

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ И ИНЖИНИРИНГА СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В. М. Дозорцев (Москва)

В разных задачах управления и инжиниринга технологических процессов (ТП) необходима динамическая реакция объекта на управляющие воздействия и изменения внешней среды. Получить ее на реальной установке часто невозможно по соображениям безопасности и дороговизны. Имитационное моделирование (ИМ) остается в такой ситуации единственным средством получения требуемого отклика. Яркий пример подобной задачи – компьютерный тренинг операторов ТП [1]. Однако интенсивно развиваются другие применения ИМ, чему и посвящена настоящая работа.

1. Имитационное моделирование в технологическом инжиниринге

Современные системы технологического инжиниринга, возникшие как автоматизированные рабочие места технологов, опираются на богатые библиотеки моделей технологического оборудования, базы данных свойств веществ, а при необходимости и на математические модели технологических лицензиаров ТП. Сегодня на рынке широко представлены продукты таких известных фирм-производителей, как Honeywell, AspenTech, ProSim, SimSci-Esscor, KBC, ChemStations и др. Применение этих систем позитивно отражается на всех стадиях жизненного цикла установки, повышает безопасность и устойчивость работы предприятия, снижает оперативные и капитальные затраты, уменьшает вредное воздействие производства на окружающую среду.

Технологический инжиниринг на стадии проектирования

ТП труднее и намного дороже совершенствовать после начала строительства, а ИМ строящегося процесса помогает существенно улучшить проектно-технические решения. Это очень важно, поскольку 60% капитальных вложений делается на ранних стадиях проектирования. Выявление проектных ошибок в оборудовании или даже части технологической схемы позволяет вернуть значительно больше, чем затраты на ИМ.

Инжиниринговые исследования, предпринятые до основных инвестиций и пуска производства, позволяют оптимизировать использование оборудования, учесть требования надежности и безопасности, подтвердить готовность производственных фондов к работе, проанализировать воздействие технологических и управленческих решений на экономику производства, эргономическую и экологическую среду. Для такого анализа может применяться и статическое и динамическое моделирование, но вместо многочисленных проверок отдельных статических состояний («холодный» старт, 25%, 50% и 100% загрузки, разные продукты и пр.) гораздо удобнее использовать динамическую имитационную модель процесса.

Известный практический пример – исследование пропускной способности факельной системы. ИМ оценивает способность системы выдержать новые нагрузки, определяемые расширением производственных мощностей. Часто выясняется, что необходимости в расширении системы нет, что позволяет сэкономить десятки миллионов долларов [2].

Поскольку для достижения желаемых производственных результатов могут использоваться разные стратегии управления, пользователю важно знать, какая из них будет наилучшей без ущерба для устойчивости производства. ИМ покажет, как поведет себя ТП во время и после пуска, и, таким образом, позволит создать и проверить эффективные стратегии управления еще до начала строительства. Известен случай, когда с помощью ИМ производства сжиженного природного газа заказчик за полчаса убедился, что схему пуска производства следует изменить из-за недостатка пропана [2].

Совершенствование процедур управления

Ключевая технологическая процедура – пуск установки, во многом определяющий успех всего проекта. Возможность многократно повторить пуск в среде ИМ позволяет обезопасить эту процедуру на реальной установке. Это касается и технологии, и системы управления, и готовности операторов работать с новым объектом в новой среде управления. Также важно оптимизировать существующие, «набросать» и проверить новые процедуры управления (переход с режима на режим, с марки на марку, плановый и аварийный останов и пр.). Кроме того, ИМ – эффективный инструмент проведения исследований по методике «Что произойдет, если?», в частности, в рамках оценки потенциальных опасностей (HAZOP-анализ) [1].

Технологический инжиниринг после пуска ТП

Вышесказанное не отменяет необходимость постоянно совершенствовать производство после пуска. Один из негативных факторов – задержка материала внутри аппаратов, для выявления которой традиционно использовалось статическое моделирование. Однако для анализа ее развития во времени необходимо ИМ. Например, на целлюлозно-бумажном комбинате функционирует несколько варочных котлов, связанных единой системой водоснабжения. Поскольку котлы работают в разное время, только ИМ может гарантировать, что воды хватит в разных режимах работы ТП.

Статические модели покажут, в какой режим перейдет ТП после изменения управления, но не оценят устойчивость процесса после такого перехода. ИМ предскажет траекторию перехода процесса из одного состояния в другое в широком временном диапазоне, в том числе за пределами нормального режима, а это позволит проверить потенциал повышения производительности без угрозы отказов.

Поиск и устранение неисправностей

Имитационные модели – эффективный инструмент поиска и устранения неисправностей в ТП. Например, на производстве метилмеркаптана операторам не удалось установить стабильный расход воды из шлема стриппинг-колонны. Нужный режим был подобран и в течение 24 ч проверен на имитационной модели, после чего решение было перенесено на реальный ТП [2]. Этот же подход применим к инжинирингу изменений ТП, без которых не обходится ни одно производство.

2. Имитационное моделирование в инжиниринге системы управления

От грамотности внедрения системы управления (СУ) зависит достижение операционных целей процесса. ИМ воспроизводит реалистичные сценарии, по которым СУ может быть заранее протестирована в динамике. В результате можно оценить:

- конфигурацию операторских станций (по наглядности представления ТП);
- способность базовых регуляторов поддерживать надежную работу ТП;
- готовность системы противоаварийной защиты предупреждать выход объекта за пределы безопасной работы;
- работу подсистем управления оборудованием (в частности, ротационным);
- способность системы сигнализации привлекать внимание оператора к возможным сбоям.

Оптимизация операторских станций

Эффективность управления ТП напрямую зависит от эргономики рабочих мест операторов. Консорциум по управлению в нестандартных ситуациях (ASM) разработал рекомендации по дизайну и навигации операторских интерфейсов РСУ с учетом человеческого фактора (см. www.asmconsortium.net). ИМ использовалось для оценки этих решений в сравнении с традиционными. Было установлено, что в среднем операторы на 45% быстрее выполняли задания, на 25% успешнее устраняли отказы, на 40% чаще обнаруживали отказы до срабатывания первой сигнализации. Это дает годовую экономию в

800 тыс. долл. для такого производства, как этиленовый завод. Испытания с помощью ИМ подтверждают также выгоды от использования так называемых «экологических» интерфейсов, фокусирующих внимание оператора на естественном развитии аварийных ситуаций (в противовес традиционной жесткой иерархической структуре интерфейса).

Проверка конфигурации РСУ и ПАЗ

ИМ выявляет недостатки в конфигурации систем распределенного управления (РСУ) и противоаварийной защиты (ПАЗ). Настройка этих систем – известное больное место внедрения СУ. К началу пуска проект системы, как правило, полон ошибок: их вносит технолог на стадии технического задания, добавляет проектант, и, наконец, инженер, конфигурирующий базу данных системы. Многие ошибки устраняются на испытаниях, но в полной мере проверить проект до пуска невозможно из-за огромного числа ситуаций, в которых автоматика должна вести себя правильно (особенно это относится к системам ПАЗ). Для сложных ТП стоимость дня простоя составляет сотни тысяч долларов, отсюда актуальность методов, повышающих готовность РСУ к пуску.

До сих пор для решения этой задачи предлагались так называемые системы «tie-back», связывающие проект СУ с динамическими звеньями, описывающими поверхностную реакцию объекта на управляющие воздействия. Таким способом можно, конечно, обнаружить неверное направление регулирующего сигнала, но нельзя проверить логику срабатывания блокировок в сколько-нибудь содержательной ситуации.

Современный подход состоит в интегрировании имитационной модели с симулятором контроллера, повторяющим функциональность реального контроллера. Также могут быть проэмулированы операторский интерфейс и конфигурация противоаварийного контроллера. В результате число ошибок в конфигурации базовых контроллеров и ПАЗ-контроллера может быть сведено практически к нулю.

Например, ИМ крупных компрессоров позволяет заблаговременно выявить дефекты системы их защиты. Ущерб от поломки компрессоров составляет десятки миллионов долларов, поскольку включает не только затраты на приобретение нового или ремонт существующего оборудования, но и потери из-за простоя (при серьезном повреждении на внедрение нового оборудования может потребоваться 2–3 года).

Настройка системы сигнализации

Системы управления сигнализацией сообщают оператору об отклонениях от нормального функционирования ТП и рекомендуют корректирующие действия. Однако огромное число алармируемых в РСУ параметров повышает нагрузку на операторов, а малозначимые алармы лишь отвлекают их, тогда как пропуск существенных алармов чреват нарушениями режима, остановками процесса и, как следствие, катастрофическими экономическими потерями.

Исследования свидетельствуют о возможности резко снизить число наступающих алармов (как среднее, так и пиковое) и кардинально изменить их распределение в пользу алармов высокого уровня (см. www.chemua.org/). При этом ИМ облегчает настройку и проверку систем, поскольку позволяет исследовать их работу в точно воспроизведенной динамической среде. Благодаря прогнозированию коррозии возможно также создание так называемых «коррозийных» алармов, предупреждающих о коррозионно-опасных режимах. Прогноз показателей качества может использоваться и для оповещения о нахождении ТП в зоне значений параметров, грозящей нарушением спецификации продуктов (аларм «по качеству»), и даже советовать ему, как уменьшить риск некачественной продукции.

Инжиниринг усовершенствованных систем управления

Важнейший пример использования ИМ – усовершенствованные системы управления (АРС) [3], идея которых – прогнозирование будущего поведения ТП и выбор управлений, обеспечивающих лучшее значение заданного критерия оптимизации при соблюдении технико-экономических ограничений. В результате удается решить разнообразные задачи управления процессом – от высококачественной стабилизации до оптимизации экономических показателей. На нижнем уровне (управление группами оборудования или отдельными установками) для прогнозирования используются простые входо-выходные модели; но для оптимизации работы группы установок или производства в целом нужны фундаментальные имитационные модели ТП.

Так, в производстве полимера задача АРС-системы состоит в плавном и, по возможности, быстром переходе между марками полимера. Для этого используется ИМ, позволяющее вычислить оптимальную траекторию перехода с учетом существующих ограничений. Другой пример – модель демультипликатора, отклонение которой от проектных теплового и материального балансов не превысило 2% [4]. На ней проводились настройка контуров регулирования и пошаговое тестирование (восстановление параметров прогнозирующих входо-выходных моделей за счет подачи на объект специальных тестовых сигналов); тот же эмитируемый «процесс» использовался для настройки и испытаний системы.

И после внедрения АРС-системы ИМ существенно повышает эффективность управления. Однажды полученные прогнозирующие модели время от времени нуждаются в уточнении, поскольку изменяются реальные режимы работы ТП. Современные АРС-технологии используют точные имитационные модели для подстройки в режиме реального времени коэффициентов прогнозирующих моделей и, как следствие, повышают качество ведения процесса.

Если в ТП есть необходимый «запас», АРС-системы дают быстрый экономический эффект. ИМ помогает здесь двояко: предварительно оценить этот эффект («проиграв» АРС-управление на модели) и провести значительную часть проектирования системы до пуска объекта. При таком раскладе АРС удается запустить уже через шесть недель после пуска ТП и существенно ускорить возврат инвестиций [4].

Наконец, с помощью специальных инструментов реальное состояние ТП (включая состояние СУ) импортируется в ИМ, режим которой «подводится» к режиму установки [1]. Это позволяет проверить на имитационной модели последствия управляющих действий перед их реализацией на объекте.

3. Имитационное моделирование в задачах производственного управления

Имитационные модели с успехом используются в задачах определения материальных и тепловых балансов, обнаружения неправильных измерений и сглаживания данных для целей мониторинга, долгосрочного планирования и статической оптимизации производства. Недочет возможных дисбалансов резко снижает качество управления производством, а ИМ позволяет обнаруживать и отсекают несостоятельную и противоречивую информацию, подключая к анализу текущие измерения переменных процесса и данные лабораторных анализов [5].

ИМ позволяет улучшить функционирование и снизить стоимость сопровождения MES-систем, служащих мостом между системами управления реального времени и системами корпоративного управления (типа ERP). MES-системы сложны, дороги и трудоемки при инсталляции, пуске, тестировании и модификации, которые при традиционном подходе проводятся на реальном производстве. В последнее время идея «имитировать» реальный процесс для поддержки всего цикла MES-систем перешла в практическую плоскость [6]. Это проявляется уже на стадии разработки, включая проектирование, реализацию, пуск, обучение персонала и поддержку систем.

Не менее важно ИМ и для работы уже внедренных MES-систем, например, в оптимальном планировании [8]. На каждом шаге рекурсивной процедуры планирования решается задача линейного программирования (ЛП) на основе так называемой матрицы задачи ЛП. От точности ее задания существенно зависит качество решения, но исходные данные, по которым строится начальная матрица, устаревают. Для преодоления этой ситуации на текущем шаге процедуры решение (свойства сырья, режим работы установки) передается в имитационную модель, которая вычисляет новые отборы и качество продуктов. Эти данные используются для коррекции матрицы задачи ЛП, и так повторяется до тех пор, пока не выполняется критерий сходимости решения.

Заключение

Еще сравнительно недавно основное назначение ИМ в системах промышленной автоматизации сводилось к моделированию ТП для целей компьютерного тренинга операторов. В последние годы спектр задач, решаемых с помощью ИМ, постоянно расширяется. Среди ожидаемых новых постановок отметим следующие:

– переход к единой имитационной модели для обслуживания всего жизненного цикла ТП – от проектирования до поддержки изменений.

– использование ИМ для управления ТП в реальном времени. Алгоритмы оптимизации реального времени на базе фундаментальных моделей процесса могут быть реализованы, как только будут востребованы практикой автоматизации.

– построение систем поддержки принятия операторских решений на базе ИМ. Уже сейчас коррозионные и технологические алармы могут вычисляться на базе ИМ. Однако те же модели могут применяться и для прогнозирования состояний ТП с целью обоснования выбора управляющих воздействий.

– полная интеграция MES-систем и ИМ. Это позволит охватить имитационным моделированием все стадии разработки, функционирования и поддержки систем.

Есть серьезные основания полагать, что наступившее десятилетие станет временем тотального проникновения ИМ в системы промышленной автоматизации.

Литература

1. **Дозорцев В. М.** Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов // М.: Синтег, 2009.
2. **Стефенсон Г. и др.** За пределами тренинга операторов: другие области применения имитационного моделирования технологических процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2009. № 6. С. 22–26.
3. **Захаркин М. А., Кнеллер Д. В.** Применение методов и средств усовершенствованного управления технологическими процессами (APC) // Датчики и системы. 2010. № 10.
4. **Ковард Э.** Объединение технологий динамического моделирования и усовершенствованного управления ТП // Автоматизация в промышленности. 2008. №7.
5. **Smith F. O.** KPIs Make Easy//Control Engineering. 2007. Vol. 1. No.1 // www.controleng.com.
6. **Worapraya K. and Buranathiti T.** Integration of Manufacturing Execution System and Simulation // 2nd International Conference on Asian Simulation and Modeling 2007 (ASIMMOD2007), 2007, January 9-11, Chiang Mai, Thailand. P. 15–21. http://www.mcc.cmu.ac.th/ASIMMOD2007/Paper/ai01_thaweeapat%20buranathiti.pdf.
7. **Хохлов А. С., Боронин А. Б., Гайнетдинова А. Н.** Автоматизированная актуализация оптимизационных моделей планирования непрерывных производств // Автоматизация в промышленности. 2009. №7. С. 58–61.