



СОВРЕМЕННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТП

В.М. Дозорцев, Е.Ю. Крейдлин (ЗАО "Хоневелл")

Описаны задачи управления и инжиниринга, решаемые с помощью автоматизированных систем моделирования ТП. Приводятся практические примеры решений. Описывается система UniSim Design, обеспечивающая моделирование всех этапов производственного цикла предприятия.

Ключевые слова: имитационное моделирование, инжиниринг ТП и систем управления, системы усовершенствованного управления.

Введение

Автоматизированные системы моделирования процессов химико-технологического типа исторически развивались в рамках двух разных направлений рынка высокотехнологических средств автоматизации. Первое направление — компьютерные тренажеры (КТ) для обучения операторов ТП — за последние 20...30 лет превратилось в быстрорастущий сегмент рынка с годовым объемом продаж в 2008 г. почти в 400 млрд. долл. США при прогнозе на 2014 г. более чем в 750 млрд. долл. США и среднегодовом росте в 11,8% [1]. В таких отраслях промышленности, как нефте- и газодобыча, нефтепереработка, химия, нефтехимия, фармацевтика, энергетика, целлюлозно-бумажная и др. КТ стали незаменимым инструментом обеспечения безопасности и эффективности управления ТП. На сегодня два десятка крупных и средних фирм-разработчиков по всему миру производят сотни тренажерных систем в год, реализуя в них высокоточные модели ТП, достоверные операторские интерфейсы и среду управления, развитые средства автоматизированного инструктирования. Характеристики основных производителей даны в русскоязычной работе [2].

При этом пользователи КТ давно ощутили, что эффект тренажеров возникает задолго до начала подготовки персонала и проявляется на всех этапах производственного цикла, в том числе через продолжительное время после пуска производства. Ясно также, что ключевое условие повышения отдачи от тренажеров и, как следствие, повышения эффективности производства как раз и состоит в комплексном использовании имитационного моделирования для воспроизведения ТП и оценки влияния его функционирования на производственные показатели.

Вместе с тем, независимо от КТ существовало и развивалось другое направление — системы для инженерных расчетов и моделирования ТП, служащие для конструирования и анализа вновь создаваемых процессов, мониторинга, диагностики и тестирования существующих процессов, проверки и настройки систем управления, балансировки и верификации данных и решения постоянно расширяющегося списка других задач инжиниринга. Эти системы, возникшие на базе статического моделирования как АРМ технологов, постепенно развились в

мощные инструменты статического, а затем и динамического моделирования. Сегодня на рынке широко представлены продукты известных фирм-производителей, таких как AspenTech, ProSim, SimSci-Esscor, KBC, ChemStations и др.

Общая тенденция унификации средств автоматизации в рассматриваемом сегменте состоит в использовании построенных на единой базе моделей для решения различных задач управления и инжиниринга ТП [3]. В этом контексте логичным было ожидать объединения двух представленных направлений, то есть инкорпорирования специализированных высокоразвитых средств моделирования ТП в современные мощные тренажерные платформы. Первый серьезный пример такого объединения появился несколько лет назад, когда система моделирования HYSYS, разработанная фирмой Huprotech и приобретенная затем фирмой AspenTech, перешла к корпорации Honeywell, крупнейшему мировому производителю КТ [1].

Результатом развития указанной системы, получившей название UniSim Design, явилось мощное средство, позволяющее на единой платформе моделирования эффективно решать широкий круг задач от построения высокоточных тренажерных моделей процессов до оптимизации управления и планирования производства.

Настоящая работа преследует две основные цели: дать обзор разнообразных задач управления и инжиниринга, решаемых с помощью автоматизированных систем моделирования и описать архитектуру и функциональность одной из таких систем.

Имитационное моделирование ТП в задачах управления и инжиниринга

Существует несколько направлений использования технологии имитационного моделирования, каждое из которых позитивно отражается на безопасности и устойчивости работы предприятия, снижает оперативные и капитальные затраты, а также вредное воздействие производства на окружающую среду.

Совершенствование производства до начала строительства

Совершенствовать ТП намного сложнее и дороже после начала строительства. Имитационное моделирование процесса может улучшить основные проект-

но-технические решения, что крайне важно, поскольку 60% капитальных вложений делается на ранних стадиях проектирования. В результате удается снизить расходы на реализацию проекта, уложиться в отведенные сроки и минимизировать риски. Укажем основные выгоды этого этапа.

- Оптимизация капитальных затрат — для решения этой задачи может применяться как статическое моделирование (для определения требований к производительности оборудования и расшивки "узких" мест ТП), так и динамическое моделирование (для оценки различных производственных сценариев).

- Проектирование системы управления — от грамотности внедрения АСУ зависит достижение операционных целей и недопущение сбоев в работе ТП. Динамическое моделирование позволяет воспроизвести реалистичные сценарии, по которым АСУ может быть протестирована в динамике (в противовес традиционному методу статической проверки). В результате можно оценить:

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

В целом использование динамических моделей на этапе проектирования гарантирует сокращение расходов и получение прибыли в будущем за счет более быстрого пуска производства. Инженеры и технологи могут формулировать свои проблемы пока проектируемые процессы находятся еще на чертежных досках. В то же время выявление ошибок проектирования отдельных элементов оборудования или даже части всей технологической схемы позволяет "вернуть" значительно больше, чем затраты на динамическое моделирование. Если же эти проблемы обнаружатся после ввода объекта в эксплуатацию, на их решение может потребоваться несколько лет.

Проверка инженерных решений

Инжиниринговые исследования на этапе проектирования (до основных инвестиций и пуска основных производственных процессов) позволяют оптимизировать использование оборудования, убедиться, что учтены все требования надежности и безопасности, а также подтвердить готовность производственных фондов к вводу в эксплуатацию. Таким же образом может быть проанализировано воздействие различных технологических и управленческих решений на эргономическую и экологическую среду, а также на экономический фактор производства (включая анализ потенциальных опасностей).

В сочетании с профессиональной подготовкой операторов такие исследования помогают выявить недо-

статки в конфигурации систем распределенного управления (РСУ) и систем противоаварийной защиты (ПАЗ). Например, динамическое моделирование больших компрессоров позволяет изучить потенциальные ошибочные ситуации в работе оборудования и выявить любые дефекты системы их защиты. Ущерб от поломки компрессоров во время реальной эксплуатации может составить десятки миллионов долларов, поскольку включает не только затраты на приобретение нового или ремонт существующего оборудования, но и потерю прибыли во время простоя предприятия. Более того, при серьезном повреждении крупных компрессорных систем (если необходима полная или частичная замена оборудования) на внедрение нового оборудования может потребоваться 2...3 года.

Другой пример — исследование пропускной способности факельной системы. Динамическое моделирование позволяет понять, способна ли она выдерживать новые увеличенные нагрузки вследствие расширения производственных мощностей. Во многих случаях исследование показывает, что необходимости в расширении системы сброса на факел нет, и, как в примере с компрессорами, это позволяет сэкономить десятки миллионов долларов.

Разработка и обоснование операционных процедур и стратегий

Для достижения желаемых производственных результатов могут использоваться разные стратегии управления. Это заставляет пользователя определить, какая стратегия (или какое сочетание стратегий) будет наилучшей и при этом негативно не отразится на устойчивости производства. Динамическое моделирование на этапе проектирования позволяет предсказать, как будет вести себя ТП во время пуска, и, таким образом, составить и проверить эффективные процедуры и стратегии управления еще до начала строительства.

Такие исследования проводятся до начала решающей стадии реализации проекта, что способствует снижению проектных рисков, позволяет избежать задержек и дополнительных затрат непосредственно на объекте.

Для одного из заводов по производству сжиженного природного газа на раннем этапе проектирования была разработана модель контура рециркуляции хладагента. С ее помощью заказчик менее чем за полчаса убедился, что следует изменить схему пуска производства, поскольку у завода нет пропана, достаточного для получения необходимого для пуска запаса хладагента.

Для проекта по разработке газового месторождения в Новой Зеландии был построен динамический тренажер и организовано обучение персонала. В тренажерную модель было включено все оборудование предприятия, а на рабочем месте обучаемого оператора использовалась точная копия реальных РСУ. При создании, тестировании и дальнейшем использовании тренажерной модели были выявлены многочисленные возможности усовершенствования реального ТП. Имитационное моделирование позволило

до пуска объекта тщательно протестировать производственную схему, базовое регулирование, систему ПАЗ, графику РСУ и операционные процедуры.

Анализ производственных процессов

Имитационное моделирование ТП и стратегий управления до пуска объекта повышает надежность производства, но не устраняет необходимости его постоянного совершенствования. На практике множество факторов может оказать негативное влияние даже на самые отлаженные процессы.

Один из таких факторов — это задержки материала внутри аппаратов. Оборудование, для которого свойственны значительные задержки (такие как конденсаторы, дистилляционные колонны и реакторы), может негативно влиять на материальные потоки во всем процессе. Для выявления таких эффектов традиционно использовалось статическое моделирование, но для анализа их развития во времени и оценки их влияния на устойчивость производства в целом необходимо динамическое моделирование.

Например, на различных стадиях производственного цикла целлюлозно-бумажного завода функционирует множество варочных котлов, обслуживаемых единой системой водоснабжения. Статические модели не позволяют заказчику убедиться в том, что у него достаточно воды для обслуживания всех котлов, потому что последние могут работать в разное время. Динамическая модель обеспечивает такую проверку при реализации всех производственных сценариев.

Статические модели могут подсказать, в какой режим перейдет ТП после изменения управления, но не могут показать, насколько устойчивым будет процесс после такого перехода. С помощью динамических моделей можно предсказать траекторию перехода процесса из одного состояния в другое в широком временном диапазоне. Эта критически важная информация позволяет понять, правильно ли работает система управления. В результате пользователь может манипулировать процессом и выводить его параметры за нормальные значения с целью проверить потенциал повышения производительности без угрозы отказов.

Усовершенствованные системы управления технологическими процессами

Особо актуальный пример использования динамической модели ТП для управления процессом — усовершенствованные системы управления (Advanced Process Control, APC) [4]. Идея APC — прогнозирование будущего поведения ТП и выбор такого управляющего воздействия, которое обеспечивает лучшее значение заданного критерия качества функционирования объекта при соблюдении ограничений технико-экономического характера. В результате удается решить разнообразные задачи управления процессом от высококачественной стабилизации выходных переменных до оптимизации экономических показателей производства. На нижнем уровне APC-системы (управление группами оборудования или отдельными установками), как правило, для прогнозирования используются простые входо-вы-

Прежде старайся исследовать вещи, находящиеся вблизи тебя, затем те, которые удалены от твоего зрения.

Пифагор Самосский

ходные модели; но для оптимизации работы группы установок или всего производства в целом необходимы фундаментальные имитационные модели ТП.

Так, при переходе на новые марки в производстве полимера задача APC-системы состоит в плавном и, по возможности, быстром переходе между марками полимера, чтобы максимально сократить образование вещества, не соответствующего техническим требованиям. Для этого используются динамические модели реакций полимеризации, учитывающие характеристики сырья и оборудования. На основе оценки текущего состояния модели и желаемого конечного состояния полимера вычисляется оптимальная траектория перехода и соответствующие уставки для системы регулирования. При этом учитываются существующие экономические и производственные ограничения.

Выгоды от использования имитационного моделирования в рассматриваемой APC-системе:

- нахождение наиболее эффективного решения с учетом имеющихся ограничений (как правило, это и самое быстрое решение);
- минимальные потери материала;
- расширение диапазона управления, как минимум на 50% от нормального режима;
- оценка новых марок полимера по сценариям "Что произойдет, если?".

Обычно в ходе реализации APC-проектов основные временные затраты относятся к следующим этапам:

- анализ проектной документации;
- настройка контуров регулирования;
- испытания на ступенчатые воздействия ("пошаговое тестирование" ТП);
- построение модели ТП по данным пошагового тестирования;
- ввод APC-приложений в эксплуатацию.

Точное динамическое моделирование ТП может использоваться для упрощения всех вышеперечисленных стадий. В проекте APC-системы деметанизатора, недавно реализованном фирмой Honeywell на Ближнем Востоке [5], отклонение полученной имитационной модели от проектных теплового и материального балансов не превысило 2%. Эта модель была использована в качестве заменителя реального ТП, именно на ней позднее проводились настройка контуров регулирования и пошаговое тестирование, и именно этим моделируемым "ТП" управляла созданная APC-система на этапе ее настройки и "офисных" испытаний без какого-либо риска для реального объекта. Это также позволило операторам освоиться с APC-системой на самых ранних этапах обучения.

Другой пример — усовершенствованная система управления производством фталевого ангидрида на заводе компании DEZA (Чехия).

Поиск и устранение неисправностей

Динамические модели — эффективный инструмент поиска и устранения неисправностей в процессе. На одном из введенных в эксплуатацию заводов по производству метилмеркаптана были обнаружены проблемы в работе шлема стриппинг-колонны сероводорода. Операторам никак не удавалось установить стабильный расход воды из сборника дистиллята. Для исследования ситуации и предотвращения ее неблагоприятных последствий была использована динамическая модель ТП. На модели был подобран режим, при котором операторы смогли установить необходимый отток воды из сборника дистиллята. Модель была запущена на 24 часа, чтобы понять, повлияет ли наличие избыточной жидкости на работу резервуаров, расположенных ниже по технологической цепочке. Наблюдение показало, что процесс протекает в рамках нормы по всей технологической схеме. Решение было перенесено на реальный ТП.

Балансировка и верификация данных

Имитационные модели могут с успехом использоваться в задачах определения материальных и тепловых балансов, обнаружения неправильных измерений и сглаживания данных для целей мониторинга, долгосрочного планирования и статической оптимизации производства. Недоучет возможных дисбалансов резко снижает качество управления производством, а применение имитационного моделирования позволяет эффективно обнаруживать и отсекают несостоятельную и противоречивую информацию, подключая к анализу текущие измерения переменных процесса и данные лабораторных анализов [6].

Поддержание тренажеров и имитационных моделей

Важнейшее условие высокой отдачи от тренажеров и имитационных моделей — постоянное поддержание их на высоком уровне. Не секрет, что продукты, основанные на имитационном моделировании, могут, образно выражаясь, "покрываться пылью", и потому к ним необходимо относиться так же, как и к любой другой важной подсистеме предприятия: то есть, чем лучше обслуживание инструментария, тем больше выгоды можно извлечь из его использования в долгосрочной перспективе.

Одна из причин, почему тренажеры и имитационные модели не используются после первоначального курса обучения, состоит в том, что компании не всегда поддерживают их в соответствии с реальным состоянием производства. Например, при внесении изменений в конфигурацию системы управления, они не вносятся в тренажер. В этом случае операторы со временем справедливо находят, что такие тренажеры становятся бесполезными.

Золотое правило поддержки тренажера очень просто: всегда вносить в него все изменения, осуществленные в реальном ТП. В идеальном случае сначала стоит протестировать предполагаемые изменения на тренажерах и только потом вносить их в реальный производственный процесс. Это позволит достичь

сразу трех преимуществ: заводы будут вносить проверенные изменения в процессы, тренажеры будут автоматически обновляться, а входящие в них имитационные модели будут пригодны для инжиниринга текущего состояния производства.

Наконец, имеет смысл назначить "владельца" таких продуктов, который следил бы за тем, что они основаны на верной информации о процессе с самого начала их использования и на протяжении всех модернизаций ТП. Он также мог бы контролировать все вносимые в модели изменения и изыскивать возможности повышения их правильности и точности.

Этот специалист должен также способствовать тому, чтобы тренажеры не расценивались исключительно как вспомогательный инструмент рационализации процедур и их разучивания операторами. Тренажер должен стать реальным активом предприятия, поскольку он создает дополнительные ценности и позволяет достичь поставленных производственных целей, обеспечивая безопасность персонала и оборудования.

Система имитационного моделирования UniSim Design

Разработанная корпорацией Honeywell система UniSim Design (USD; последняя версия продукта R390 вышла весной 2009 г.) — линейка средств моделирования для воспроизведения, построения, мониторинга исполнения, поиска причин неисправностей, оптимизации и бизнес-планирования промышленных процессов.

Ключевые характеристики USD:

- удобная в использовании многооконная Windows-среда: технологические схемы обеспечивают ясные и лаконичные графические представления ТП, включая опции "вырезать", "копировать", "вставить", "автоматически связать", "создать подсхему" и др.;
- мощный термодинамический пакет: обеспечивает точный расчет физических свойств, свойств переноса, фазового поведения для нефтегазовых, нефтеперерабатывающих и нефтехимических процессов. Поддерживается широкая БД по компонентам, имеется возможность добавлять пользовательские компоненты;
- технология ActiveX (OLE Automation): возможна интеграция с технологическими модулями и описаниями кинетики реакций, созданными пользователями, а также со специализированными пакетами физико-химических свойств. Обеспечивается легкая связь с программами MS Office через VBA;
- богатые библиотеки технологических модулей, реализующие в статических и динамических режимах различные процессы разделения, химические реакции, операции переноса тепла, ротационное оборудование, логические операции. Указанные модули проверены на получение реалистических результатов и возможность моделирования разнообразных нестандартных ситуаций, таких как опустошение и переполнение емкостей, обратные потоки, захват насосом инородной среды и пр.

USD базируется на программном продукте HYSYS, который широко используется по всему миру оперирующими производственными компаниями, проектными, строительными и консалтинговыми фирмами.

Благодаря непрерывным улучшениям, осуществляемым корпорацией Honeywell с моментами приобретения прав на систему HYSYS, система USD обрела ряд важных новых свойств, обеспечивающих пользователям высококачественные решения по моделированию производства. Ниже остановимся на десяти из них, которые особенно четко выделяют USD среди аналогичных продуктов.

1) Статические модели могут быть легко переключены в динамический режим.

2) USD — сердцевина пакета UniSim Operations Suite, предназначенного для разработки динамических тренажеров для обучения операторов ТП. В тренажерной библиотеке содержится множество специализированных моделей технологических установок нефтепереработки, нефтехимии и химии, включая сложные установки первичного разделения нефти, гидроочистки, каталитического риформинга, каталитического крекинга и другие процессы различных лицензиаров.

3) В библиотеке USD находятся эксклюзивные динамические модели ТП разработки UOP (Unionfining, Platforming, Tataray, Isomar, Parex, Molex, CycleMAX, Unioncracking, Penex, Alkylolation и др.), так как известный технологический лицензиар — компания UOP является дочерней компанией Honeywell.

4) USD совместима с линейкой продуктов UniSim Optimization, гарантирующих оперативную реакцию на изменение условий функционирования предприятия. В эту линейку входят инструменты управления и оптимизации, планирования и составления расписаний. Примеры использования USD в APC-системах приведены в [5].

5) Продвинутый инструментариум обеспечивает высокую функциональность USD с помощью таких эксклюзивных опций, как матрица причинно-следственных зависимостей; планировщик событий (автоматизация операций, позволяющая создать последовательность действий при пуске/останове); новое средство верификации балансов (Simulation Balance Tool), обеспечивающее механизм проверки материального и энергетического балансов.

6) В USD поддерживается полный спектр моделей технологических аппаратов, включая колонны дистилляции, реакторы, теплообменное оборудование, ротационное оборудование. Поддерживается работа с твердыми веществами и в смешанных средах (вибрационное сито, рукавный фильтр-пылеуловитель, центрифуга, конвейер, дробилка и ротационный измельчитель). Также

имеется большой выбор логических элементов, элементов конфигурирования системы управления и возможность моделирования разнообразных технологических ситуаций.

7) USD располагает специальными пакетами расчета термодинамики, обслуживающими моделирование всего спектра ТП. Вместе с новой моделью фтористо-водородных соединений в USD добавлен и пакет ее термодинамических свойств (это совместная разработка с подразделением специальных материалов корпорации Honeywell).

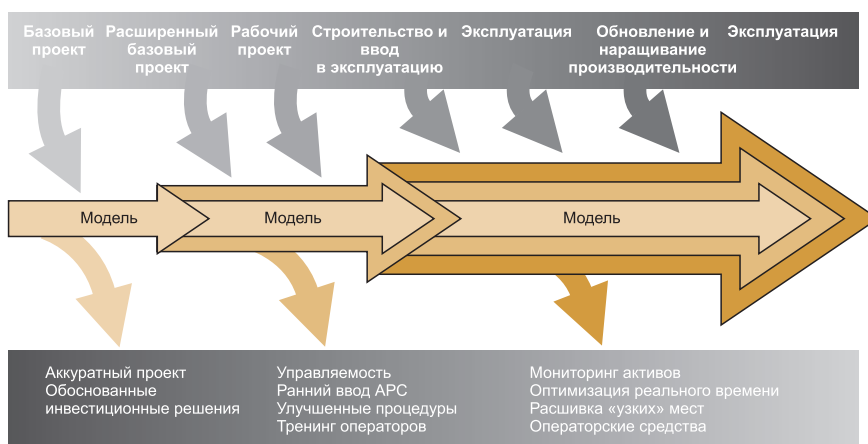
8) Программный пакет для моделирования электролитов работает с гипотетическими компонентами, определенными пользователем. В пакет входят модель смешанных растворителей электролита и анализатор коррозии.

9) USD обеспечивает доступ к внешним БД, в частности, к БД свойств компонентов DIPPR® (Институт по разработке баз данных о физических свойствах).

10) Обеспечивается преемственность USD относительно системы HYSYS. В USD поддерживается чтение любых файлов моделирования, сохраненных в формате Aspen HYSYS 2006 или более старых версий. Также поддерживается сохранение файлов моделирования USD в формате HYSYS 2006. Таким образом, они могут быть использованы в обеих системах, что дает преимущество пользователю при переходе на USD.

Использование USD на протяжении всего жизненного цикла производства

USD представляет собой всеобъемлющее решение по моделированию всех этапов жизненного цикла производства, включая стадию проектирования на базе статических и динамических моделей; управление и оптимизацию ТП; обучение операторов; планирование и составление производственных расписаний; управление активами предприятия. Такой подход позволяет заказчикам получить максимальный эффект от инвестиций в технологию моделирования и иллюстрируется рисунком, показывающим насколько эффективно в плане накопления знаний о технологическом объекте многократное использование моделей, начиная с самых ранних стадий производства (рисунок).



Использование UniSim Design на всех этапах жизненного цикла производства

Опыт внедрения системы UniSim Design

Многие пользователи уже сделали выбор в пользу USD. Только в текущем году система приобретена компаниями Saudi Petrochemical Company и KEMYA Al Jubail Petrochemical (Саудовская Аравия), Grupa LOTOS SA (Польша), OMV Refining (Австрия), ПО "Кириши-нефтеоргсинтез" (Россия), TCL Barbara (Индия), Yankuang (Китай), GASCO (ОАЭ). При этом три последние в этом списке компании приобрели не только пакет моделирования, но и модели лицензионных ТП.

По сообщению службы компьютерного тренинга RasGas Company, Ltd. (Катар), высокоточные динамические модели USD позволили максимально приблизить процесс обучения к реальным задачам, что обеспечило сокращение времени пуска, наилучшую организацию обучения и сертификации персонала, а также возможности раннего обнаружения проблем до возникновения неисправностей на реальном объекте. По оценке специалистов Trans Alta, Poplar Greek (Канада) то, что раньше требовало года обучения, теперь занимает три месяца за счет компьютерного тренинга и анализа сценариев "Что произойдет, если?". Это дало существенную экономию времени и денег.

Один из руководителей Casale Group (Швейцария), лидера в области проектирования и обновления химических предприятий, отмечает, что для его компании имитационное моделирование — стратегический ресурс проектирования, поддержки и оптимизации химических предприятий заказчиков. Система USD была выбрана за высокое качество, надежность и возможность поддержки на местах. Другой крупный пользователь, Linde Engineering, мировой лидер производства и инжиниринга предприятий по получению промышленного газа, насчитывающий более 50 тыс. работников в 70 странах, решил перейти от собственных компьютерных средств моделирования для производства олефинов, водорода и синтез-газа к системе USD. Осуществляя огромный объем моделирования, Linde выбрала USD из-за робастной технологии, позволяющей интегрировать большие модели и базы физических свойств собственной разработки при соблюдении корпоративных требований к программному обеспечению, его изменениям и сопровождению. В результате система USD позволила заказчику осуществлять исследования и разработки, проводить детальный инжиниринг сложного оборудования и проектировать системы промышленной безопасности.

Заключение

Резюмируем следующие технические, коммерческие и организационные преимущества, которые дает система USD потенциальному пользователю, в том числе — российскому:

- поддержка сильной международной командой инженеров, имеющих многолетний опыт работы с

системами HYSYS и USD. В России такая поддержка — русскоязычна;

- робастность системы — большее быстродействие в сравнении с аналогами;

- поддержка моделирования всех этапов жизненного цикла производства;

- преемственность перехода без потерь наработанной модельной базы при переходе от HYSYS к USD, а также передача большего числа лицензий, чем на сегодня имеет пользователь.

Корпорация Honeywell готова реализовывать совместные программы с пользователями. Часть моделей (по выбору пользователя) может поставляться вместе с USD; остальные разрабатываются пользователем, прошедшим высококачественный курс обучения. Предлагается гибкая лицензионная политика: пользователь может приобрести как отдельные лицензии (локальные и сетевые), так и определенный "объем" моделирования, когда вне зависимости от числа рабочих мест допускается одновременное моделирование в пределах оговоренной "тяжести" моделей (каждому средству приписывается при этом определенный вес). Последний подход наиболее эффективен с точки зрения максимизации загрузки рабочих мест пользователей системы.

Корпорация Honeywell осуществляет специальную академическую программу для профильных ВУЗов по всему миру, в рамках которой для использования в учебных целях предоставляются бесплатные базовые лицензии USD.

Опираясь на мощный корпоративный ресурс и на возможности российского подразделения, корпорация Honeywell предлагает российским заказчикам решения мирового уровня, обеспечивающие всесторонние выгоды от использования технологий имитационного моделирования на всех этапах производственного цикла.

Список литературы

1. Real-time Process Optimization and Training Outlook. Five Year Market Analysis and Technology Forecast through 2013 — ARC Advisory Group, 2009.
2. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов // М.: Синтег, 2009.
3. Forbes, J. and T.E. Marlin. Design Criteria for Model Based Real-Time Optimization Systems // Proc. Process System Engng. 1994.
4. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В. APC — усовершенствованное управление технологическими процессами // Датчики и системы. 2005. №10.
5. Ковард Э. Объединение технологий динамического моделирования и усовершенствованного управления ТП // Автоматизация в промышленности. 2008. №7.
6. Smith, F.O. KPIs Make Easy // Control Engineering. 2007. Vol. 1. No.1. // www.controleng.com.

Дозорцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, руководитель отдела моделирования и компьютерного тренинга операторов ТП, Крейдлин Евгений Юрьевич — консультант ЗАО "Хоневелл".

Контактный телефон (495) 334-87-71.

E-mail: victor.dozortsev@honeywell.com / eugene.kreidlin@honeywell.com