

Основные решения и преимущества СУУТП компании Йокогава

М.Р. Хатимов

инженер СУУТП (APC) центра решений¹
Marat.Khatimov@ru.yokogawa.com

А.В. Богачёв

руководитель отдела APC-решений и сетевой безопасности технического центра²
Andrey.Bogachev@ru.yokogawa.com

Б.М. Низамеев

инженер-теплотехник центра решений¹, аспирант²
Bulat.Nizameev@ru.yokogawa.com

Д.А. Рыжов

к.т.н., руководитель центра решений¹, доцент³
Denis.Ryzhov@ru.yokogawa.com

¹ООО «Йокогава Электрик СНГ», Москва, Россия

²Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

³Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Система усовершенствованного управления технологическими процессами (СУУТП) позволяет нефтеперерабатывающим и нефтехимическим компаниям эксплуатировать производственные процессы с наивысшей безопасностью, минимизацией эксплуатационных затрат, надёжностью и в соответствии с существующими экологическими ограничениями. При одновременном использовании с другими технологиями оптимизации, СУУТП может проявить себя как чрезвычайно выгодная, экономически обусловленная технология.

Материалы и методы

Контроллеры СУУТП функционируют на базе динамических моделей первого или второго порядка с запаздыванием по времени. Виртуальные анализаторы (ВА) системы СУУТП разрабатываются в виде линейных и нелинейных регрессионных моделей. Для нелинейных моделей ВА используется математический аппарат частного случая нейронных сетей.

Ключевые слова

система усовершенствованного управления технологическими процессами, многопараметрический контроллер, виртуальные анализаторы качества, устойчивость (робастность) контроллера СУУТП, оптимизация технологических процессов, экономический эффект

Основные цели СУУТП

1. Контролировать качество продуктов установки в заданных диапазонах.
2. Увеличивать выход более ценных продуктов за счет менее ценных.
3. Максимально увеличить производительность установки по сырью по отношению к уже достигнутому операторами значению, приближаясь к ограничениям (проектным или технологическим).

Система усовершенствованного управления технологическими процессами компании Yokogawa основывается на методологии предиктивного управления (от англ. MPC — Model Predictive Control), которая использует схему прогнозирования будущего состояния выходов на основании измеренных прошлых значений управляемых величин и измеренных переменных внешних воздействий в прямом канале управления.

Подход предиктивного управления технологическими процессами характеризуется высокими адаптивными свойствами разработанных систем управления и на сегодняшний день имеет достаточно большое число положительных результатов применения в различных отраслях промышленности.

Основные решения, программные продукты СУУТП компании Yokogawa рассматриваются ниже.

1. Многопараметрический оптимизирующий контроллер SMOC (Shell Multivariable Optimising Controller) является основной частью СУУТП. По сравнению с ПИД-контуром, элементарной ячейкой PCS, которая управляет одним параметром (давление, расход, температура и т.д.), контроллер SMOC позволяет управлять несколькими параметрами одновременно и предоставляет средства, необходимые для разработки, реализации и использования на практике перспективных стратегий многопараметрического управления, позволяющие добиться гораздо более стабильной работы и максимального увеличения прибыли на предприятиях нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической отраслей промышленности.

Основные характеристики контроллера SMOC:

- Максимальное время безотказной работы (и, как следствие, максимизация прибыли);
- Применение моделей неизменяемых возмущений и моделей «серого ящика», использующих прогнозные значения и сопоставляющих их текущему состоянию процесса, и обеспечивающих таким образом робастность (устойчивость) работы системы СУУТП;
- Удобство в работе, инструментарий для моделирования в автономном режиме;
- Интеграция с PCS различных производителей, оказание всего спектра услуг по внедрению СУУТП,

включая анализ рентабельности, непосредственную разработку системы, её ввод в эксплуатацию и последующее техническое обслуживание.

В СУУТП компании Yokogawa входят следующие интегрированные программные модули:

Пакет AIDA для моделирования в автономном режиме

Усовершенствованная идентификация и анализ данных AIDA (Advanced Identification and Data Analysis) — программный пакет на базе ОС Windows, который используется для обработки динамических тестовых данных технологического процесса с целью создания модели, необходимой в дальнейшем для построения контроллера SMOC. Удобная справочная система, графические средства и окна для вывода вычисленных статистических данных позволяют быстро идентифицировать и проверить новую модель. Пакет AIDA проектировался и испытывался с акцентом на устойчивость к шумам и ошибкам, которые, как правило, присутствуют в выборках параметров технологического процесса и лабораторных данных.

Пакет SMOC для проектирования контроллера в автономном режиме

PC-SMOC — программный пакет на базе ОС Windows, интегрированный с пакетом AIDA и используемый для разработки, проверки модели и создания контроллеров SMOC. Динамическая модель техпроцесса генерируется пакетом AIDA с помощью визуального графического построителя моделей. С целью проверки и корректировки, пакет PC-SMOC позволяет эмулировать работу контроллера, испытывать его устойчивость к ошибкам и оптимизировать рабочие характеристики. На завершающем этапе проектирования в автономном режиме создаётся файл контроллера SMOC, который впоследствии прогружается на сервер СУУТП и непрерывно функционирует в режиме онлайн.

Контроллер SMOC, работающий в режиме онлайн

В онлайн контроллере предусмотрены все функции, необходимые для эксплуатации в реальном времени, включая инициализацию, проверку сигнала и сброс параметров режима, функции ядра контроллера и функции стандартного интерфейса оператора и инженера. Контроллер SMOC может быть разработан и внедрен для различных платформ PCS (Yokogawa, Honeywell, Emerson, Foxboro и т.д.) посредством стандартного OPC-протокола.

2. Виртуальные анализаторы качества RQE (Robust Quality Estimator) создаются на базе статистической корреляции лабораторных данных или существующего поточного анализа и данных технологического процесса. Через взаимосопоставление данных качества и данных процесса можно построить

виртуальный анализатор, непрерывно рассчитывающий качество продукта установки в режиме реального времени. RQE — это многофункциональный и удобный в работе программный пакет, предназначенный для разработки схем измерений качества продуктов, используя в расчетах изменения косвенных параметров технологического процесса (температура, давление и расходы потоков внутри оборудования и трубопроводов рассматриваемой установки).

Применение виртуальных анализаторов качества RQE

Косвенно измеряемая величина есть переменная, вычисляемая исходя из результатов простых измерений (температуры, давления, расхода и т.д.). Она служит для прогнозирования текущего значения качества продукции или текущего значения сложного технологического параметра, которое либо не представляется возможным измерить в режиме реального времени, либо его возможно измерить только в определённые моменты, со значительной задержкой или с малой достоверностью. Типичным применением виртуального анализатора RQE является вычисление технологического параметра для управления замкнутым контуром. Польза RQE особенно ощутима, если виртуальный анализатор применяется в сочетании с технологией оптимального многопараметрического управления. Среди приложений RQE — оценка качества продуктов ректификационных колонн с несколькими параметрами качества (температура выкипания, вспышки и прочие), оценка качества лёгких фракций (состав, давление насыщенных паров и т.д.), оценка качества продуктов реакций (октановое число продуктов риформинга, содержание серы в продуктах гидроочистки и т.д.).

RQE — универсальный программный пакет, который может использоваться для создания виртуальных анализаторов качества продуктов непрерывных технологических процессов нефтепереработки, нефтехимии и химической промышленности.

Как правило, виртуальные анализаторы RQE используются в двух различных конфигурациях:

• Совместно с поточным анализатором

Схемы косвенных измерений обеспечивают непрерывную оценку качества продукта без временной задержки, когда измерения с помощью поточных анализаторов выполняются с большой задержкой и/или с перерывами. Кроме того, виртуальные анализаторы качества будут продолжать рассчитывать качество потока при выходе поточного анализатора из строя или во время его калибровки.

• В сочетании с механизмом обновления значений на основе данных лабораторного анализа

Параметр качества продукта, рассчитанный виртуальным анализатором по косвенным измерениям, периодически обновляется с учётом результатов лабораторного анализа (таким образом осуществляется подстройка виртуального анализатора). Такая схема может служить заменой поточному анализатору, если использование анализатора экономически нецелесообразно или технически нереализуемо.

Программный пакет RQE для автономной работы представлен на рис. 1, имеет

полнофункциональный графический интерфейс Microsoft Windows XP, Vista, 7, 8.1 Pro, Windows Server 2008, 2012 для оперативного проектирования и обслуживания косвенных схем измерений. Этот пакет выполняет следующие функции:

- **Анализ и обработка данных.** Данная функция позволяет пользователю осуществлять импорт, отображение и статистический анализ наборов значений технологических параметров, которые будут использоваться для моделирования.
- **Моделирование схем косвенных измерений.** На этапе моделирования выполняется выбор входных параметров для расчётов, выбор типа модели, оценка модельных параметров и проверка корректности окончательной модели. Среди вариантов выбора типа используемой модели предоставляется возможность выбрать линейные модели, а также модели на базе нейронных сетей. От пользователя не требуется детального знания технических аспектов моделирования. Моделирование, включая выбор входных параметров и временных задержек, может быть полностью автоматическим, и состоять из небольшого числа шагов, которые, тем не менее, обеспечат высокую надёжность.
- **Разработка процедуры обновления (подстройки) виртуальных анализаторов качества.** Эта функция RQE даёт пользователю возможность проверки и настройки различных опций для обновления модели прогнозирования на основании данных, полученных от поточных анализаторов или от лаборатории. В эти опции входит выбор правил статистической корреляции, использование фильтра Калмана и стандартный механизм обновления по отклонению. При разработке пакета RQE может быть также использован особый тип моделей нейронных сетей — радиальная базисная функция (RBF). Для сетей RBF, в отличие от обычных нейронных сетей, могут использоваться методы автоматического выбора структуры сети в сочетании с обновлением модели прогнозирования с использованием фильтра Калмана. Механизм обновления с помощью фильтра Калмана обладает лучшими характеристиками с точки

зрения фильтрации шумов измерений. Кроме того, он позволяет всей модели адаптироваться к меняющимся условиям технологического процесса, например, к изменению выхода ввиду нелинейных или зависящих от времени процессов (снижение активности катализатора, ухудшение проходимости трубопроводов и оборудования, снижение эффективности теплообмена и т.д.). По сравнению с традиционными механизмами обновления смещений, калмановская фильтрация обладает лучшим качеством прогнозирования, значительно большей точностью и достоверностью косвенных измерений RQE в режиме реального времени, и снижает расходы на техобслуживание.

Результатом моделирования в среде RQE является файл модели, в который входят все параметры, необходимые для реализации виртуального анализатора качества в режиме реального времени.

Основные особенности пакета RQE:

- тщательная проверка сигналов поточного анализатора, включая обработку выхода за пределы диапазона, обнаружение замороженных показаний и аномально резких скачков;
- интерфейс оператора для анализа лабораторных данных с возможностью предварительного просмотра результатов ввода;
- обработка входных сигналов (динамическая компенсация, нелинейное преобразование, комбинирование параметров, фильтрация);
- расчёты прогнозов и обработка выходных сигналов (фиксация, асимметричная фильтрация);
- обновление всей модели с использованием фильтра Калмана (на основании данных поточного анализатора или на основании результатов лабораторного анализа);
- обработка нелинейных свойств в рамках нелинейной модели нейронной сети либо с использованием встроенных конфигурируемых характеристических функций;
- проверка вводимых результатов лабораторного анализа до обновления модели прогнозирования;
- методы статистического управления



Рис. 1 — Программный пакет RQE для автономной работы

входных данных, включая использование оценочных карт, CUSUM и отсева резких изменений;

- опционально: регистрация установившегося состояния;
- надёжная работа в случае недостаточно достоверных данных и различных задержек при контрольных измерениях качества;
- графический интерфейс оператора и графический интерфейс инженера;
- сообщения и сигнализации.

Для обновления модели в RQE используется уникальный механизм точной компенсации задержек меняющейся или неизвестной заранее длительности, которые возникают при отборе проб и измерения лабораторией. Данный механизм значительно повышает точность и надёжность прогнозов RQE. Пакет RQE для режима онлайн может использоваться на большинстве платформ PCY (Yokogawa, Honeywell, Emerson, Foxboro и т.д.) посредством стандартного OPC-протокола.

3. Прогнозирующая модель технологического процесса — контроллер системы СУУТП производит расчёты прогнозных значений переменных, входящих в объём разработанной модели технологического процесса. Спрогнозированные таким образом манипулируемые, контролируемые и промежуточные переменные позволяют СУУТП иметь информацию о направлении и скорости изменения (отклонения от заданных

диапазонов) параметров процесса. Обработывая фактические изменения процесса и рассчитывая прогнозные значения один раз в заданный промежуток времени (например, один раз в минуту или чаще), контроллер СУУТП, следуя от конца в начало модели, генерирует управляющее воздействие на подчинённые ПИД-контуры на необходимую величину с тем, чтобы контролируемые переменные (цели управления) были выдержаны в заданном оператором диапазоне. Следуя по этому пути, контроллером СУУТП учитываются переходные характеристики не только между манипулируемыми и контролируемыми параметрами, но и все переходные характеристики промежуточных переменных, связывающих входные параметры модели (задания на ПИД-контуры) и выходные параметры модели (цели управления, например, температуру и качество).

4. Система СУУТП обладает экономическими оптимизирующими функциями, которые позволяют сформулировать для установки определенную экономическую цель, увеличить прибыльность завода. Например, увеличение выхода светлых фракций как на установке, так и на заводе в целом, увеличение выхода более ценных продуктов, за счет менее ценных (в случае АВТ: выход бензина за счет ДТ, ДТ за счет мазута, ВГ за счет гудрона).

На рис. 2 представлено взаимодействие программных продуктов СУУТП с PCY

процесса посредством OPC-протокола.

На рис. 3 графически представлено сравнение между работой оператора и СУУТП. Разница заключается в том, что СУУТП, в сравнении с работой оператора, проводит более частый анализ изменения технологического процесса, и, в случае отклонений, вносит изменения в задания на подчинённые ПИД-контуры, с целью удержания параметров процесса в регламентируемом диапазоне. Видно, что в случае работы оператора среднее квадратичное отклонение выше, по сравнению с работой СУУТП. В случае работы СУУТП, процесс по данному целевому (контролируемому) параметру протекает более стабильно, в результате появляется возможность сместить среднее значение ближе к установленной спецификации по параметру (значение 100 на рис. 3). Изменение среднего значения контролируемой переменной, не нарушая установленные границы, в дальнейшем пересчитывается в экономический эффект внедрения СУУТП.

5. Мониторинг и анализ функционирования СУУТП в режиме реального времени реализуется благодаря программному модулю MDpro (Monitoring and Diagnosis), путем непрерывного анализа целевых производственных переменных CV системы СУУТП, в результате чего оценивается % нарушений по данным контролируемым параметрам управления (какой % времени каждая из переменных CV находилась за пределами заданного оператором диапазона). MDpro подключается к серверу базы данных реального времени (PI, ExaQuantum, PHD и т.п.) по Ethernet — рис. 4.

Основные преимущества СУУТП компании Yokogawa

1. Принцип прозрачного графического построителя модели «серого ящика» (рис. 5), отображающего коэффициенты и динамику переходных характеристик между входными, промежуточными и выходными переменными модели. При необходимости, инженер СУУТП в любое время может вручную обновить коэффициенты или временные переменные, характеризующие динамику процесса.
2. Философия модели «серого ящика» открывает уникальную возможность включения одной и более промежуточных переменных, располагающихся в модели между входными и выходными переменными. Между каждой из таких переменных определяется индивидуальная переходная характеристика, что в итоге дополнительно повышает робастность (устойчивость на различных технологических диапазонах) модели контроллера СУУТП.
3. Концепция модели неизмеряемых возмущений, позволяющая контроллеру системы СУУТП работать робастно (устойчиво в различных технологических диапазонах).
4. Надёжный алгоритм обработки неопределённости во времени отбора проб лабораторией, что позволяет повысить точность прогнозирования качества продуктов виртуальными анализаторами — компонентами СУУТП.
5. Принцип построения контроллеров

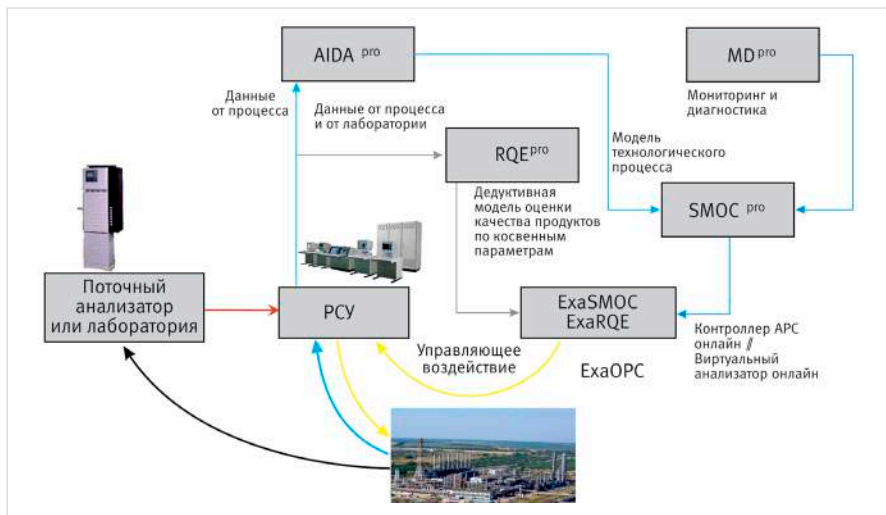


Рис. 2 — Взаимодействие приложений СУУТП



Рис. 3 — Достижение экономического эффекта

СУУТП как отдельными единицами для каждого технологического блока, так и единого глобального контроллера, включающего в себя от двух до нескольких десятков субконтроллеров, управляющих смежными технологическими блоками и динамически взаимодействующими друг с другом при прогнозировании по упреждающему алгоритму feedforward. Данный подход вносит дополнительный вклад в обеспечение робастности разработанного контроллера.

Итоги

Практика внедрения СУУТП подтверждает эффективность функционирования на производственных площадках. Статистика результатов экономических эффектов включает в себя экономию энергоресурсов, увеличение производительности по сырью, увеличение выхода наиболее прибыльных продуктов и увеличение периода пробега катализатора.

Выводы

Оптимизация технологических процессов с помощью программных продуктов СУУТП – это не одномоментное решение, она должна осуществлять непрерывные действия по улучшению эксплуатационных характеристик в постоянно изменяющихся динамических системах.

Системы СУУТП компании Йокогава внедряются с 1993 года по всему миру, с референцией внедрения около 2000 приложений на предприятиях нефтепереработки, нефтехимии и химической промышленности, позволяя производственным площадкам улучшить рентабельность, снизить закупки энергоресурсов извне, увеличивая производительность по сырью, и корректировать выработку продукции согласно изменениям конъюнктуры рынка автоматически.

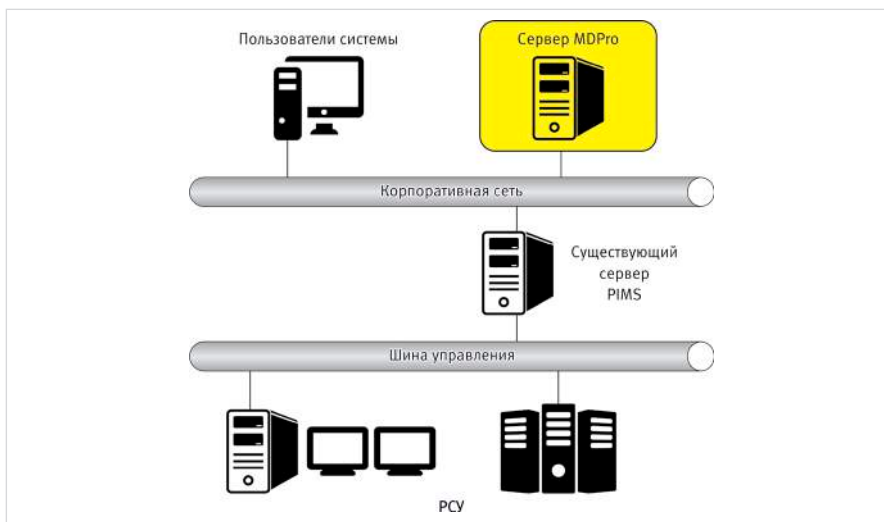


Рис. 4 – Схема подключения MDPro к серверу базы данных

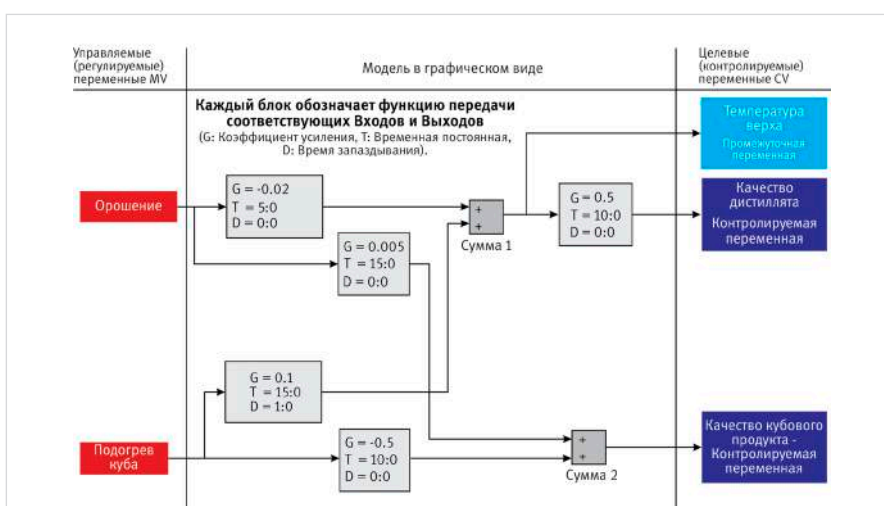


Рис. 5 – Прозрачная структура: модель «серого ящика»

ENGLISH

SOFTWARE

Main solutions and advantages of Yokogawa' APC

UDC 65.011.56

Author:

Marat R. Khatimov — APC engineer¹; Marat.Khatimov@ru.yokogawa.com

Andrey V. Bogachev — head of APC solutions & NW security department¹; Andrey.Bogachev@ru.yokogawa.com

Bulat M. Nizameev — EMS engineer¹, postgraduate²; Bulat.Nizameev@ru.yokogawa.com

Denis A. Ryzhov — Ph. D., head of solutions center¹, associate professor³; Denis.Ryzhov@ru.yokogawa.com

¹Yokogawa Electric CIS, Moscow, Russian Federation

²Kazan state power engineering university, Kazan, Russian Federation

³Kazan national research technological university, Kazan, Russian Federation

Abstract

Advanced process control (APC) enables the refining and petrochemical companies to run industrial processes with the highest safety and reliability, minimize an operating cost and keep production with respect to existing environmental regulations. The combination of APC application with other optimization technologies may prove it is beneficial and profitable in operation.

Materials and methods

APC controllers perform based on mathematical models of first and second orders with time delay. Quality Estimators (QE) of APC system are being developed as linear and non-linear regression models.

For non-linear QE a mathematical apparatus is used based on a special case of neural network.

At the base of APC controllers there are dynamic models of the first or second order with time delay.

Results

Application of Advanced process control system proves functional effectiveness on industrial sites. Statistic of economic benefits includes energy saving, throughput increase of the most valuable products and catalyst lifecycle extension.

Conclusions

Process optimization with APC is not one-time

action. It should be performing continuous actions to improving operation parameters in continuously changing dynamic systems. Yokogawa APC systems are implemented on refining, petrochemical and chemical enterprises all around the World since 1993 in quantity of about 2000 applications. It lets the production sites to increase plant's profitability and production rates, decrease in energy purchases from outside and maintain the product yields automatically to market changes.

Keywords

advanced process control, multivariable controller, virtual quality analyzers, APC controller stability (robustness), technology processes optimization, economic benefits