно управление на основе прогнозирующей модели объекта, поскольку в силу своего широкого распространения именно МРС стало магистральным направлением APC. В этой связи, ниже под *APC-системой* будем понимать именно систему на основе МРС, хотя любой конкретный APC-проект помимо технологии МРС базируется и на других элементах современной автоматизации.

APC принадлежит к наиболее эффективным средствам автоматического управления сложными ТП и решает разнообразные задачи — от стабилизации работы объекта до его оптимизации по заданному критерию (максимуму производительности, минимуму себестоимости, минимуму удельного энергопотребления и пр.). Широко распространенной задачей стабилизации, решаемой при замене традиционных многовязных ПИД-регуляторов системой данного класса, является снижение отклонений регулируемых величин от заданных уставок, что позволяет более строго соблюдать их требуемые значения. В результате, уставки могут быть приближены к границам технологически допустимого и экономически эффективного режима. (Этот процесс называют «снятием запаса по качеству».)

Принцип работы APC-системы

В систему встроена заранее построенная по экспериментальным данным *динамическая модель* объекта по всем регулируемым величинам от всех управляющих воздействий и наблюдаемых возмущений; системе задан также критерий оценки стратегии управления (например, минимум дисперсии регулируемых величин на интервале прогнозирования). На каждом такте работы:

- система получает от КИП через РСУ текущие значения регулируемых величин и наблюдаемых возмущений и вводит их в прогнозирующую модель;
- система вычисляет по модели значения ее выходных параметров, которые в совокупности представляют собой *прогноз* поведения объекта в ближайшем будущем (этот прогноз является функцией искомых управляющих воздействий);
- во встроеном модуле линейного или квадратичного программирования по заданному критерию и с соблюдением имеющихся технических и технологических ограничений система вычисляет оптималь-

ную последовательность управляющих воздействий на определенное число тактов управления;

— если найденные управляющие воздействия на текущем такте существенно не отличаются от действующих на объекте, то система ничего не корректирует; в противном случае новые управления передаются на управляющие органы объекта.

На следующем такте управления (интервал между тактами обычно составляет от нескольких десятков секунд до 1...3 мин) описанные выше действия повторяются с учетом вновь накопленных технологических измерений.

Сопоставление реакций объекта и модели на реализуемые управляющие воздействия позволяет судить о близости модели текущему состоянию объекта. Естественно, что для правильной работы APC-системы ее модель должна насколько возможно точно соответствовать объекту. При значительном изменении характеристик объекта и условий его работы (например, при замене элементов оборудования или при существенном изменении характеристик сырья) модель должна своевременно перестраиваться.

Следует особо отметить роль, отводимую в APC-системах виртуальным анализаторам (ВА), то есть математическим моделям, описывающим зависимость величины (как правило, показателя качества продукта), не измеряемой приборами непосредственно на технологическом объекте, от других величин, измеряемых напрямую. ВА выступают как «глаза» APC-системы: ими она «видит» показатели качества, которыми должна автоматически управлять в режиме реального времени. Иного способа контролировать показатели качества у APC-системы нет, поскольку лабораторный контроль проводится в среднем не чаще 1 раза в смену, а поточные анализаторы применяются редко в силу их высокой стоимости; кроме того, они выдают показания с задержкой по времени и не всегда бывают надежны.

APC-система как многосвязный регулятор

Для ТП с существенно взаимосвязанными контурами регулирования, со многими возмущающими факторами, со значительным транспортным запаздыванием целесообразно использование APC-системы в качестве многосвязного регулятора, рассчитанного на регулирование от нескольких до десятка технологических переменных. Такая система передает вычисленные управляющие воздействия непосредственно позиционерам регулирующих клапанов, имеет достаточно малый интервал между тактами управления (порядка нескольких секунд) и поэтому может по быстродействию удовлетворить большинству ТП. APC-системы для многосвязных процессов, рассчитанные на небольшое число входов/выходов, обычно производят в виде специализированных контроллеров, встроенных в распределенную систему управления ТП (РСУ).

Многопараметрическая APC-система как задатчик ПИД-регуляторов

Широкое практическое использование получила многопараметрическая APC-система, в которой

число как контролируемых, так и управляющих переменных, в принципе, неограниченно. Такого рода APC-системы используются в виде программно-алгоритмической надстройки над PCY, определяющей задания ПИД-регуляторам системы управления ТП. Обычно они реализуются как клиент-серверная система, связывающаяся с регуляторами PCY по стандартному интерфейсу OPC. В этом случае APC-система вместе с взаимодействующими с ней ПИД-регуляторами представляет собой каскадную схему управления, где APC выступает в роли ведущего регулятора, а ПИД-регуляторы — ведомых.

В обоих вариантах использования APC-система предоставляет возможность коррекции ее функционирования: пользователь может с помощью специального параметра усилить реакцию контроллеров на имеющиеся возмущения или уменьшать величину управляющих воздействий, что замедляет скорость регулирования.

Приведенные выше описания работы APC-систем имеют качественный характер. Читатели, интересующиеся принципами и математическими основами современного усовершенствованного управления, могут обратиться к работам [2, 3].

Экономический эффект

Экономический эффект от APC традиционно подразделяется на исчисляемый (в натуральных или денежных единицах) и качественный, который количественному оцениванию не поддается. В зарубежной практике эффективность принято разделять на «твердую» (hard), то есть поддающуюся пересчету в денежный эквивалент, «мягкую» (soft), то есть не выражаемую в денежных единицах, а также «неисчисляемую» — intangible (буквально — «неосознаваемую»).

Ключевыми источниками «твердого» эффекта являются стабилизация (снижение изменчивости) технологических переменных и снижение благодаря этому запаса по качеству продукции; увеличение производительности; снижение удельного расхода энергоресурсов; уменьшение брака и увеличение выпуска более ценного продукта и пр.

В качестве «мягкого» эффекта можно отметить снижение нагрузки на оператора (выражаемое отношением числа переменных ТП, которые оператор контролирует с помощью APC-системы, к числу переменных, которые он вынужден был контролировать до ее внедрения), снижение числа вмешательств оператора в ТП (определяемое по данным электронного журнала событий соответствующей PCY), снижение потерь при сменах технологических режимов.

К источникам неисчисляемого эффекта можно отнести удобство управления, снижение износа технологического оборудования и арматуры, дополнительную ценную информацию о ТП, которую дает APC-система инженерам-технологам.

Как создают APC

Создание и внедрение APC-системы (особенно на основе технологии MPC) требует проведения

цикла проектных работ. Продолжительность APC-проекта на крупном технологическом объекте обычно составляет 7...12 мес.

Проект начинается с тщательного обследования объекта внедрения и предварительной проработки стратегии управления. На этом этапе на основе исторических данных ТП создаются предварительные модели ВА. Далее проводится так называемое предварительное тестирование объекта: по технологическим переменным, которыми будет «манипулировать» создаваемая APC-система, подаются пробные ступенчатые воздействия; последующий анализ реакций объекта позволяет выявить имеющиеся проблемы в базовом регулировании (неправильные настройки регуляторов, заедание клапанов и т.п.). Все выявленные проблемы следует, насколько это возможно, устранить: хорошо работающая система базового регулирования — фундамент APC, и этот фундамент должен быть прочным.

Далее наступает очередь *эскизного* (технического) проектирования APC-системы. Эскизный проект опирается на предварительные модели ВА и результаты предварительного тестирования. Соответствующий отчет содержит описание стратегии управления с оценкой ожидаемого экономического эффекта, основные технические решения (структуру многопараметрических контроллеров), предварительные модели ВА и предварительные решения по системной интеграции APC-системы и программно-аппаратного комплекса PCY. Представленные в отчете по эскизному проекту задачи и их решения призваны ответить на вопрос: «Что будет делать система, чтобы удовлетворить требования технического задания?». Отчет тщательно изучается и утверждается заказчиком и служит «пропуском» к дальнейшим работам.

После утверждения эскизного проекта проводится активный эксперимент на объекте («основное пошаговое тестирование») в соответствии с заранее согласованной программой. Цель основного тестирования — генерация исходных данных для построения математической модели (точнее, набора моделей, каждая из которых связывает одну входную переменную (управляющую или наблюдаемую) и одну выходную (контролируемую) будущей системы). Набор моделей интегрируется с ПО многопараметрического управления, после чего созданные программные приложения испытываются в офисных условиях на специальном динамическом симуляторе. Параллельно детально прорабатываются решения по системной интеграции PCY и APC-системы и создаются операторский и инженерный интерфейсы последней. Все разработанные модели и детальные системные решения находят отражение в *детальном* (рабочем) проекте APC-системы. Детальный проект является развитием эскизного: если первый отвечает на вопрос, *что* должна делать APC-система, то второй — *как* она будет это делать.

Согласование детального проекта является сигналом к началу работ по вводу системы в эксплуатацию.

Непосредственному включению многопараметрических контроллеров в работу предшествуют испытания, подтверждающие надежность и безопасность интеграции РСУ и APC-системы, а также подготовка инженеров и операторов к ее эксплуатации и сопровождению. Введенная в работу APC-система подвергается различным испытаниям, подтверждающим ее заявленные в техническом задании и эскизном проекте функциональные возможности. Следующий за испытаниями период опытной эксплуатации (обычно 1...3 мес.) позволяет пользователям привыкнуть к системе, инженерам сопровождения — научиться ее обслуживать, а исполнителю — провести тонкую настройку и накопить данные для анализа экономического эффекта. Проект завершается передачей заказчику рабочей документации, включающей среди прочего отчет о достигнутых результатах и рекомендации по эксплуатации и возможному дальнейшему развитию системы.

Теперь, когда описаны принципы работы и основные этапы создания APC-систем, рассмотрим историю их возникновения, проанализируем текущее состояние и попытаемся спрогнозировать будущее развитие.

Краткая история APC

Появление APC лишний раз подтверждает горькую истину об отсутствии пророков в своем отечестве. Первые пилотные, а затем и коммерческие применения APC появились в США и Западной Европе в конце 80-х — начале 90-х гг. XX века, хотя его теоретические основы были заложены в СССР намного раньше — в середине 1970-х гг., когда мировое научное сообщество осознало практическую неприменимость аналитических методов оптимального управления многосвязными объектами. В качестве «пророка APC» выступил д-р техн. наук И. И. Перельман из Института проблем управления Академии наук СССР (ныне — Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук). И. И. Перельман первым предложил алгоритм управления с использованием прогнозирующей модели ТП в замкнутом контуре и теоретически обосновал преимущества такого подхода [4]. В конце 70-х и в 80-е гг. аналогичные методы были разработаны за рубежом [5 и др.] и доведены до «ноу-хау», реализованного в виде патентованных коммерческих программных продуктов. Коммерциализации APC и началу его активного практического применения в начале 1990-х гг. промышленность обязана корпорациям Aspen Technology, Honeywell и Shell, к которым в разное время присоединились как другие крупные игроки на рынке промышленной автоматизации, так и несколько небольших «нишевых» компаний.

В СССР принципы MPC были воплощены в программный продукт, успешно примененный в 1980-х гг. для управления вращающейся печью обжига клинкера на цементном заводе, а к началу 90-х доработанный для управления отдельными химическими и металлургическими процессами; системы были реализова-

ны на базе отечественных промышленных контроллеров [6]. Дальнейшего распространения в СССР APC-системы, к сожалению, не получили в силу:

- несовершенства вычислительной техники — использование математической модели в контуре управления в режиме РВ требовало значительного объема вычислений, превышавшего ресурсы тогдашних промышленных ЭВМ и ПЛК;

- недоверия операторов к непонятной для них «слишком умной» технологии, к тому же грозившей сменить их «у руля» (при том, что в те времена такую возможность ни создатели APC-систем, ни руководство предприятий всерьез не рассматривали);

- традиционного для планово-директивной экономики отсутствия живого интереса со стороны производства к практическому применению идей академической науки даже в тех редких случаях, когда академические идеи сулили очевидную прибыль (эта традиция оказалась, к сожалению, долговечнее самой плановой экономики).

10 лет APC в России

По российской земле APC распространялось в целом теми же путями, что и за рубежом, но несколько быстрее на фоне позднего старта — в полном соответствии с известной пословицей. Как и во всем мире, первые промышленные внедрения имели место в нефтепереработке — отрасли традиционно наиболее привлекательной для APC в силу непрерывности и значительных объемов производства, большой энергоемкости и высокой стоимости продукции. Несколько крупных зарубежных фирм-поставщиков APC уже с начала 2000-х гг. с переменным успехом занимались маркетингом своих продуктов и решений, но дело тормозилось неготовностью объектов внедрения (технологические проблемы, отсутствие РСУ или техническая невозможность интеграции ее с APC-системой), недостатком финансирования и (главное!) «человеческим фактором»: скепсисом руководителей и специалистов компаний относительно реализуемости зарубежных инноваций в нелегких условиях российского производства, неверием в окупаемость проектов.

Первые контракты на создание APC-систем были подписаны в 2003 г., а в 2005 г. эти системы уже работали на нескольких нефтеперерабатывающих заводах России. Успех пилотных проектов подтолкнул особую чуткость к веяниям технического прогресса нефтяные компании к развертыванию крупномасштабных программ внедрения APC. Рецессия 2008–2009 гг. замедлила, но не остановила выполнение этих планов — более того, в период посткризисного восстановления (2010–2011 гг.) интерес к APC-системам значительно вырос, сегодня продолжает расти и охватывает другие предприятия и компании даже на фоне замедления экономического роста. Этот интерес можно объяснить как распространением в российском промышленном сообществе знаний о пользе APC, так и «цепной реакцией»: успешные референции на од-

них предприятиях становятся известны на других и вызывают желание укоренить у себя полезный опыт, продемонстрировавший свою результативность и экономическую эффективность не только за рубежом, но и на родной почве.

Трудности внедрения APC-систем на отечественных предприятиях

Анализ реализованных за прошедшие годы APC-систем показал, что даже при очевидной окупаемости создаваемых систем их построение, внедрение и последующая эксплуатация сопряжены с рядом существенных сложностей. Сформулируем их, по возможности, кратко.

- Неготовность технологического оборудования, системы управления и общезаводского хозяйства:

- проблемы в работе технологического оборудования;

- отсутствие нормальной управляемости ТП (регулирующие клапаны находятся большую часть времени в предельных положениях, а операторы соответственно управляют процессом вручную с помощью байпасных задвижек);

- частые нештатные ситуации с подачей сырьевых компонентов и/или энергоресурсов;

- системные ограничения на работу технологического объекта со стороны предшествующих или последующих по технологической цепочке объектов.

- Неготовность заводской инфраструктуры:

- низкая точность лабораторного контроля, на основе данных которого создаются и калибруются ВА;

- отсутствие непосредственной автоматической связи от лаборатории или от лабораторной информационно-управляющей системы до РСУ, из-за чего невозможно извлечь необходимые данные для подстройки ВА в нужном формате;

- недостаточный архив исторических данных режимных величин ТП (данные хранятся за слишком малый промежуток времени и/или по сравнительно небольшому количеству тегов), что не позволяет обосновать целесообразность и эффективность построения APC-системы, а часто и построить ВА приемлемой точности.

- Организационные проблемы, связанные с «человеческим фактором».

Основной причиной организационных проблем в APC-проекте авторы считают ложное представление заказчика об APC-системе как продукте, поставляемом «под ключ». Из подобного представления заказчик выводит и «очевидное» распределение ролей в проекте:

- заказчик перечисляет платежи и принимает в эксплуатацию готовую систему;

- исполнитель производит все работы по проектированию и внедрению системы самостоятельно.

Реальное положение дел выглядит иначе. Создание APC-системы является совместным трудом обоих контрагентов. Трудозатраты исполнителя на порядки больше, чем заказчика, что естественно. Тем

не менее, APC-проект устроен так, что от заказчика требуется активное привлечение специалистов различных служб и подразделений: операторов технологического объекта, технологов как данного участка производства, так и общезаводского уровня, специалистов по АСУТП и КИП, работников заводской лаборатории, персонала плановой службы предприятия. Привлечение всех этих лиц к построению APC-системы может иметь достаточно кратковременный, но отнюдь не формальный характер — оно должно быть хорошо организовано и согласовано с графиком проводимых исполнителем работ.

Причины негативного влияния «человеческого фактора» на построение APC-системы можно классифицировать так:

- слабое наблюдение, курирование и координация проектирования и внедрения APC-системы со стороны руководства предприятия-заказчика;

- недостаточная квалификация оперативного и технологического персонала соответствующего объекта и/или участка производства;

- недостаточная квалификация инженеров, обслуживающих АСУТП технологического объекта, из-за чего исполнитель вынужден в ходе создания APC-системы вместо них настраивать регуляторы и вносить необходимые изменения в конфигурацию существующего базового регулирования в РСУ;

- отсутствие заинтересованности операторов и инженеров заказчика во внедрении APC-системы.

- Недостатки необходимого сопровождения эксплуатируемой APC-системы.

При неправильной и/или мало квалифицированной эксплуатации APC-системы персоналом она деградирует — этот печальный факт подтвержден как мировой, так и отечественной практикой. Основные необходимые аспекты инженерного сопровождения APC-системы перечислены ниже:

- обеспечение эксплуатации системы операторами в точном соответствии с утвержденной инструкцией;

- постоянный анализ работы системы ответственными за это инженерами заказчика, в частности, с использованием встроенных в систему средств мониторинга;

- своевременная подстройка или доработка ВА;

- при необходимости корректировка динамической модели в APC-системе;

- обеспечение надежной интеграции APC-системы и РСУ независимо от внесения любых изменений в программно-аппаратный комплекс последней.

Оговоримся, что наличие на предприятии тех или иных проблем из числа вышеперечисленных не означает принципиальной невозможности создания APC-системы или ее заведомой неэффективности. Обследование объекта внедрения, его производственного окружения и инфраструктуры до начала проекта или на его начальной фазе позволяет во многих случаях предложить заказчику решение, максимально эффективное в существующих условиях. После выявления исполнителем потенциальных рисков построения APC-

системы, заказчик и исполнитель должны совместно их проанализировать и найти консенсус относительно функций системы, ожидаемого эффекта от ее эксплуатации и стоимости решения. Сказанное в этом абзаце призвано ободрить тех, кто сегодня пребывает в процессе принятия нелегкого, а порой и мучительного решения о приобщении к «клубу пользователей APC».

APC сегодня

В мире

Мировой рынок APC уже давно достиг зрелости. На нем оперируют крупные игроки, поставляющие как коммерческие инструментальные средства создания APC-систем, так и решения на их основе. Действуют также несколько небольших «нишевых» компаний, специализирующихся на оптимизации ТП в определенных отраслях (металлургии, производстве минеральных удобрений и т.п.) и обладающих патентованными программными продуктами усовершенствованного управления, часто интегрированными со средствами имитационного моделирования.

Признанные промышленные консультанты, такие как ARC Advisory Group и Frost & Sullivan, раз в несколько лет публикуют аналитические обзоры состояния рынка усовершенствованного управления и оптимизации ТП в режиме РВ. По данным последних рейтингов (приблизительно 2005–2010 гг.) первое и второе места по объему заключенных контрактов занимают Honeywell и Aspen Technology соответственно; в число признанных поставщиков APC входят компания Shell и такие лидеры промышленной автоматизации как ABB, Emerson, Invensys, Rockwell и Yokogawa, реализующие APC-решения, главным образом, на PCS и ПЛК собственного производства.

Сегодня APC-решения применяют в нефтепереработке, нефтехимии, производстве минеральных удобрений, металлургии, нефте- и газодобыче, тепловой энергетике, на производстве целлюлозы, в пищевой и автомобильной промышленности. Обзор применений APC в различных отраслях представлен в [7]. По данным ARC Advisory Group, объем продаж APC-решений в посткризисном 2009 г. составил 415 млн. долл. США и при сохраняющихся темпах роста достигнет 800 млн. долл. к 2014 г.

В России

Рыночный потенциал APC-систем в России огромен: сотни технологических установок в нефтепереработке, нефте- и газохимии, морские добывающие платформы, горно-обогащительные комбинаты, десятки крупных ТЭЦ ждут своего часа. Готовность объектов к внедрению APC-систем существенно разнится по отраслям: если техническая вооруженность отечественной нефтепереработки позволяет считать эту отрасль до известной степени готовой к восприятию усовершенствованного управления, то в нефтехимии дело обстоит несколько хуже, а на объектах энергетики и горно-обогащительных комбинатах внедрению APC должен, как правило, предшествовать

значительный объем мероприятий по приведению в порядок нижележащих уровней автоматизации.

Неготовность объектов автоматизации к внедрению APC является, таким образом, основным фактором, сдерживающим его бурный рост. Ценовой фактор также оказывает давление, особенно в отраслях, до недавнего времени неизбалованных инвестициями — тем не менее, он представляется менее значимым в силу относительной (по сравнению с затратами на технологическое перевооружение или установку/замену PCS) дешевизны построения APC-систем и их сравнительно быстрой окупаемости — в среднем около 1 года. В качестве сдерживающего фактора внедрения APC следует с сожалением отметить пока еще недостаточную осведомленность промышленного сообщества, хотя за последние годы ситуация стала меняться к лучшему, особенно в нефтепереработке и нефтехимии. В совокупности перечисленные факторы, ограничивая рост рынка, делают его остро конкурентным, поскольку большинство основных мировых поставщиков APC уже давно присутствуют в России и в естественном стремлении «застолбить» отраслевую или географическую нишу вступают в жесткие схватки за каждый из тех, в среднем, 4...6 проектов в год, которые потенциальные российские заказчики осмеливаются вынести на тендер.

Дополнительные оттенки в пеструю картину российского рынка APC начинают добавлять некоторые отечественные инжиниринговые фирмы, как правило, специализирующиеся в области АСУТП или автоматизации производства предприятий тех или иных отраслей и не имеющие опыта создания APC-систем. Они могут начать разработки на базе инструментальных средств одного из крупных зарубежных поставщиков APC, поскольку коммерческого отечественного ПО многопараметрического управления пока не создано.

Следующие 10 лет: попытка прогноза

Технология и методология APC развиваются весьма динамично, поэтому сегодня трудно дать взвешенный прогноз их состояния через десятилетие. Тем не менее, экстраполируя сегодняшние инновации, можно попытаться уловить тренды нескольких ближайших лет.

Новые отрасли

APC-системы все шире будут внедряться в металлургии (измельчение руды, флотация, глиноземное производство, печи нагрева металла, установки разделения воздуха и др. объекты), тепловой энергетике (оптимизация процессов горения в топках котлов и перегрева пара, перераспределение нагрузок между параллельными котло- и турбоагрегатами и т.п.), автомобилестроении (покрасочные камеры), пищевой промышленности (печи производства сухого молока). Не исключено их проникновение и в новые отрасли, например, в фармакологию. Весьма вероятно более широкое распространение APC по химическим от-

раслям, таким как, например, производство резины. По мере диверсификации продуктов и решений APC-системы на основе компактных и недорогих «движков» и встроенных в них моделей, учитывающих специфику конкретного производства, будут в автоматическом режиме управлять ТП, энергоблоками и производственными линиями, стабилизируя качество продукции и экономя энергию на фоне ужесточающихся экологических требований, дорожающих энергоносителей и нарастающей конкуренции.

Диверсификация продуктов и решений

Наряду с рынком универсальных коммерческих APC-продуктов, таких как, например, DMC+ (Aspen Technology), Profit Controller (Honeywell), exaSMOC (Yokogawa) и т.п., будет развиваться и расширяться рынок специализированных продуктов, нацеленных на определенные отрасли и/или решение специфических задач. Отметим разработанный недавно фирмой Technip многопараметрический контроллер, позволяющий оптимизировать работу печей пиролиза и интегрированный с ПО SPYRO той же фирмы для прогнозирования выхода продуктов из печей пиролиза в контуре многопараметрического управления (www.technip.com).

Строгие модели и нелинейные контроллеры

Большинство коммерческих многопараметрических контроллеров используют сегодня сравнительно простые линейные динамические модели типа «черный ящик» (например, в виде конечных импульсных характеристик или передаточных функций). Для большинства ТП, где применяют APC, использование таких моделей оправдано. Однако статические и динамические характеристики модели никогда не бывают на 100% адекватны соответствующим характеристикам объекта. Это объясняется нелинейностью последнего или невозможностью воспроизвести все возможные технологические режимы в ходе серии активных экспериментов, направленных на генерацию представительных исходных данных для построения модели. Автоматическое управление сложным технологическим объектом на основе неадекватной модели не обеспечивает должного качества и может привести к неожиданным и крайне неприятным последствиям, таким как потеря устойчивости. Во избежание этого разработчики многопараметрических контроллеров стремятся сделать свои алгоритмы максимально робастными, то есть устойчиво и адекватно управляющими объектом при неточной модели последнего. Робастность алгоритмов APC обеспечивает приемлемое качество управления и позволяет избежать многих бед, но для некоторых существенно нелинейных объектов (таких как, например, производство полимеров) сочетание линейной модели с робастным алгоритмом управления не спасает. В таких случаях используются специализированные нелинейные контроллеры, в основе которых лежат строгие нелинейные модели, адаптируемые под конкретные объекты. Ожидается, что применение таких решений будет расширяться, и они будут проникать

в те сферы, где сегодня прочно укоренились «линейные» контроллеры — это станет возможным, когда дополнительная прибыль, приносимая нелинейными контроллерами, превысит их сегодняшнюю более высокую стоимость, определяемую наукоемкостью решений и сравнительной сложностью реализации.

От регулирующего клапана до глобальной оптимизации

Интегрированные многоуровневые решения промышленной автоматизации — новомодная тенденция, с недавних пор увлекшая особо продвинутых адептов промышленной автоматизации. Эта мода не обходит стороной и ПО APC, которое лидеры рынка встраивают в свои продуктовые линейки. Тенденция получит свое очевидное развитие: появятся платформы, объединяющие средства мониторинга активов автоматизации (от регулирующего клапана до APC-приложения), усовершенствованного управления, оптимизации в режиме РВ и моделирования ТП с выходами на глобальные общезаводские (MES- и ERP-уровней) и корпоративные системы. В России сегодня реализуются первые крупномасштабные системы мониторинга ПИД-регуляторов, охватывающие целые производства (несколько технологических установок), можно ожидать, что в ближайшее время к ним добавятся и средства мониторинга APC-приложений.

Еще одна очевидная тенденция — распространение систем глобальной оптимизации, функционирующих в режиме РВ на более высоком чем APC уровне и охватывающих несколько параллельных технологических ниток или установок, технологическую цепочку из нескольких установок или даже целый завод. Примеры: глобальная оптимизация комплекса производства ароматики (НПЗ компании Hellenic Petroleum) или комплекса каталитического крекинга (гидроочистка вакуумного газойля и каталитического крекинга — ЛУКОЙЛ-Бурган АЗ). Появление первой системы такого уровня на российском предприятии (как всегда в APC, нефтепереработка лидирует) ожидается через 1...1,5 года. «Цепная реакция» не замедлит себя ждать.

Новая парадигма APC: от инфраструктуры к культуре

Особо следует остановиться на скрытых возможностях APC-систем, которые будут раскрываться при правильной, высококвалифицированной их эксплуатации. Мировой опыт использования APC-систем свидетельствует, что при малокавалифицированном сопровождении APC-система деградирует на протяжении максимум 3 лет, и операторы перестают ею пользоваться. В экономических терминах деградация APC-системы означает снижение экономического эффекта от условных 100% на день передачи системы в промышленную эксплуатацию практически до нуля.

В статье Алана Дж. Керна [8] предложен иной взгляд на динамику экономического эффекта от внедрения APC-системы. Если принять некое номинальное значение теоретически возможного эффекта от эксплуатации APC-системы за 100%, то эффект,

достижимый на день начала промышленной эксплуатации, оценивается автором приблизительно как 30...50%. Все, что превышает эту величину — скрытые возможности APC-системы, которые могут выявиться при правильной ее эксплуатации и своевременном развитии в нужном направлении. Эффект в 30...50% в начале эксплуатации подразумевает, что обеспечена выполнимость проекта APC-системы: приемлемое состояние КИП и базового регулирования; современная РСУ; надежные и удобные средства хранения исторических данных и их быстрого извлечения и предоставления исполнителю в подходящем для анализа формате; имеется необходимая производственно-экономическая информация; создана проектная группа заказчика, оперативно взаимодействующая с командой исполнителя. Чтобы повысить эффективность с 50% до 75%, необходимы взаимные усилия заказчика и исполнителя по необходимому сопровождению системы: обученные, квалифицированные операторы; комплект конкретной, понятной операторам, удобной пользовательской документации; утвержденный регламент сопровождения системы службой АСУТП и необходимые для этого квалифицированные кадры и т.д. Наконец, увеличение эффекта до 100% и выше — это высококвалифицированные и увлеченные своей работой по эксплуатации APC-системы специалисты в штате предприятия, это грамотная интеграция APC-системы в многоуровневую общезаводскую структуру промышленной автоматизации, это тщательно спланированное развитие APC-системы при изменяющихся производственных условиях и др.

Сегодня «клуб пользователей APC» (речь идет о полномасштабных системах на основе многопараметрических контроллеров) в российской промышленности насчитывает, от силы, 10 участников. Можно назвать по крайней мере два крупных предприятия — ООО «КИНЕФ» и ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез», где зародившаяся несколько лет тому назад культура APC уже дала свои первые всходы. Напрашивается очевидный прогноз: в ближайшие годы предприятий «высокой культуры APC» станет больше.

Заключение: «клуб APC» открыт для всех

APC-система — весьма мощный, хотя и непростой в употреблении инструмент, позволяющий извлечь максимум пользы из системы управления технологическим объектом. Предприятия, эксплуатирующие сегодня APC-системы, констатируют большее удобство управления (снижение нагрузки на операторов), стабилизацию показателей качества продукции и увеличение ее выхода, экономию энергии, снижении потерь при

Наличие систем APC на предприятиях отличает лидера от догоняющего.

Журнал «Автоматизация в промышленности»

смене режимов, повышение надежности технологического оборудования и арматуры, хотя не все эти эффекты достигаются одновременно и поддаются численному оцениванию. Создание APC-системы — это высококвалифицированный (и, как правило, самоотверженный) труд инженеров исполнителя проекта в тесном взаимодействии со специалистами заказчика. Грамотное использование и правильно организованное сопровождение созданной системы позволяют не только сохранить зафиксированный в ходе опытной эксплуатации экономический эффект, но и приумножить его.

Менее чем 10-летний опыт применения APC-систем на отечественных предприятиях показал, что наиболее продвинутые в техническом отношении отрасли российской промышленности уже вполне готовы к более широкому восприятию этой завоевавшей мировую популярность технологии, другие в различном темпе приближаются к необходимому для старта пилотных APC-проектов уровню технической оснащенности и культуры производства.

«Клуб APC» открыт всем, для кого «инновация», «эффективность» и «конкурентное превосходство» — не абстрактные категории, а маркеры в повседневной производственной рутине.

Список литературы

1. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В. APC — усовершенствованное управление технологическими процессами // Датчики и системы. 2005. № 10.
2. Comacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control — Springer Verlag, 1998.
3. Tatjevsky P. Advanced Control of Industrial Processes: Structures and Algorithms. L.: Springer. 2010.
4. Перельман И.И. Идентификация моделей для прогнозирования выходной реакции объекта // Труды IV Симпозиума ИФАК по идентификации и оценке параметров систем. Тбилиси, 1975. Том 3.
5. Richalet J. et al. Model Predictive Heuristic Control. Applications to Industrial Processes // Automatica. 1978. Vol. 14. No. 5.
6. Dozortsev V.M., Itskovich E.L., Nikoforov I.V., Perel'man I.I. Computer Control of a Cement Plant // Proc. IFAC/IFIP Symp. Real-Time Digital Control Appl. Guadalajara (Mexico), 1983. Vol. 1.
7. Захаркин М.А., Кнеллер Д.В. Применение методов и средств усовершенствованного управления технологическими процессами (APC) // Датчики и системы. 2010. № 10.
8. Kern A.G. Summiting with multivariable predictive control // Hydrocarbon Processing. June. 2007.

Дозорцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, проф., директор департамента высокотехнологичных решений и консалтинга ЗАО «Хоневелл»,

Ицкович Эммануил Львович — д-р техн. наук, проф., заведующий лабораторией Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Кнеллер Дмитрий Владимирович — канд. техн. наук, руководитель отдела систем усовершенствованного управления и оптимизации ТП ЗАО «Хоневелл». Контактный телефон (495) 796-98-00.