



## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ. Часть 1. ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В.М. Дозорцев, Д.В. Кнеллер,  
Л.Р. Соркин, Н.В. Шестаков (Корпорация "Хоневелл")

*Для создания и эффективной эксплуатации высокотехнологичных систем промышленной автоматизации (ВСПА) требуются специально подготовленные кадры разработчиков, "внедренцев" и инженеров поддержки. Сегодняшние вузы не в состоянии обеспечить подготовку таких кадров на должном уровне. В статье предлагаются способы решения этой проблемы на основе частичной реорганизации системы обучения на старших курсах (создание базовых кафедр) и внедрения инновационных технологий обучения ("Виртуальный завод"). В публикуемой первой части статьи рассмотрены вопросы подготовки специалистов для ВСПА реального времени (усовершенствованное управление и системы на основе имитационного моделирования). Вторая часть будет посвящена подготовке кадров для систем оперативного управления производством (MES).*

*Ключевые слова: высокотехнологичные системы промышленной автоматизации, реальное время, усовершенствованное управление, имитационное моделирование.*

### Введение

За несколько последних десятилетий промышленное производство, в том числе в перерабатывающих отраслях, радикально изменилось. В жизнь пришли новые технологии, новое оборудование, новые формы организации труда. Эти изменения проявились наиболее революционно в системах промышленной автоматизации. Не только в индустриально развитых странах, но и по всему миру (и Россия — не исключение), пневматические КИПиА заменяются на электронные, а на смену щиту приходят микропроцессорные системы управления. Кардинальные перемены затронули и верхние уровни автоматизации — круг решаемых задач необыкновенно расширился, а содержание некоторых традиционных задач преобразилось до неузнаваемости.

Все это, однако, никак не отменило ведущей роли человека в управлении производством. Более того, как отметила еще в 70-х годах XX века известная английская исследовательница Л. Бэйнбридж [1], ирония автоматизации именно в том и состоит, что чем глубже автоматизировано производство, тем сложнее задача оператора, управляющего им. Более того, усложнение производственных процессов и систем управления заставляет рассматривать как ключевое условие промышленной эффективности и безопасности уровень подготовки персонала, не только непосредственно управляющего технологическими и производственными процессами. Столь же высокие требования предъявляются теперь и к персоналу, осуще-

ствляющему сопровождение и поддержку разнообразных заводских и корпоративных систем автоматизации (технологов, специалистов служб АСУТП и АСУП, специалистов плановых и производственных отделов и др.). А с учетом все большего проникновения в отечественную промышленность современных мировых технологий автоматизации и естественным переносом значительной части разработок и инжиниринга таких систем в отечественные компании во весь свой рост встает и проблема вузовской подготовки разработчиков и "внедренцев" продвинутых средств автоматизации.

Отвечает ли этим вызовам отечественная высшая школа? Сколько-нибудь утвердительный ответ на этот вопрос будет, как минимум, сильным преувеличением. Более того, нельзя утверждать, что современные российские вузы, по крайней мере, в их сегодняшней конструкции и с их сегодняшним потенциалом, вообще, могут справиться с проблемой в одиночку — вне кооперации с компаниями-разработчиками высокотехнологичных систем промышленной автоматизации (ВСПА).

Настоящая статья посвящена анализу существующего и желаемого уровня подготовки специалистов в применении к различным типам систем промышленной автоматизации и описанию первых результатов в области инновационного обучения таких специалистов в ведущих отраслевых университетах страны. Из-за большого объема статья разбита на две части, первая из которых посвящена ВСПА реального времени.

### Пирамида промышленной автоматизации и профессиональные требования к пользователям, "внедренцам" и разработчикам ВСПА

На рис. 1 представлена хорошо знакомая профессионалам многоуровневая схема промышленной автоматизации. На нижнем этаже располагаются КИПиА, обеспечивающие сбор и первичную обработку производственных данных, а также реализацию непосредственного управления технологическим оборудованием (исполнительные устройства). Прогресс этого сегмента средств автоматизации очень впечатляет; можно говорить не только о качественно новом уровне точности измерений и исполнения регулирующих заданий, но и об интеллектуализации современного полевого оборудования [2]. Однако при всей сложности нового поколения устройств и связанных с этим требований к эксплуатирующим их инженерам КИП, не будем останавливаться на этом уровне в контексте данной статьи. Опыт показывает, что специалистам служб метрологии и АСУТП на производстве легко удается овладеть этой новой техникой. Номенклатура таких систем, изучаемая, а часто и реально присутствующая в вузах, довольно широка, и серьезного дефицита необходимых навыков их эксплуатации, по нашему мнению, нет. Более того, скорее можно говорить об утере

навыков настройки и эксплуатации традиционных средств КИПиА. Днем с огнем не сыскать профессионалов, способных в условиях реального производства настроить сложные, а иногда и несложные контуры регулирования. На этой проблеме остановимся ниже, когда будем обсуждать системы компьютерной подготовки операторов и системы усовершенствованного управления ТП.

На следующем (втором "снизу") этаже пирамиды – традиционные системы управления ТП. Разнообразие и мощь современных РСУ общеизвестны. Однако, если не касаться новых, так сказать, "высших" функций РСУ, которые теперь не только управляют ТП, но и являются платформой сложных высокотехнологичных приложений автоматизации, то ситуация аналогична вышеописанной для уровня полевого оборудования. Специалисты на заводах с радостью и без принципиальных проблем отказались от щита и перешли к микропроцессорному управлению, освоили новые РСУ, ПЛК и SCADA-системы, контроллеры противоаварийной защиты. Проблемы практического внедрения этих систем, конечно, существуют и порой непростые. Но они определяются не недостатком подготовки специалистов, а недостаточной технологической и организационной готовностью производства к

переходу на бесщитовое управление. Таким образом, тему традиционных функций этого уровня также не имеет смысла обсуждать далее.

На верхнем, пятом этаже пирамиды находятся системы корпоративного управления (ERP-системы). Однако, за исключением функций, реализуемых непосредственно на производствах, эти системы также останутся за пределами рассмотрения, поскольку относятся скорее к сфере информатизации, а не автоматизации. Соответствующие специальные навыки принципиально отличаются от востребованных в автоматизации и в значительной мере лежат в сфере экономики и финансов, а не технологии и производства.

Итак, в фокусе внимания остаются третий (системы усовершенствованного управления и оптимизации) и четвертый (системы управления производством) этажи, а также отчасти второй этаж, где РСУ осуществляют функции сбора информации о ТП, необходимой для реализации задач более высокого уровня. Именно этот ареал принято относить к ВСПА.

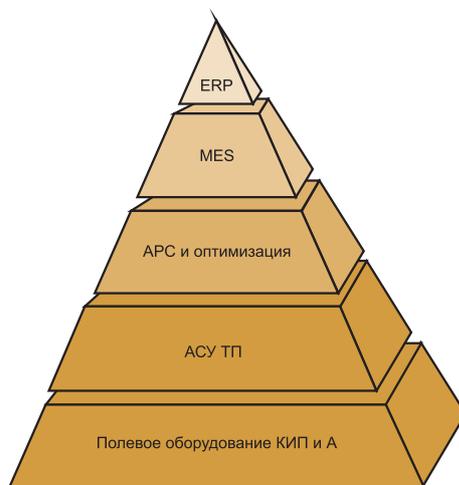


Рис. 1. Пирамида промышленной автоматизации

разнообразные решения, основанные на имитационном моделировании ТП: компьютерные тренажеры, средства технологического инжиниринга, инжиниринга систем управления и пр.

#### Системы усовершенствованного управления

Принципы и методы усовершенствованного управления ТП (в совокупности именуемые также "АРС" от Advanced Process Control) пришли в промышленную автоматизацию в начале 1990-х гг. и постепенно приобрели популярность во многих обрабатывающих отраслях промышленности и в энергетике. Сегодня АРС-системы активно используются в нефтепереработке, химии и нефтехимии, нефте- и газодобыче, тепловой энергетике, обогащении полезных ископаемых; в последнее время они начали проникать в пищевую и автомобильную промышленность. Основная идея АРС состоит в модернизации системы управления технологической установкой путем введения в нее дополнительных элементов. Эти элементы представляют собой ПО, реализующее специальные алгоритмы управления во много раз сложнее тех, которые представлены в стандартных вычислительных блоках современных РСУ. Спектр АРС-технологий достаточно широк: здесь и нейронные сети, и нечеткие регуляторы, и прогнозирующие модели. Последние продемонстрировали наибольшую эффектив-

#### Высокотехнологичные системы автоматизации реального времени

К таким системам относят приложения, работающие в режиме функционирования ТП – так называемые системы усовершенствованного (улучшенного) управления, или АРС-системы, и

ность в управлении сложными многомерными ТП с большим числом внутренних взаимосвязей, вследствие чего и завоевали наибольшую популярность в этом сегменте рынка средств управления и оптимизации производства. APC-системы решают следующие основные задачи:

- автоматическое управление технологической установкой в нормальном режиме, а также при смене режимов (если их несколько), например, при переходах с одной марки продукта на другую;
- оптимизация работы установки по экономическому критерию.

APC-система действует как своего рода "автопилот" для технологической установки: она берет на себя определенные функции операторов и, как показывает многолетняя практика применения APC в промышленности, выполняет эти функции в среднем лучше, чем человек. В результате удается:

- повысить производительность установок (если такая задача поставлена);
- увеличить выпуск более ценных продуктов за счет менее ценных;
- снизить энергопотребление;
- уменьшить потери при смене режимов;
- снизить износ оборудования, уменьшить число отключений и сбоев, обеспечить операторов и инженеров более глубокой информацией о ТП, освободить инженеров от рутинных функций ведения ТП ради постановки и решения более глубоких задач анализа и оптимизации производства.

Управление технологическими установками с помощью APC-систем в корне меняет десятилетиями устоявшиеся подходы. Раньше при смене производственного задания операторы должны были изменить уставки нескольких регуляторов расхода, давления, температуры, причем эти изменения должны были проводиться согласовано, что требовало от операторов опыта и сноровки. Теперь операторы могут напрямую управлять качеством продуктов установки, давая APC-системе задание непосредственно по значению показателя качества (например, температуры конца кипения бензина, определяемой виртуальным анализатором в РВ), а все дальнейшие действия по подбору и поддержанию соответствующего этому заданию технологического режима система берет на себя. Точно так же смена приоритета по выпуску тех или иных продуктов требует лишь переназначения коэффициентов целевой функции оптимизации, реализованной в APC-системе. Эти коэффициенты определяют относительные стоимости продуктов установки, поэтому для правильного и эффективного управления ТП с помощью APC инженеры и старшие операторы должны мыслить в категориях не только технологии, но и производственной экономики. Эти наблюдения подтверждаются практикой применения APC на российских предприятиях [3, 4].

В основе APC-систем лежит специализированное ПО многомерного автоматического управления и оптимизации на основе прогнозирующей модели ТП. По-

ставщиками такого ПО являются несколько крупных фирм, специализирующихся в этом сегменте рынка средств промышленной автоматизации на протяжении 15...20 лет. Но поставляемое с завода фирмы-разработчика на DVD ПО усовершенствованного управления (такое как Profit® Controller корпорации Honeywell или аналогичные продукты других разработчиков) — это еще не APC-система. Для ее создания требуется реализовать APC-проект, предусматривающий привязку ПО APC к конкретной PCY и его конфигурирование и настройку в соответствии с задачами и спецификой производства. Ключевую роль в выполнении APC-проекта играет ведущий инженер APC, в чьи обязанности входит изучить существующее производство, вместе со специалистами заказчика определить задачи, которые может и должна решать создаваемая система, и "узкие места" ТП, которые она поможет "расшить", должным образом спроектировать систему, создать набор виртуальных анализаторов качества продуктов, реализовать систему на PCY (при поддержке инженеров по системной интеграции APC), провести настройку и испытания системы, оценить полученный экономический эффект, обучить инженеров заказчика правильной эксплуатации системы и помочь им организовать ее дальнейшее обслуживание и развитие.

Из кратко перечисленных выше основных задач, решаемых в процессе создания APC-системы, естественным образом вытекают требования к профессиональным знаниям, навыкам и квалификации ведущего инженера. Попробуем их сформулировать.

Для успешного выполнения своих профессиональных обязанностей ведущий инженер APC обязан:

- *хорошо понимать ТП, для которого создается система.* Без глубоких технологических знаний и понимания специфики и условий работы технологического оборудования, показателей качества продуктов и круга вопросов, связанных с их измерением, умения говорить на одном языке с технологами-производственниками и операторами, ведущий инженер вряд ли сможет создать систему, адекватно решающую поставленные заказчиком задачи и учитывающую технологические ограничения конкретной установки. Порой для решения задач, формулируемых заказчиком перед разработчиком APC-системы, требуется сочетание методов APC и других подходов, вследствие чего ведущий инженер в идеале должен владеть арсеналом методов оптимизации ТП и решения технологических проблем, порой выходящих за рамки APC. К таковым относятся различные технологические расчеты, моделирование ТП и т.д. Таким образом, ведущий инженер APC должен быть достаточно опытным технологом;

- *знать производство, в составе которого работает установка.* APC-проект, выполняемый на одной установке, всегда в той или иной степени затрагивает и другие объекты предприятия. Как правило, это установка, находящиеся выше или ниже по технологической цепочке. Весь этот производственный кон-

текст должен учитываться при постановке задач управления и оптимизации для АРС-системы – в противном случае они могут оказаться бессмысленными или нереализуемыми. Так, например, спроектированная без учета технологической схемы и специфики всего производства АРС-система может быть нацелена на максимальный выпуск продукта, дальнейшая переработка которого невозможна в силу отсутствия резервных мощностей последующих установок. Это предъявляет дополнительные требования к профессиональным знаниям и технологической эрудиции ведущего инженера: он должен уметь выделить ключевые моменты, влияющие на проектирование и будущее функционирование АРС-системы, даже если его видение порой противоречит устоявшимся на предприятии представлениям;

- *знать основы производственной экономики.* Выше было сказано о том, что задания для АРС-систем формулируются приблизительно так, как их формулирует производственный отдел в соответствии с операционными планами и требованиями рынка. Без понимания основ функционирования ПО производственного планирования и цепочек трансляции производственных планов в задания операторам конкретных установок ведущий инженер вряд ли сможет правильно реализовать экономическую составляющую АРС-проекта. Здесь же следует отметить и владение методами оценивания потенциального и фактического достигнутого экономического эффекта, основанными на методах математической статистики, имитационного моделирования и других подходах;

- *уметь эффективно использовать системы моделирования ТП,* такие как HYSYS, UniSim и т.п. Моделирование ТП все шире проникает в АРС-проекты. АРС-инженеры используют строгие модели в процессе проектирования для определения стратегий оптимизации и технологических ограничений, оценивания потенциального экономического эффекта, разработки виртуальных анализаторов, проведения предварительного пошагового тестирования объекта в целях грубого оценивания статических коэффициентов усиления. Кроме того, в некоторых случаях полномасштабные динамические модели специально создаются до или в ходе реализации АРС-проекта и "прогоняются" в процессе эксплуатации АРС-системы в целях регулярной подстройки ее статических коэффициентов в РВ. Это позволяет существенно повысить эффективность АРС для тех объектов, где стационарные линейные модели не вполне адекватно отражают динамику объекта;

- *владеть основами теории автоматического регулирования и методами конструирования систем управления.* Стоящие перед АРС задачи часто решаются путем сочетания методов усовершенствованного управления на основе прогнозирующей модели и более простых традиционных технологий, таких как расширенное регулирование (управление по возмущению, управление по соотношению, системы с опере-

жением и запаздыванием, выравнивание потоков и т.п.). Ведущий инженер должен уметь выбирать и эффективно реализовывать адекватные методы из этого широкого набора, применяя технологии настолько сложные, насколько это необходимо для решения поставленных задач. Необходимо отметить, что знание основ теории управления необходимо и для владения специальными инструментариями конструирования АРС-систем, и для понимания общих принципов и особенностей их функционирования. Здесь будет уместно упомянуть и навыки настройки ПИД-регуляторов, чем инженеру АРС приходится нередко заниматься в ходе реализации проекта;

- *знать архитектуру, особенности и возможности РСУ,* на которой реализуется АРС-система, а также ее информационное окружение. Сюда относится широкий круг вопросов, в том числе средства сбора, архивирования и извлечения данных, связь с лабораторно-информационными системами и вопросы синхронизации производственных и лабораторных данных, политики безопасности и др.;

- *наконец, понимать все тонкости тех сложных, наукоемких программных продуктов* (включая средства разработки, конфигурирования, грубой и тонкой настройки), на основе которых создаются и функционируют АРС-системы. (Сюда относятся и системы создания и поддержки виртуальных анализаторов типа Honeywell Profit® Sensor Pro.)

Если кратко подытожить этот внушительный перечень требований к ведущему инженеру АРС, то получаем, как минимум, технолога и инженера АСУТП "в одном флаконе". Этот "сверхчеловек" должен к тому же обладать порой трудно сочетаемым набором личных качеств, таких как: *коммуникабельность и дипломатичность* (умение выслушать, понять и перевести на язык АРС не всегда согласующиеся между собой пожелания руководства и специалистов различных служб и подразделений заказчика, умение обсуждать стоящие перед АРС задачи и стратегии их решения на понятном заказчику языке), *настойчивость в достижении целей и отстаивании собственного мнения* (часто АРС ломает установившиеся стереотипы ведения ТП, и ведущий инженер должен уметь убедить заказчика в необходимости перемен и правильности выбранной им стратегии), *постоянное самообучение и стремление к инновациям* (технология АРС лежит на переднем крае промышленной автоматизации – "тонкой красной линией", находящейся в постоянном движении), *физическая выносливость* (инженерам АРС нередко приходится работать на объектах по 12 часов в сутки в течение одной – двух недель, порой и в ночные смены), *привычка к дальним путешествиям и длительным командировкам* (экспертов по АРС в мире насчитывается всего две – три сотни, поэтому им порой приходится работать на объектах, расположенных на значительном удалении от родного офиса).

Возникает естественный вопрос: где готовят инженеров АРС, владеющих столь широким набором

знаний и навыков? Ответ столь же прост, сколь и ожидаем: их не готовят нигде. Учебные программы технических университетов, будь то в России или за рубежом, изначально нацелены на подготовку либо технологов (*chemical engineers*), либо инженеров АСУТП (*control engineers*), и пересечение этих программ минимально. Крупные компании – игроки на рынке АРС – вынуждены брать на работу специалистов того или иного профиля и затем обучать их недостающим знаниям в собственных колледжах автоматизации и корпоративных образовательных центрах, организовывать специальные курсы лекций приглашенных специалистов, заключать договора с университетами и т.д. Корпорация Honeywell и ее российский офис придерживаются этой политики.

Чтобы семена специального образования дали здоровые всходы, они должны попасть на подготовленную почву. Эту "почву" могут создать лишь технические университеты высшего класса, такие как МФТИ, МГТУ и т.п., желательнее через систему базовых кафедр, обеспечивающих оптимальное сочетание глубокого теоретического образования и практических исследований и разработок в рабочих коллективах.

Жизненный цикл любого продукта, в частности, используемого в промышленной автоматизации, ограничен. Правильное техобслуживание продукта позволяет поддерживать его работоспособность на протяжении всего заявленного разработчиком жизненного цикла или даже увеличивать его. Высокотехнологичные решения промышленной автоматизации, такие как системы усовершенствованного управления, моделирования, оптимизации и т.д. склонны к постепенной деградации задолго до окончания жизненного цикла, длительность которого бывает порой даже сложно оценить. Причиной деградации системы может быть потеря адекватности используемых в ней моделей в силу изменения производственных условий. АРС-система представляет собой своего рода мастер-регулятор, дающий задания множеству ПИД-регуляторов, к которым до появления на установке АРС обращались операторы. Деградация АРС-системы выражается в постепенном отключении операторами или инженерами отдельных контуров от ее "мозга". В результате у системы остается меньше рычагов воздействия на ТП, то есть меньше степеней свободы, необходимых для решения поставленных перед ней задач управления и оптимизации. Почему пользователи АРС-системы выводят контуры регулирования из-под ее контроля? Причин может быть много (и они часто взаимосвязаны): неадекватное поведение виртуальных анализаторов – "глаз" АРС-системы, с помощью которых она "видит" показатели качества; появление новых технологических ограничений, отсутствовавших при проектировании и внедрении системы (засорение технологичес-

*Так же как поглощение пищи без удовольствия превращается в скучное питание, так занятие наукой без страсти засоряет память, которая становится неспособной усваивать то, что она поглощает.*

Леонардо да Винчи

ких аппаратов, переход на новое, не предусмотренное ранее сырье, падение активности катализатора и т.д.), или существенное изменение динамических свойств объекта, например, в связи с заменой старых тарелок в колонне более современными в результате капитального ремонта.

Чтобы АРС-система не деградировала, а продолжала выполнять свои функции и приносить прибыль не меньшую, а порой и большую, чем в начальный период ее промышленной эксплуатации, систему нужно правильно обслуживать. Обслуживание АРС-приложений осуществляется по двум направлениям: системному и технологическому.

Смысл первого достаточно прост: прошедшие необходимый курс обучения у фирмы-разработчика системы инженеры АСУТП заказчика следят за корректностью работы ПО АРС, установленного на специальном сервере РСУ, при необходимости переустанавливают ПО после проведения тех или иных работ на РСУ, инсталлируют обновленные версии ПО, поступающие от фирмы-разработчика, обеспечивают передачу автоматически генерируемых отчетов о работе системы заинтересованным специалистам по заводским сетям или разработчику по глобальной сети, модернизируют операторский интерфейс системы в соответствии с пожеланиями технологов.

Что касается второго – технологического – направления, то задачи здесь намного сложнее. Работа поддерживающего систему технолога до определенной степени напоминает функции ее создателей, но только в значительно ослабленном, усеченном виде. Здесь и анализ существующего производства в целях выявления возникающих технологических ограничений, которые могут повлиять на работу системы, и мониторинг работы виртуальных анализаторов, включая их периодическую подстройку и анализ причин их неадекватного поведения (если подстройка не дает желаемого эффекта), и постановка новых задач управления и оптимизации в контексте меняющегося производственного окружения. Границы обязанностей технолога, сопровождающего АРС-систему, достаточно размыты – во многом они определяются характером договорных отношений между фирмой-разработчиком и пользователем. Спектр вариантов весьма широк: от практически полностью самостоятельной поддержки системы технологами заказчика с возможным кратким консалтингом разработчика по телефону или электронной почте до сведения технологической поддержки на месте к минимуму: подготовке пакетов данных в требуемом формате и отправке их разработчику, осуществляющему на договорной основе всю дальнейшую аналитику и развитие системы.

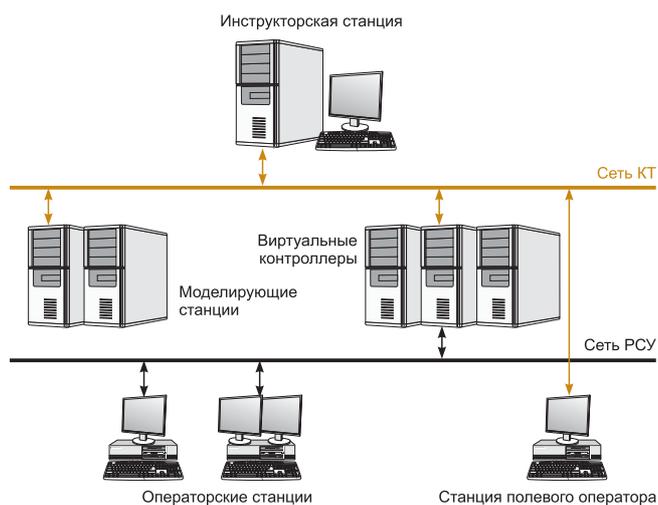


Рис. 2. Принципиальная схема компьютерного тренажера

Каковы требования к технологам, осуществляющим поддержку АРС-систем на производстве? Они напоминают те, которые были сформулированы выше применительно к инженерам разработчикам, но, опять же, в усеченном варианте. Здесь и понимание конкретного ТП и всего производства (что естественно для технолога), и знание основ многомерного автоматического управления (что не входит в стандартную программу обучения технологов), и глубокое понимание специфики, потенциальных возможностей и ограничений реализованных разработчиком решений и технологии АРС в целом, и владение средствами моделирования показателей качества продуктов.

К сожалению, перечисленный набор знаний, за исключением собственно химической технологии и относящихся к ней дисциплин, остается вне институских программ обучения инженеров-технологов, и в этом заключается причина острого дефицита на производстве подготовленных кадров, способных взять на себя сопровождение и развитие АРС-систем и других наукоемких продуктов. Решение этой проблемы видится в дополнении существующих учебных программ технических вузов соответствующими специальными курсами и практическими занятиями с применением инновационных средств и методик обучения. Опыт организации такого обучения на базе концепции "виртуального завода" изложен ниже.

#### Системы инжиниринга на основе имитационного моделирования ТП

Компьютерные тренажеры (КТ) — эффективное средство инжиниринга навыков оперативного персонала. Появившись в своем современном виде на рубеже 70- и 80-х годов прошлого столетия, КТ превратились в незаменимое по эффективности и методической наполненности средство подготовки персонала ТП — как операторов, так и обслуживающего персонала (полевых обходчиков, специалистов КИПиА и др.). Обеспечивая тренинг в реалистических условиях, они дают операторам возможность взаимодействовать с "процессом", не боясь "что-нибудь сломать", и помогают принимать

обоснованные решения. Динамические тренажеры очень важны для адаптации обучаемых к поведению реального объекта и выработки ими верных способов реагирования в различных производственных ситуациях. Особо отметим специальные тренажерные средства для инженеров КИП, позволяющие в безопасных для ТП условиях практиковаться в настройке системы базового и расширенного регулирования [5].

Мировой рынок тренажеров в перерабатывающих отраслях достиг в 2008 г. годового объема продаж в 400 млрд. долл. США при прогнозе на 2014 г. более чем в 750 млрд. долл. США и среднегодовом росте в 11,8% [6]. С впечатляющей скоростью развивается использование КТ на российских предприятиях, и, как представляется, единственным фактором, сдерживающим дальнейшее распространение качественных тренажерных продуктов, в ближайшем будущем может стать лишь недостаток подготовленных кадров разработчиков и эксплуатационников.

Преодоление такой ситуации — задача непростая, поскольку КТ представляют собой, может быть, наиболее "синтетическую" технологию из всех ВСПА. Тренажеры включают самые разнообразные технологические, функциональные и методические компоненты — от высокоточных имитационных моделей установок до дидактической базы тренинга, учитывающей психологические основы формирования и закрепления операторских навыков. Столь же многообразны и профессиональные навыки, необходимые для работы с КТ.

В техническом составе тренажеров присутствуют три основных функциональных компонента тренинга: модель технической системы (включая модель ТП и модель системы управления), информационная модель (операторский интерфейс) и модель обучения (интерфейс инструктора). Модели ТП и системы управления (СУ) реализуются на соответствующих моделирующих станциях, операторские интерфейсы — на рабочих станциях оператора, а инструкторский интерфейс — на рабочей станции инструктора (рис. 2). Для имитации средств управления "по месту" в состав КТ может входить рабочая станция полевого оператора.

Пользователи КТ очень разнообразны и в целом "покрывают" все аспекты тренажерной технологии. Среди них должны быть "управленцы", отвечающие за общий ход разработки и эксплуатации тренажера; им необходимо общее понимание содержания и организации тренажерного проекта. Другие пользователи будут выступать в роли инструкторов тренинга, это могут быть опытные операторы, технологи, специалисты служб автоматизации, инженеры по промышленной безопасности и подготовке кадров.

Конечно, многим пользователи могут научиться у "внедренцев" на стадии реализации проекта — разработчики в обязательном порядке включают в объем услуг подготовку инструкторов компьютерного тренинга. В то же время, было бы весьма полезным (как для предприятия-заказчика, так и для всего тренажерного проекта), если бы пользователи КТ получили общие пред-

ставления о составе и функциях тренажеров в вузах. Это особенно важно на этапе тендера на КТ, когда будущие эксплуатационщики как члены тендерной команды определяют требования к тренажеру и выбирают "правильного" исполнителя. Опыт показывает, что пока этот ключевой момент успешности тренажерного проекта учитывается не в полной мере [7].

Профессиональная подготовка разработчиков КТ – отдельный вопрос. Если техническая сторона построения тренажеров (создание пользовательских интерфейсов, интеграция модели с имитируемыми системами управления, реализация инструкторских функций) – традиционная деятельность специалистов по автоматизации и информатизации в промышленности, то создание тренажерных моделей ТП требует уникального соединения знаний и навыков в области математического моделирования, вычислительных методов, процессов и аппаратов химической технологии и т.д. В современных отечественных вузах такой образовательный синтез не обеспечивается, и большинству "модельеров" приходится добирать недостающую квалификацию "на ходу". Широкое распространение КТ и смежных инструментов, использующих технику имитационного моделирования ТП, должно, с одной стороны, привести к появлению в классических университетах курсов технологии и основ автоматического управления, а с другой, – к углублению подготовки технологов и инженеров АСУТП по математическому моделированию процессов. Также может быть усилена и вузовская подготовка инженерных психологов, влияющих в тренажерные команды.

Часть разработчиков (назовем их *Исследователями*) создают собственно тренажерные технологии. КТ принадлежат к продуктам, которые не могут "застыть" в навсегда завершенной форме. Меняющийся от проекта к проекту состав КТ (новые технологические установки, системы управления и противоаварийной защиты), а также постоянно растущие требования к тренажерам (высокоточные модели ТП и воспроизведение операторских интерфейсов, эффективные средства предтренажерной подготовки и пр.) заставляют производителей постоянно поддерживать и модернизировать свои тренажерные средства. Необходимые для этого специалисты в конкретных дисциплинах, составляющих технологию КТ, должны предметно подготавливаться на профильных кафедрах вузов.

*Средства инжиниринга ТП и систем управления*, также основанные на технологии имитационного моделирования, все более интенсивно проникают в промышленность [8]. Так, с помощью статического моделирования

*И всякий из нас, кто предполагает, что может руководить другими, должен постоянно и напряженно учиться.*

А.В. Луначарский

можно оценить различные операционные сценарии для определения требований к производительности оборудования. Это помогает сократить капитальные затраты и устранить "узкие места" производственного процесса. Столь же важен инжиниринг системы управления, от грамотности внедрения которой зависит достижение операционных целей и недопущение сбоев в работе. Динамическое моделирование позволяет воспроизвести реалистичные сценарии, по которым инженеры смогут протестировать конфигурацию системы в динамике, вместо того чтобы использовать традиционный метод статической проверки. В результате можно проверить:

- конфигурацию операторских станций с точки зрения ясности и наглядности представления ТП;
- способность системы сигнализации и аварийных сообщений привлекать внимание оператора к возможным сбоям;
- возможности системы базового регулирования поддерживать надежную работу оборудования;
- способность системы противоаварийной защиты предупреждать выход объекта за допустимые пределы безопасной работы.

Тем, кто будет использовать указанные системы в своей производственной практике (будущие технологи и инженеры АСУТП), необходимы базовые представления об имитационном моделировании и навыки работы с мощными пакетами моделирования ТП. В этом смысле чрезвычайно важно распространение в вузах таких программных средств. Среди них – система моделирования UniSim Design, безвозмездно распространяемая корпорацией Honeywell в профильных вузах по всему миру (в том числе и в России).

#### Опыт инновационного обучения специалистов по промышленной автоматизации

Какой же вывод можно сделать из анализа необходимых профессиональных знаний и навыков для современных специалистов по ВСПА РВ? По-видимому, такой, что традиционное преподавание отдельных дисциплин не решает проблемы, даже если добавить в расписание студентов факультетов автоматизации курсы по технологии, линейному программированию, человеко-машинным системам и пр. (Хотя это, несомненно, должно делаться в нужном объеме и последовательности<sup>1</sup>). Опыт передовых зарубежных вузов и здравый смысл требуют перехода к инновационным образовательным проектам, смысл которых в вовлечении будущих специалистов-разработчиков в профес-

<sup>1</sup>Последовательность изучения дисциплин, составляющих комплекс знаний специалиста в области высоких технологий, очень важна. См. в этой связи анализ ситуации, сложившейся в вузах при преподавании курсов, необходимых для освоения технологии имитационного моделирования, в работе [9]. Согласно приводимому здесь примеру, имитационное моделирование вводится на 3 курсе до изучения математического моделирования и до того, как сформировалось представление о профессиональной предметной области; на том же курсе одновременно даются теория вероятности и системный анализ! Не совершенен и сам стандарт по дисциплине "Имитационное моделирование".

сиональную среду разработки (например, через механизм базовых кафедр), и во внедрении в процесс обучения ВСПА как лабораторного полигона для выработки необходимых профессиональных навыков. Ниже обсуждается опыт корпорации Honeywell в решении обеих этих задач в отечественных вузах.

#### **Базовая кафедра МФТИ как инкубатор разработчиков систем автоматизации**

С момента своего создания Московский физико-технический институт был первым в мире техническим университетом, реализовавшим инновационное обучение в сфере высоких технологий через механизм базовых кафедр. Совершенно естественной поэтому выглядит кооперация МФТИ, корпорации Honeywell (мирового лидера в области систем управления) и Института проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН (ИПУ РАН) в подготовке кадров разработчиков систем управления на созданной в начале 2000-х годов базовой кафедре "Техническая кибернетика". Ведущие ученые ИПУ РАН преподают студентам 4 и 5 годов обучения современные, соответствующие мировым требованиям теоретические курсы, необходимые разработчикам систем 3 и 4 этажей пирамиды промышленной автоматизации (рис. 1). Среди них "Оптимизация и управление", "Исследование операций", "Дополнительные главы теории управления" и др. Ведущие

специалисты корпорации Honeywell знакомят этих студентов с основами управления промышленными системами, усовершенствованным управлением и прикладной оптимизацией, имитационным моделированием и т.д. Иными словами, специалисты Honeywell готовят их к высокотехнологичной практической работе в составе своих реальных проектных групп или коллективов ведущих отечественных фирм-интеграторов ВСПА. Эта практическая работа студентов 4, 5 и 6 курсов является основой инновационного обучения. В результате выпускники вполне соответствуют требованиям мировых лидеров, создающих, внедряющих и эксплуатирующих самые современные системы промышленной автоматизации.

Выпускники кафедры успешно работают в российском отделении корпорации Honeywell (таких большинство), в ЗАО "Институт энергетических систем", в компании "Энергоавтоматика", в НК "ЛУКОЙЛ", в ИПУ РАН и др. Механизм базовых кафедр в очередной раз доказал свою эффективность в ответе на вызов времени — на этот раз в промышленной автоматизации.

**Подготовка студентов, магистрантов и аспирантов на базе высокотехнологичных решений по промышленной автоматизации реального времени**  
Опираясь на свой многолетний опыт моделирования и разработки средств управления и оптимизации

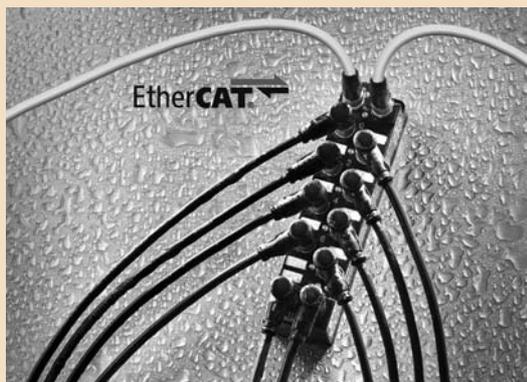
#### **Водонепроницаемые EtherCAT-модули ввода/вывода расширяют сферу применения**

За счет выпуска водонепроницаемого модуля ввода/вывода EP2338 (рисунок) серии EtherCAT Box компания Beckhoff расширила свой ассортимент устройств ввода/вывода с классом защиты IP 67, дополнив его новым динамичным 8-канальным дискретным вариантом. Каналы модуля EP2338 можно использовать для ввода или для вывода сигналов, что придает этому компактному устройству исключительную гибкость в применении, позволяя существенно упростить работы по проектированию и сократить запас требуемого оборудования, поскольку при подключении устройства к станку входы/выходы можно определять в зависимости от обстоятельств.

EtherCAT-модуль EP2338 в водо- и пыленепроницаемом корпусе имеет восемь свободно назначаемых дискретных входов/выходов. Постоянная фильтра для входных сигналов составляет 10 мкс. Выходы, рассчитанные на нагрузку до 0,5 А, имеют защиту от короткого замыкания и от обратной полярности. Если какой-либо канал используется как выход, параллельно считывается входной сигнал, что может быть использовано для анализа коротких замыканий.

Готовые, предварительно смонтированные кабели упрощают подключение к EtherCAT, помогая не до-

пускать ошибок при соединении и ускоряя ввод системы в эксплуатацию. Помимо готовых EtherCAT-кабелей, кабелей питания и датчиков Beckhoff предлагает соединители и кабели для конфигурирования непосредственно на местах, что помогает максимально повысить гибкость системы. Для подключения сигнальных проводов можно дополнительно использовать винтовые соединители M8 (EP2338-0001) или M12 (EP2338-0002).



Семейство водонепроницаемых EtherCAT-модулей с прямым EtherCAT-интерфейсом расширяет возможности системы ввода/вывода Beckhoff с классом защиты IP 67. Эти компактные модули размером всего 126×30×26,5 мм (В×Ш×Г) обеспечивают свойственную EtherCAT высокую пропускную способность 100 Мбит/с

на уровне каждого отдельного устройства IP 67. Применение таких модулей особенно целесообразно в условиях ограниченного пространства или невозможности установки шкафов управления, например, на сборочных линиях по производству полупроводников или на упаковочных машинах. Малый вес EtherCAT-модулей делает их удобными для использования в условиях, требующих подвижного интерфейса ввода/вывода, например в манипуляторах.

*Контактный телефон (495) 981-64-54. E-mail: [russia@beckhoff.com](mailto:russia@beckhoff.com) [Http://www.beckhoff.ru](http://www.beckhoff.ru)*

производственных процессов нефтепереработки, корпорация Honeywell реализует на кафедре "Технология переработки нефти" Российского государственного университета нефти и газа им. И.М.Губкина проект "Виртуального НПЗ", базовые положения которого сводятся к следующему.

На сегодня Государственным образовательным стандартами в вузах закреплён предметный подход к обучению. Однако вузы не могут иметь в своей структуре реальные производственные объекты, а из-за отсутствия среды обучения, адекватно моделирующей реальную среду деятельности специалистов современных НПЗ, выпускники не могут овладеть многими важными профессиональными навыками. Оснащая вузы компьютерными моделями технологического оборудования, ТП и нефтеперерабатывающего предприятия в целом, можно создавать на их основе виртуальные рабочие места специалистов различного профиля, участвующих в работе НПЗ (технологов, механиков, энергетиков, экономистов, специалистов по КИП и А и др.). Такие рабочие места могут быть связаны между собой, как это имеет место на реальном производстве. Это позволит проводить междисциплинарные занятия, имитировать не только соответствующие производственные процессы, но и производственную деятельность в целом, развивая навыки анализа ситуации, принятия и исполнения решений. Подход, положенный в основу Виртуального НПЗ, позволяет создать компьютерную модель предприятия в целом как учебную модель информационной среды профессиональной деятельности выпускника, что даст возможность проводить некоторые виды практик и специальную целевую подготовку специалистов.

В комплекс ПО виртуального НПЗ входят следующие компоненты.

1. *Компьютерные тренажеры для отдельных аппаратов и технологических узлов* – уровень технологических агрегатов. Здесь моделируются типовые элементы технологического оборудования и систем управления, являющиеся составной частью ТП во многих отраслях промышленности: химии, нефтехимии, нефтепереработке, нефте- и газодобыче, энергетике и др. Изучение этих средств необходимо в первую очередь будущим технологам, уже прошедшим (или проходящим) необходимую теоретическую подготовку, но не обладающим производственным опытом и не имеющим практических навыков оперирования данным оборудованием.

Для описываемого проекта этот уровень содержит модели смесительного резервуара, системы емкостей, насоса и клапана, сепаратора, центробежного компрессора, бинарной дистилляции, печи-подогревателя на двойном топливе, пакет средств базового автоматического регулирования. Часть из них уже давно функционирует в тренажерном классе Университета, другие были переданы туда в рамках Виртуального НПЗ.

2. *Компьютерные тренажеры для основных технологических установок* завода, включая средство оптимального управления ТП (АРС-система) на примере

одной из установок завода – уровень технологических установок.

Используемые в проекте модели установок являются типовыми, и этот выбор для университетского проекта не случаен. Нефтепереработчики хорошо знают, что среди множества однотипных установок нет двух одинаковых, даже если установки имеют одинаковые названия. Однако конструктивные отличия, технологические особенности и специфика систем управления важны при шлифовке навыков управления конкретной технологической установкой у операторов высоких разрядов, хорошо знающих и "чувствующих" свою установку и привыкших к своей системе управления. Важны они и для обучения операторов при переходе на новую, более сложную систему управления. В то же время при обучении будущих специалистов эта конкретика не нужна, и даже может повредить, навязывая студентам жесткие стереотипы устройства и поведения ТП. Модели типовых технологических установок, наоборот, позволяют "абстрагироваться" от особенностей конкретных, индивидуальных установок, сохраняя все главные элементы технологии и системы управления, которые необходимы для обучения. При этом они сохраняют все основные достоинства точного моделирования: полномасштабность, реалистичную динамику и методическое наполнение.

В рамках описываемого проекта используются типовые модели установок первичной переработки (по стандарту ЭЛОУ-АВТ-6), каталитического риформинга, каталитического крекинга, гидроочистки, висбрекинга, газофракционирующей установки, замедленного коксования, производства серы, пропановой деасфальтизации. В других проектах набор моделей, разумеется, может изменяться, чтобы более точно отразить потребности вуза. Как и в случае базовых моделей, часть этих продуктов уже давно переданы в тренажерный класс Университета, другие "достраиваются" в рамках Виртуального завода.

Обширная методическая база обучения на этих тренажерных моделях (например, модель каталитического риформинга оснащена 27-ю, а модель установки ЭЛОУ-АВТ-6 – 20-ю тренировочными упражнениями на отказы технологического оборудования и КИПиА, изменения состава сырья, разрывы труб в печи, сбой в работе системы общезаводского хозяйства и пр.) совместными усилиями специалистов Honeywell и преподавателей кафедры оформлена в специальных методических пособиях [10].

Столь масштабный проект стал возможен благодаря объединению спонсорских вкладов компании ТНК-ВР и корпорации Honeywell и находится на решающей стадии своей реализации. Близится к завершению "строительство" Виртуального завода, то есть большая часть его компонентов передана Университету, и все они уже работают в автономном режиме. На завершающем этапе работ будет реализовано взаимодействие между отдельными компонентами Виртуального НПЗ. В результате установки будут перерабаты-

вать сырье, свойства которого получены из лабораторной системы, результаты работы установок будут учитываться в системе смешения товарных продуктов, в системе планирования производства, смете затрат и т.п. Будет реализована также работа АРС-системы на тренажерной модели установки первичной переработки нефти. Уже сейчас ПО семейства средств усовершенствованного управления (АРС) передано на факультет автоматики и вычислительной техники Университета вместе с большим пакетом средств промышленной автоматизации среднего уровня управления (MES). Проблеме их использования для обучения специалистов (в том числе в рамках Виртуального НПЗ) будет посвящена вторая часть статьи.

Целевая группа, для которой осуществляется проект Виртуального НПЗ, включает:

- студентов 4 и 5 курсов технологических факультетов,
- студентов 4 и 5 курсов сопряженных специальностей,
- магистрантов второго года обучения и аспирантов.

Уже сегодня занятие на различных элементах Виртуального НПЗ проходят сотни будущих специалистов. Подробнее о проекте см. [11, 12].

#### Заключение

Подготовка полноценных специалистов по автоматизации как будущих практиков, так и будущих разработчиков, способных соответствовать требованиям промышленности XXI века, немыслима в старой парадигме вузовского учебного процесса. Решение проблемы — в объединении усилий ведущих вузов, располагающих мощными профессорско-преподавательскими кадрами, и разработчиков современных средств автоматизации, имеющих передовые аппаратные и программные продукты, эксклюзивные "ноу-хау" и опытных специалистов. Формы такого сотрудничества самые разнообразные: от поддержки производителями ВСПА базовых кафедр университетов до спонсорского участия фирм в инновационных образовательных проектах. Выгоды всех участников процесса очевидны. Вузы качественно повышают уровень подготовки молодых специалистов. Фирмы пополняют кадровый ресурс разработчиков и готовят грамотных пользователей своих решений. Отечественное производство получает новых работников, способных с выгодой для предприятия эксплуатировать системы автоматизации, без которых невозмож-

но поддержать конкурентоспособность бизнеса. Главные надежды связаны с теми российскими учеными и специалистами, которые заняли ключевые позиции в мировых компаниях-разработчиках систем управления.

Корпорация Honeywell, в российском отделении которой работают ведущие российские ученые в области промышленной автоматизации, будет всемерно поддерживать и развивать такое сотрудничество на всех доступных образовательных площадках.

#### Список литературы

1. Bainbridge L. Ironies of Automation // Automatica. 1983. Vol. 19. № 6.
2. Ицкович Э.Л. Интеллектуальность средств и систем автоматизации // Автоматизация в промышленности. 2006. № 6.
3. Розенберг Л.С., Рудяк К.Б., Исаев В.Б. и др. Повышение эффективности работы установки первичной переработки нефти с помощью системы усовершенствованного управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2007. № 2.
4. Макарова Т. Прогресс приносит прибыль // iTime. 2009. № 1(11).
5. Dozortsev V.M., Kneller D.V. and Shestakov N.V. A Simulation Complex for Instrument Specialist Training // Proc. XVI IMEKO World Congress. Vol. II. Vienna. 2000.
6. Real-time Process Optimization and Training Outlook. Five Year Market Analysis and Technology Forecast through 2013 — ARC Advisory Group. 2009.
7. Дозорцев В.М. Разработка тренажера для обучения операторов технологических процессов: основные участники, их роли и взаимодействия // Автоматизация в промышленности. 2009. № 5.
8. Стефенсон Г., Хендерсон П., Шиндлер Г., Дозорцев В.М. За пределами тренинга операторов: другие области применения имитационного моделирования технологических процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2009. № 6.
9. Углев В.А. Имитационное моделирование. Из опыта преподавателя // Сб. докладов. IV Всеросс. научно-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности "Имитационное моделирование. Теория и практика". ИММОД-2009. Т. 2.
10. Дозорцев В.М., Шестakov Н.В., Яушев Р.Г. Компьютерный тренажерный комплекс "Установка первичной переработки нефти с предварительным обессоливанием (ЭЛОУ — АВТ) // Уч. пособие для студентов технологических специальностей ВУЗов нефтегазового профиля. — РГГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. М. 2003.
11. Батутов А. Реальная польза "Виртуального НПЗ" // Нефть России. 2009. № 8.
12. Высокотехнологичные средства управления // Специальный выпуск журнала "Нефть России". 2009.

*Дозорцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, руководитель отдела ЗАО "Хоневелл", проф. кафедры "Технология переработки нефти" РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина,*

*Кнеллер Дмитрий Владимирович — канд. техн. наук, руководитель отдела ЗАО "Хоневелл",*

*Соркин Леонид Рафаилович — д-р техн. наук, проф., директор по развитию бизнеса корпорации "Хоневелл" по России и странам СНГ, заведующий кафедрой "Техническая кибернетика" МФТИ,*

*Шестков Николай Вадимович — д-р техн. наук, директор по высокотехнологичным решениям и консалтингу ЗАО "Хоневелл", проф. кафедры "Технология переработки нефти" РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.*

*Контактный телефон (495) 334-87-71.*

*E-mail: victor.dozortsev@honeywell.com / dmitry.kneller@honeywell.com*