

# Proficy 2014

**Просто! Проверено! Профессионально!**

- **Визуализация, контроль, анализ и оптимизация данных обо всех операциях**
- **Анализ узких мест и оптимизация технологического процесса**
- **Организация интеллектуального производства на предприятии**
- **Высокоэффективное оперативное управление**
- **Контроль качества и соответствия стандартам**



**Интеллектуальные решения  
GE Intelligent Platforms -  
лучшее для Вашего успеха!**



191024, Санкт-Петербург  
Полтавская ул., д. 8Ж  
+7 (812) 331-58-30

115551, Москва  
Шипиловский пр., д. 47/1  
+7 (495) 343-43-88

623280, Свердловская обл.  
Ревда, ул. Клубная, д.8  
+7 (34397) 2-11-62

[www.technolink.spb.ru](http://www.technolink.spb.ru)

# Опыт создания моделей технологических процессов для предприятий нефтехимической промышленности



В настоящей статье описаны возможности усовершенствованного управления технологическими процессами в нефтехимической промышленности. Решения, предлагаемые компанией «ТЕХНОЛИНК», разработаны на основе программного обеспечения Proficy CSense от мирового лидера в области автоматизации и управления производством GE Intelligent Platforms. В качестве примера в статье приведен опыт разработки виртуального анализатора в составе СУУТП для крупного российского нефтехимического завода.

ЗАО «ТЕХНОЛИНК», г. Санкт-Петербург

На предприятиях нефтегазовой и нефтехимической отраслей широко внедряются распределенные системы управления (PCY) таких производителей, как GE Intelligent Platforms, Siemens, Honeywell, Emerson Process Management, Yokogawa и др. При этом, несмотря на достаточно высокий уровень автоматизации участков, переделов, уровень цеховой автоматизации чаще всего оставляет желать лучшего. Учитывая огромное количество взаимосвязанных технологий, используемых на предприятиях, принимая во внимание повышенные требования к безопасности, которые складывались десятилетиями, сегодня крайне важно обеспечить улучшение эффективности работы как отдельных установок, так и целого комплекса оборудования нетехнологическими методами, то есть без изменения технологии. Это может быть достигнуто за счет комплексного подхода — экономических, организационных и, главным образом, IT-решений.

Что же необходимо компаниям? Что они хотят увидеть в современных IT-решениях? Прежде всего нефтехимическим предприятиям требуется решение, позволяющее не только собирать данные о выполнении производственной программы и анализировать эффективность работы производственных мощностей, но и решать самые разнообразные задачи — от стабилизации технологи-

ческого объекта до его оптимизации по заданному критерию (максимум производительности, минимум себестоимости, минимум удельного энергопотребления и др.). Извлекать всю возможную пользу из системы управления технологическими объектами и производственными мощностями, выявлять и поддерживать оптимальные режимы работы установок путем усовершенствования системы управления позволяют сегодня средства APC (*от англ. Advanced Process Control* — «усовершенствованное управление технологическим процессом»). Основу системы составляют модели технологического процесса, которые могут использоваться для создания виртуальных анализаторов, решения задач многопараметрического управления, стабилизации и оптимизации технологических режимов на основе ключевых показателей эффективности. Благодаря этому основные задачи

APC-систем сегодня можно сформулировать следующим образом:

- ▶ увеличение прибыльности;
- ▶ снижение себестоимости;
- ▶ увеличение производительности;
- ▶ минимизация влияния «человеческого фактора».

Сравнение традиционной системы управления и APC-системы показывает, что средства последней оказываются более эффективным инструментом автоматического управления (рис. 1).

При традиционной системе управления влияние возмущения на цель управления регистрируется лишь через некоторое время после появления возмущения. Коэффициент отклика и время передачи зависят от динамики технологического процесса. Отклонение целевой переменной от необходимого установленного значения поступает на вход ПИД-регулятора, который,



Рис.1. Воздействие на возмущение при традиционной системе управления и APC-системе

изменяя управляемую переменную (рычаг управления), со временем возвращает целевую переменную к заданному значению и компенсирует возмущение, влияющее на технологический процесс.

В случае использования APC-системы контроллер регистрирует изменения возмущений, а встроенная модель технологического процесса тут же начинает рассчитывать значение управляющего воздействия, необходимого для компенсации возмущения. Таким образом, воздействие на рычаг управления осуществляется еще до того момента, как целевая переменная отклонится от заданного значения под воздействием возмущения. Благодаря этому средства APC-системы обеспечивают стабильность производственного процесса и повышают качество управления на предприятии.

**Создание усовершенствованной системы управления с использованием виртуального анализатора как один из инструментов повышения эффективности производства**

Сегодня на предприятиях для измерений чаще всего применяют поточные анализаторы (ПА), используемые для определения физико-химических свойств продуктов в режиме реального времени, и различные инструменты лабораторных анализов. И те, и другие имеют свои достоинства и недостатки. Так, лабораторные анализы хоть и обладают хорошей точностью, но проводятся периодически, что не позволяет оперативно реагировать на изменения в текущем технологическом процессе (например, на смену режимов работы установки). Несмотря на высокую точность и непрерывность измерений, самодиагностику и визуализацию показаний, поточные анализаторы тоже имеют свои недостатки: необходимость периодической калибровки показаний, требования квалифицированного обслуживания и, главное, высокую стоимость оборудования.

Использование на предприятии виртуальных анализаторов (ВА) служит дополнением к описанным выше методам. При этом ВА представляют собой модель, предназначенную для косвенного измерения

качественных показателей того или иного процесса, построенную на основе архивных производственных данных и данных лабораторных анализов, выполненных в соответствии с ГОСТ и (или) стандартом ASTM. Отбор регрессоров для построения модели соответствующего процесса определяется технологом, то есть используются знания специалистов и опыт, накопленный ими за время эксплуатации конкретной установки (технологической цепочки). Таким образом, ВА позволяют оператору на определенном этапе контролировать ход ведения процесса в случае выхода из строя ПА или задержки данных лабораторных анализов, особенно в случаях отсутствия на заводе LIMS-системы.

Сегодня на заводах используются математические модели виртуальных анализаторов или виртуальные анализаторы в виде уравнений регрессии, которые рассчитываются специализированными институтами. С одной стороны, это занимает определенное время, с другой – построенная модель к моменту ее получения может не соответствовать технологическому процессу, существующему на предприятии в настоящий момент. Расчет модели начинается с анализа собранной статистической информации и выбора регрессионного метода, а заканчивается получением результирующих функций. Полученная модель соответствует лишь кон-

кретным условиям работы установки, поэтому при любом значимом изменении характеристик моделируемого объекта (например, после капитального ремонта) требуется корректировка используемой модели, и весь трудоемкий процесс ее расчета начинается сначала.

В разработанном решении компании «ТЕХНОЛИНК» ВА изначально входит в состав инструментов APC-системы, внедряемой на предприятии. Это позволяет в сжатые сроки в полуавтоматическом режиме проанализировать технологический процесс, выявить причинно-следственные связи, а также найти возможности улучшения и реализовать их в режиме «советчик оператора» или уставок, напрямую передаваемых регуляторам. Дальнейшая корректировка математической модели в режимах онлайн или офлайн осуществляется и по показателям качества самой модели (наиболее часто используется коэффициент детерминации  $R^2$ ), и по данным ПА и лабораторных анализов.

**Особенности разработки и внедрения виртуальных анализаторов на практике**

В период с сентября по декабрь 2014 года компанией «ТЕХНОЛИНК» были введены в работу виртуальные анализаторы состава газов на установке производства окиси углерода и технического водорода на одном из нефтехимических заводов России. Необходимость ВА была обусловлена тем, что периодичность

Таблица 1. Этапы создания APC-системы

Этап	Мероприятия
1. Подготовка данных	Анализ регламентов работы установки
	Составление матрицы причинно-следственных связей
	Сбор статистических данных
	Подключение статистических данных в программную среду через интерфейсы (в том числе из нескольких источников)
	Выделение грубых ошибок в данных
2. Предварительные вычисления и визуализация	Базовая статистическая обработка
	Определение статистики задержки в данных
	Вычисления и построение корреляционной матрицы (в автоматическом режиме)
3. Построение модели процесса	Построение статистических спектров, гистограмм, трендов
	Создание правил на основе нейронной сети и нечеткой логики (в автоматическом режиме)
4. Извлечение новых знаний (выявление зависимостей и закономерностей процесса)	Оценка статистики модели ( $R^2$ )
	Визуализация качества модели
	Определение усредненных причин и их градация по степени влияния
6. Оценка возможностей по повышению качества управления	Анализ «Что, если?»
	Оптимизация с учетом известных ограничений
7. Построение модели действия	Сравнение качества управления до и после
	Адаптация к источникам данных реального времени
	Задание функции оптимизации
	Наблюдение модели и проведение производственного эксперимента



химического анализа согласно нормам регламента составляет один раз в сутки, при этом скорость протекания процесса от подачи на вход исходного сырья до выхода готового продукта занимает всего несколько минут. В дальнейшем ВА должны были обеспечить оптимизацию параметров работы установки для улучшения качественных и количественных показателей производимой продукции.

Для решения задачи был использован комплекс имитационного моделирования, разработанный специалистами компании «ТЕХНОЛИНК» на базе программного продукта Proficy CSense компании GE Intelligent Platforms. Этапы создания ВА в составе APC-системы и постановки задач по оптимизации приведены в табл. 1.

Следует отметить, что важной особенностью создания полномасштабного комплекса APC-системы является выполнение каждого последующего шага только после предварительного анализа статистических данных и сравнения результатов с существующей системой управления. Анализ выполняется средствами программного продукта Proficy CSense компании GE Intelligent Platforms. Положительным результатом анализа, позволяющим начать внедрение следующего этапа, считается выявленный ресурс (возможность) повышения эффективности работы системы управления.

По мере реализации проекта по внедрению ВА на заводе были выделены следующие ключевые особенности для каждого из этапов.

1. *Подготовка данных* включала детальную проработку алгоритмов работы установки, в первую очередь с технологами, специалистами, знающими объект управления не только с точки зрения регламента, но и на уровне интуиции. Матрица причинно-следственных связей выявляла целевые показатели процесса, а также распределяла влияющие параметры по следующим группам: регулируемые, наблюдаемые и возмущения. Статистические данные были выгружены из архива MES-системы в табличном виде в формате \*.csv.

2. *Для вычислений и визуализации статистической информации*

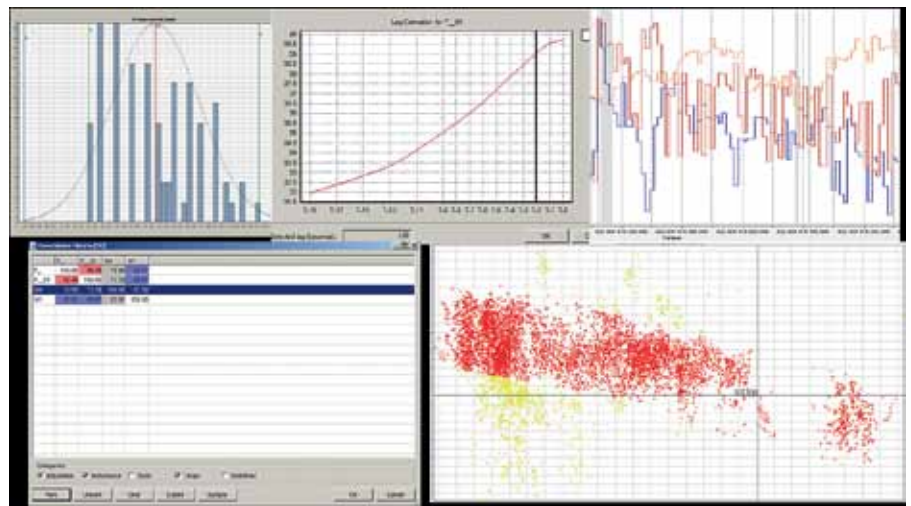


Рис. 2. Примеры графического интерфейса Proficy Troubleshooter

использовался инструмент Proficy Troubleshooter, входящий в состав пакета Proficy CSense. Данный инструмент не только позволяет представлять информацию в графическом виде (гистограммы, графики), строить корреляционную матрицу и исключать коллинеарные входы (высокая степень корреляции в матрице подсвечивается розовым и фиолетовым, а исключенные параметры – серым цветом), но и делает несколько итераций по исключению из модели данных, не согласующихся с ведением технологического процесса. Так, после удаления неполной информации или информации, явно не соответствующей технологическому процессу для построения модели, при реализации проекта у нас осталось лишь 150 выборок. Более того, на этом этапе в первом приближении были оценены перспективы оптимизации процесса как разница между среднестатистическим значением показателя целевого процесса и оптимальным значением, которые в последующем легли в основу технико-экономического обоснования проекта.

Примеры графического интерфейса анализа данных приведены на рис. 2, где справа, внизу, отдельно следует выделить Scatter Plot – инструмент, который в виде точек изображает взаимосвязь между двумя наборами данных. На нем в явном виде прорисована зависимость качественного показателя одного из потоков от соотношения входных и выходных потоков разделяемого вещества на

моделируемой установке (красные точки). Желтым цветом отмечены значения параметров, исключенные из моделирования.

3. *Построение модели* выполнялось полностью в автоматическом режиме, при этом две трети выборок использовались для построения закономерностей, а одна треть – для проверки. Так как деление выборок в программе происходит случайным образом, чтобы убедиться, что  $R^2$  модели не изменяется более чем на 1–2% (модель считается достаточно хорошей, когда этот показатель больше либо равен 85–90%), мы построили модель несколько раз.

4. *Стадия извлечения новых знаний* – это шаг на пути к оптимизации процесса и одновременно инструмент для опытного технолога, позволяющий проверить адекватность модели по принципу «Что, если?» очень простым способом: потянув бегунок влияющего параметра в ту или иную сторону прямо на экране, можно увидеть, как модель прогнозирует изменение целевого показателя. Рядом в графическом виде будет представлен анализ влияющих факторов из числа входных переменных с учетом весовых коэффициентов, их влияния на том или ином участке процесса, а также правила нечеткой логики, сформированные системой на этапе моделирования.

5. *Оценка возможностей* также представляла собой автоматический процесс, где на основе модели проверялась наша предварительная оценка улучшений, сделанная еще на стадии

обработки статической информации. Здесь важно было задать регламентные ограничения для регулируемых параметров.

6. *Модель действия* была построена с помощью инструмента Architect, также входящего в пакет Proficy CSense. Набор встроенных блоков позволял в простейшем случае получить данные от источника реального времени (будь то контроллер, сервер АСУ ТП, реляционная БД или хранилище производственных данных, например Proficy Historian), с помощью модели выработать прогнозное значение целевого параметра и передать полученную информацию оператору.

На этапе построения модели действия нами была поставлена и задача оптимизации процесса. Так, задавая пределы регулируемых параметров согласно регламенту и функцию оптимизации, например, поддержание максимальной концентрации продукта, имя которого носит виртуальный анализатор, мы получаем информацию о том, каким мог бы быть целевой показатель, что и насколько нужно исправить: поднять температуру на 3 °С, снизить давление на 1,3 кгс/см<sup>2</sup> и т.п. Как уже отмечалось, все рекомендации могут выдаваться или в режиме «советчик оператора», или на уровень управляющего контроллера в качестве уставок регуляторам. В реализованном проекте рекомендации выдавались в режиме «советчик оператора», созданном в графическом редакторе уже существующей на предприятии системы управления. Обмен информацией с пакетом Proficy CSense был организован по OPC-протоколу. Архитектура взаимодействия APC-системы и традиционной АСУ ТП показана на рис. 3.

В процессе эксплуатации APC-системы на основе проверок работы модели ВА по текущим показаниям, а также по результатам ряда производственных экспериментов (попыток в ручном режиме вывести уставку на оптимальные параметры), проведенных специалистами предприятия, было подтверждено надлежащее качество выполнения проекта компанией «ТЕХНОЛИНК».



Рис. 3. Пример архитектуры взаимодействия APC-системы и традиционной АСУ ТП

В настоящее время для обеспечения дальнейшего соответствия модели реальному технологическому процессу требуется своевременно корректировать ее базу знаний. Необходимость адаптации модели может быть вызвана изменениями характеристик основного оборудования (выход из строя датчиков, засорение дымоходов и др.), изменениями условий окружающей среды или результатами внутренней диагностики модели средствами Proficy CSense, которые являются индикатором правомочности использования модели в управлении установкой. В среднем подобная корректировка, или адаптация, модели требуется один раз в квартал.

#### Выводы

1. Опыт компании «ТЕХНОЛИНК» показывает, что даже небольшого набора информации может оказаться достаточно, чтобы подготовить адекватную модель и оптимизировать управление технологическим процессом на предприятии. Результат этого усовершенствования вполне измерим. Разница между средними значениями целевого показателя до применения виртуального анализатора с функцией оптимизации и после построения APC-системы может составлять от единиц до десятых долей процента, что за год может дать тысячи тонн продукта, которые несложно перевести в денежный эквивалент, тем самым доказав, что затраты на разработку окупаются.

2. В архиве системы управления заложена модель проведения процесса для разных времен года, различного состояния оборудования.

Эти данные можно извлечь в виде ссылки на источник данных или в формате текстового файла.

3. Важная составляющая процесса моделирования на всех его этапах — это аккумулирование, взаимная корректировка статистических выводов с опытом и знаниями специалистов-технологов, что в конечном итоге позволяет говорить об APC-системе как об экспертной системе управления.

4. Анализ эффективности технологического процесса и поиск путей оптимизации не требуют от специалиста, решающего эту задачу, серьезного опыта программирования или глубокого знания математического аппарата (искусственных нейронных сетей, нечеткой логики и т. п.) — это берет на себя пакет программ Proficy CSense от GE Intelligent Platforms.

#### Литература

1. Егоров А.А. Интеллектуальные системы в нефтегазовой отрасли: иллюзии, реальность, практика // Автоматизация в нефтегазовой области. 2014. № 4.
2. Файрузов Д.Х., Бельков Ю.Н., Кнеллер Д.В. и др. Система усовершенствованного управления установкой первичной переработки нефти: создание, внедрение, сопровождение // Автоматизация в промышленности. 2013. № 8.
3. Казаринов Л.С., Парсункин Б.Н., Литвинова А.Е. и др. Распределенное прогнозирующее управление технологическим процессом в металлургии // Автоматизация в промышленности. 2013. № 2.
4. Дозорцев В.М., Ицкович Э.Л., Кнеллер Д.В. Усовершенствованное управление технологическими процессами (APC): 10 лет в России // Автоматизация в промышленности. 2013. № 1.
5. Захаркин М.А., Кнеллер Д.В. Применение методов и средств усовершенствованного управления технологическими процессами (APC) // Датчики и системы. 2010. № 10.
6. Ицкович Э.Л. Современные алгоритмы автоматического регулирования и их использование на предприятиях // Автоматизация в промышленности. 2007. № 6.

Д.В. Лежнин, начальник технического отдела,  
А.О. Вахрушев, инженер технического отдела,  
ЗАО «ТЕХНОЛИНК», г. Санкт-Петербург,  
e-mail: marketing@technolink.spb.ru,  
www.technolink.spb.ru