

# Комплекс для разработки и отладки проектов АСУ ТП

Алексей Маслов, Андрей Висков

В статье описаны состав, структура, аппаратные и программные средства комплекса, предназначенного для тестирования и отладки программного обеспечения АСУ ТП в лабораторных условиях с использованием цифровых моделей и полного имитатора технологического процесса. Приводится пример использования комплекса при создании АСУ процессом холодного копчения рыбы.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный подход к созданию АСУ ТП требует не просто замены прежних аналоговых регуляторов на цифровые, имеющие несомненные преимущества, с точки зрения обеспечения визуализации процесса, графического интерфейса оператора, самоконтроля, хранения и архивирования информации и т.п., но и должен предполагать повышение качества управления за счет использования высокоэффективных алгоритмов. Использование таких алгоритмов управления ранее сдерживалось их сложностью и господством аналоговой элементной базы, отчего практическая реализация либо становилась принципиально невозможной, либо могла быть достигнута ценой неприемлемых затрат. Даже широкомасштабный процесс перехода на цифровую элементную базу, осуществленный в 70-80-е годы прошлого столетия, не обеспечил тогда соответствующего повышения качества управления из-за трудностей при реализации режима жёсткого реально-го времени.

Использование более совершенных алгоритмов управления позволяет:

- непрерывно осуществлять оптимальную настройку регуляторов, обеспечивая стабильный уровень качества производимой продукции и снижение количества отбракованной продукции (по американским данным, до 80% регуляторов в промышленности настроены неоптимально из-за динамического изменения параметров процесса);

- обеспечить экономию сырья и энергоресурсов;
- увеличить сроки службы оборудования.

Стремительное развитие технологии производства средств микропроцессорной техники создало необходимые предпосылки для практического внедрения подобных алгоритмов, однако сдерживающим фактором долгое время являлась высокая трудоёмкость и стоимость разработки программного обеспечения (ПО) АСУ ТП, требующей для реализации проектов использования языков высокого уровня, а значит, участия инженеров-программистов самой высокой квалификации.

## Постановка задачи

В настоящее время разработчики получили в свои руки набор мощных и эффективных инструментальных программных средств, предназначенных для разработки ПО АСУ ТП, — SCADA-системы.

Отметим коротко основные функции SCADA-систем:

- 1) сбор информации о ТП;
- 2) обеспечение интерфейса оператора;
- 3) сохранение истории процесса;
- 4) непосредственное автоматическое управление в необходимом объёме.

Современные SCADA-системы, такие как GENESIS (Iconics), Genie (Advantech), InTouch (Wonderware) и другие, позволяют достаточно быстро реализовать первые три функции, используя основной информационный элемент — тег (tag), логически связанный с данными, и разнообразные графичес-

кие образы. Реализация четвертой функции может быть выполнена или с использованием блоков простых типовых алгоритмов управления (ПИД-регулятор, двухпозиционное регулирование и т.д.), или осуществлена по собственным алгоритмам с использованием скрипт-языков типа Microsoft Visual Basic (VB). Наряду с этим имеется возможность подключения инструментария в виде пользовательских DLL-библиотек, а также динамического обмена данными с пользовательскими приложениями по интерфейсу DDE, OPC и т.п.

Таким образом, SCADA-системы — идеальный инструмент для разработки ПО АСУ ТП, однако они не обладают возможностью полноценного тестирования как высокоэффективных алгоритмов управления, работающих при изменяющихся параметрах технологического процесса, так и всей системы в целом в случаях неумелых действий оператора, приводящих к аварийным ситуациям. В этих пакетах нет развитых средств создания модели ТП, так как их цель — отображение и диспетчеризация процесса по поступающим данным и создание АСУ ТП. Реализация моделей даже типовых элементов на VB или на уровне DLL-библиотек — процесс трудоёмкий и не универсальный. Решения с использованием универсальных пакетов визуального моделирования Simulink (MathWorks) и VisSim 32 (Visual Solution), информационно связанных со SCADA-системами через интерфейс DDE [1], эффективны для создания тренажеров, но не реша-

ют всех задач полноценного тестирования ПО АСУ ТП, так как из объектов тестирования исключаются как программы обслуживания устройств связи с объектом (УСО), так и сами УСО.

Всё сказанное приводит к тому, что тестирование сложных алгоритмов, обеспечивающих управление объектами с изменяющимися свойствами, а также тестирование всей системы в целом на корректность функционирования в ситуациях временного изменения параметров и аварий технологического оборудования приходится выполнять на этапе проведения пусконаладочных работ непосредственно на объекте управления. Проведение таких работ требует отклонения от нормального режима функционирования АСУ ТП, а зачастую и полной остановки ТП. Вынужденный простой промышленного оборудования приводит к удорожанию проекта и увеличению сроков его внедрения. В ряде случаев ТП не допускает вывода его в аварийный или даже предаварийный режим для необходимого тестирования ПО, что приводит к возможной эксплуатации АСУ ТП с ПО, от которого «неизвестно, что ожидать» в экстренных ситуациях. Очевидно, что такая эксплуатация чревата экономическими и экологическими потерями.

Использование представляемого комплекса для отладки проектов АСУ ТП, имеющего в своем составе полный имитатор технологических процессов, позволяет:

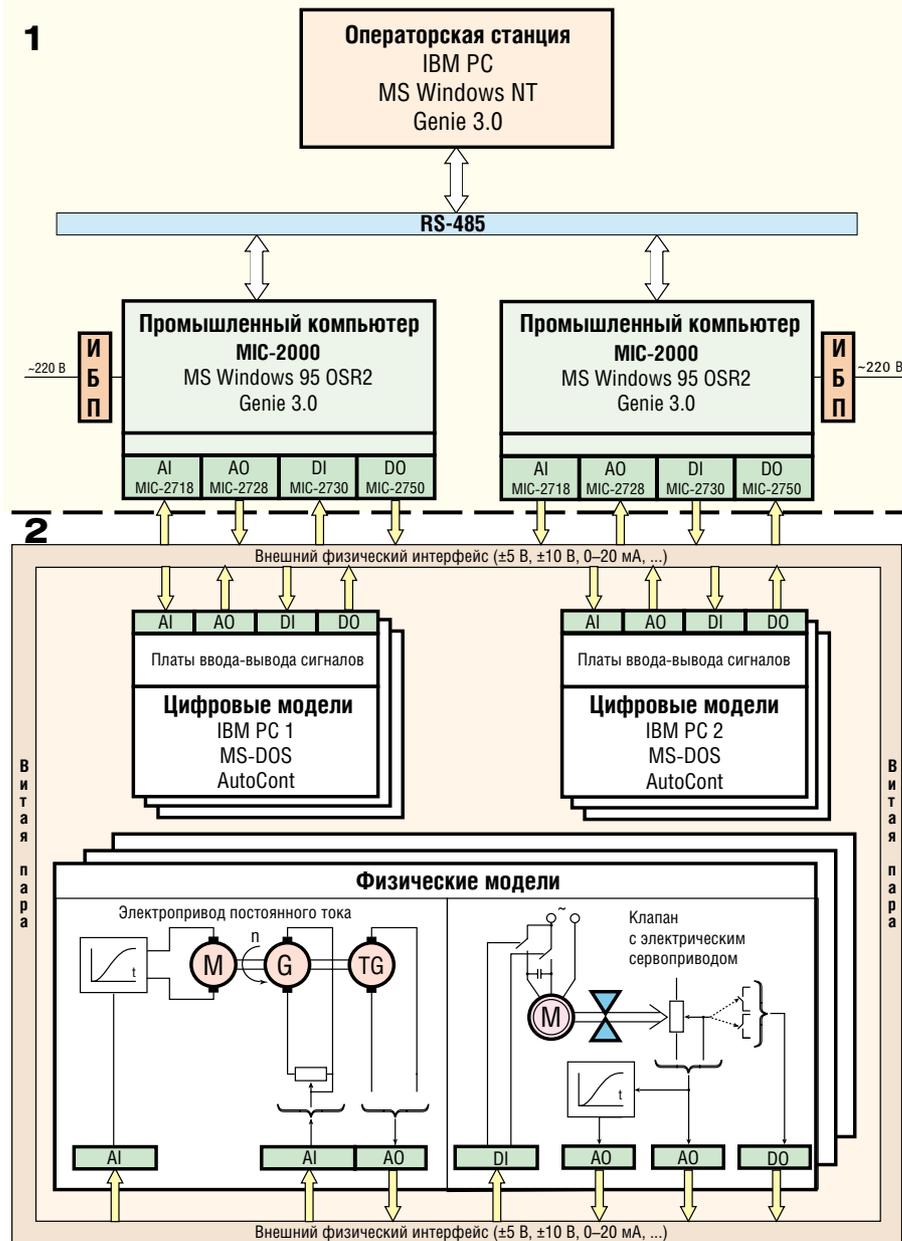
- реализовывать в составе АСУ ТП высокоэффективные алгоритмы управления (оптимальное управление, адаптивное управление, диагностику состояния и т.д.);
- создавать высоконадежное ПО АСУ ТП;
- сокращать сроки внедрения.

### ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСА

Комплекс состоит из двух основных частей (рис. 1):

- системы управления (СУ), разработанной на основе SCADA-системы, рис. 1 (1);
- полного имитатора ТП, реализованного на базе программно-аппаратных средств, функционирующих в режиме реального времени, рис. 1 (2).

Аппаратная часть системы управления построена на основе IBM PC совместимого компьютера с процессором Pentium и модульных промышленных



Условные обозначения:

ИБП — источник бесперебойного питания;

AI — аналоговый вход;

AO — аналоговый выход;

DI — дискретный вход;

DO — дискретный выход.

Рис. 1. Структура комплекса

компьютеров MIC-2000 фирмы Advantech. Обмен информацией между ними производится по стандартному последовательному интерфейсу RS-485. Выбор MIC-2000 во многом предопределили модульная архитектура на базе пассивной объединительной платы с магистралью типа ISA, обеспечивающая функциональную гибкость, простоту модернизации и обслуживания комплекса, и прочный пылезащитный корпус, соответствующий решаемым комплексом задачам из области промышленной автоматизации.

MIC-2000 укомплектован следующим набором стандартных модулей:

- MIC-2718 — модуль аналогового ввода (8 дифференциальных или 16 однопроводных каналов 12-битового АЦП, 100 кГц);
- MIC-2728 — модуль аналогового вывода (4 двуполярных изолированных канала 12-битового ЦАП с двойной буферизацией);
- MIC-2730 — модуль дискретного ввода (два 8-разрядных оптоизолированных канала цифрового ввода со светодиодной индикацией состояния линий);
- MIC-2750 — модуль дискретного вывода (два 8-разрядных оптоизолированных канала цифрового вывода со светодиодной индикацией состояния линий).

Программная часть системы управления реализована с использованием SCADA-системы Genie 3.0 (рис. 2).

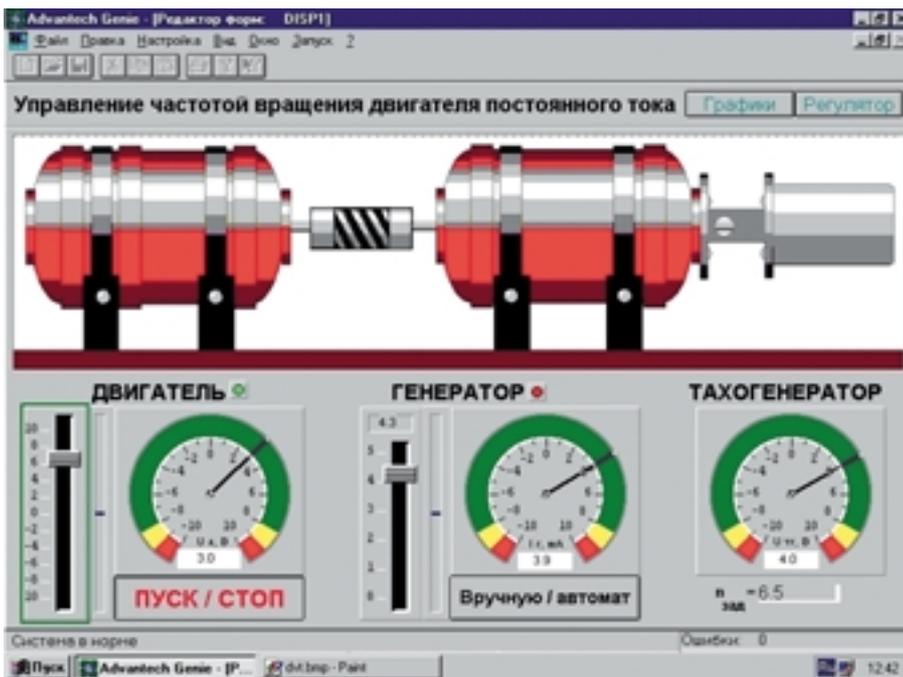


Рис. 2. Экранная форма, созданная средствами Genie 3.0

Имитатор ТП представлен набором цифровых и физических моделей.

Цифровые модели реализованы на базе IBM PC совместимых ПЭВМ с использованием программных средств AutoCont [2]. Для связи с СУ используются платы ввода-вывода сигналов:

- универсальная плата сбора данных (8 дифференциальных или 16 однопроводных каналов 12-битового АЦП, 100 кГц с программируемым коэффициентом усиления, 2 однополярных канала 12-битового ЦАП с двойной буферизацией, по два 8-раз-

рядных канала цифрового ввода и вывода, три таймера-счётчика);

- плата аналогового вывода (6 12-битовых каналов с индивидуальными микросхемами ЦАП с двойной буферизацией).

Пакет моделирования автоматических систем регулирования AutoCont позволяет рассчитывать различные частотные характеристики, переходные процессы, фазовые портреты и получать их графики. В состав пакета входит редактор структурных схем, позволяющий создавать автоматические си-

стемы управления различных типов, используя широкий набор элементов и связей между ними. AutoCont поддерживает устройства связи с объектами и применяется для создания систем управления внешним оборудованием. AutoCont широко используется для решения исследовательских и практических задач, а также в учебном процессе.

Программные средства AutoCont позволяют с помощью встроенного редактора структурных схем и меню элементов легко формировать цифровую модель ТП практически неограниченной сложности (рабочее поле редактора 80x80 элементов).

Среди элементов следует отметить следующие:

- аналоговые линейные элементы, описываемые линейными дифференциальными уравнениями до 20-го порядка;
- цифровые элементы, включая типовые П-, ПИ-, ПД-, ИД- и ПИД-регуляторы;
- различные модификации типовых нелинейностей (идеальное реле, реле с зоной нечувствительности, реле с зоной неоднозначности, реальное реле, усиление с ограничением, люфт);
- элемент функциональной зависимости  $x_{вых} = f(x_{вх})$ , где  $f(x_{вх})$  задается в виде входной строки длиной не более 255 символов, среди которых могут присутствовать числа, знаки, арифметические операции, скобки произвольной вложенности, функции (ln, log, sin, cos, tg, ctg, exp, arctg, sign, abs, sqrt);
- элементы, реализующие различные виды входных сигналов, включая как стандартные  $A \cdot I(t - \tau)$ ,  $A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ , так и функцию  $x = f(t)$ , где  $f(t)$  задается аналогично описанной  $f(x_{вх})$ , за исключением того, что аргументом является величина  $t$ ;
- запаздывание, реализующее функцию  $x_{вых} = x_{вх}(t - \tau)$ ;
- элементы: пересечение, множитель, умножитель;

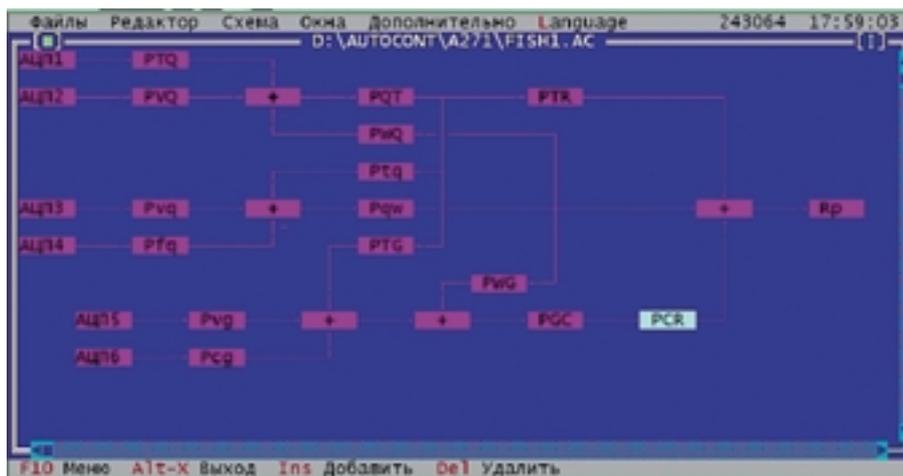
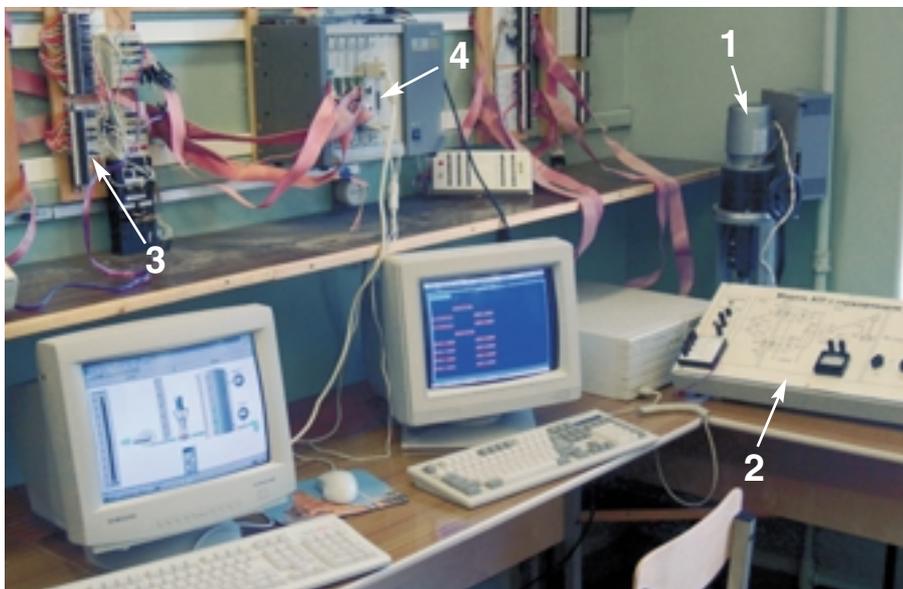


Рис. 3. Внешний вид окна программы с фрагментом модели тестируемого технологического процесса (AutoCont)



Условные обозначения:

- 1 — клапан с электроприводом;
- 2 — блок изменения параметров ТП;
- 3 — коммутатор внешнего физического интерфейса;
- 4 — промышленный компьютер MIC-2000.

Рис. 4. Физическая модель: система регулирования с сервоприводом

- элементы АЦП и ЦАП, служащие для связи с внешними устройствами через соответствующие платы ввода-вывода при моделировании в реальном времени.

Такой широкий набор элементов позволяет создавать полные имитаторы работы технологического оборудования, включая датчики и исполнительные механизмы, в реальном масштабе времени (рис. 3).

Физические модели (рис. 4) реализованы на базе элементов, наиболее широко используемых в ТП, и обеспечивают высокую наглядность функционирования отдельных узлов систем. Внешние органы ручного задания па-

раметров ТП (переключатели, потенциометры) позволяют изменять уставки в широком диапазоне. Так, например, физическая модель электропривода позволяет имитировать соответствующие процессы в диапазоне 80 Вт...300 кВт. Реализация временных характеристик осуществлена с использованием операционных усилителей с соответствующими обратными связями. В случае необходимости наложения дополнительных помех или какой-либо обработки выходной сигнал физической модели вводится в цифровую модель на базе IBM PC, откуда поступает в СУ.

Связь между всеми элементами комплекса осуществляется по внешнему физическому интерфейсу. Он выполнен неэкранированными проводами, по которым осуществляется передача стандартных электрических аналоговых и дискретных сигналов ( $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В, 0-20 мА, 4-20 мА...), соответствующих сигналам, используемым в реальном ТП, для которого тестируется

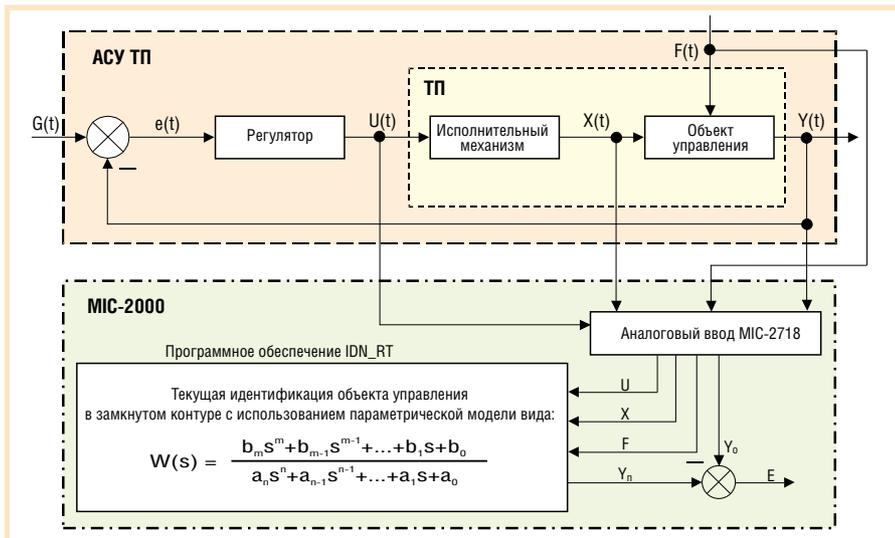


Рис. 5. Схема идентификации объекта управления

ПО. Для отладки и тестирования конкретного проекта АСУ ТП через коммутатор (на рис. 1 не показан) производится подключение соответствующих входов и выходов системы управления и полного имитатора. В случае использования сложных цифровых моделей ТП и невозможности обеспечения жёсткого режима реального времени одним компьютером имитатора может быть задействован ряд таких.

Рассматриваемый комплекс даёт возможность обеспечить тестирование ПО АСУ ТП, имеющего в своём составе алгоритмы цифровой фильтрации, идентификации, адаптивного управления, диагностики состояния как отдельных агрегатов, так и всего ТП.

Полная имитация ТП позволяет также обеспечить тестирование ПО на корректность для случаев высокого уровня электрических помех, отказов датчиков, исполнительных механизмов, системы электропитания.

При отсутствии математического описания ТП, необходимого для создания цифровой модели средствами AutoCont, используются специальные средства идентификации объекта управления в реальном масштабе времени, устанавливаемые на работающее оборудование (рис. 5). Они включают в себя промышленный компьютер MIC-2000 с соответствующей платой ввода и программные средства идентификации объектов в реальном времени IDN RT (рис. 6).

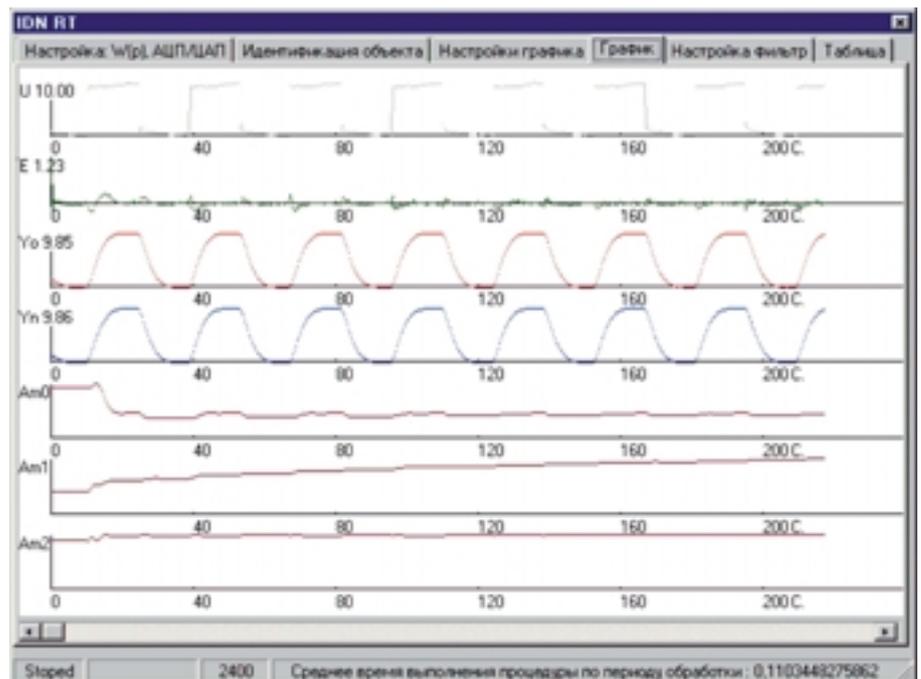
**ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА**

Одним из примеров использования комплекса в реальных проектах, позволяющих оценить корректность и

устойчивость результатов моделирования, является отладка ПО АСУ процессом холодного копчения рыбы. Метод дымового копчения широко распространён в нашей стране, кроме того, он даёт возможность получать продукцию наиболее высокого качества. Основная задача технологического процесса копчения состоит в насыщении рыбы коптильными компонентами за минимальное время при поддержании основных параметров процесса (температуры, влажности и скорости движения дымовоздушной смеси, температуры дымооб-

разования) в определенных, достаточно жёстких пределах. Процесс протекает в коптильной камере, представляющей собой установку, оснащённую необходимыми устройствами для создания циркуляции дымовоздушной смеси (циркуляционные и вытяжные вентиляторы, заслонки подачи дыма, свежего воздуха и выброса дымовоздушной смеси) и поддержания её параметров (тепловые электрические нагреватели — ТЭН, кондиционеры дымовоздушной смеси и дымогенераторы). В камере происходит осаждение коптильных компонентов на поверхность сырья с последующей их диффузией внутрь продукта. Здесь же происходят процессы обезвоживания рыбы. Внешний вид отдельных компонентов коптильной установки, входящей в состав учебно-экспериментальной базы Мурманского государственного технического университета, представлен на рис. 7 и 8.

Данная установка для холодного копчения относится к камерным установкам с неподвижными клетями. Камера представляет собой металлический параллелепипед с двойными стенками. Воздушная прослойка между стенками уменьшает интенсивность теплообмена дымовоздушной смеси камеры с окружающей средой и спо-



Условные обозначения:

- U — входной возбуждающий сигнал;
- E — рассогласование между выходными сигналами объекта идентификации (Yo) и настраиваемой модели (Yn);
- Am0, Am1, Am2 — настраиваемые коэффициенты модели.

Рис. 6. Графики, отражающие процесс идентификации объекта управления



Условные обозначения:  
 1 — прибор контроля параметров ТП;  
 2 — релейный блок управления электроприводами заслонок;  
 3 — циркуляционный вентилятор;  
 4 — прибор для измерения электросопротивления рыбы;  
 5 — электропривод заслонки дыма;  
 6 — датчик положения заслонки дыма.

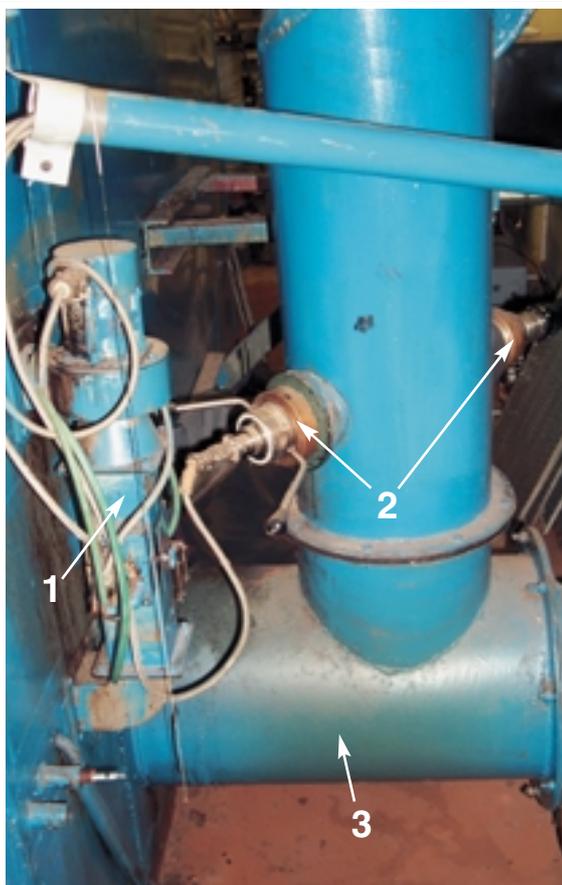
**Рис. 7. Внешний вид копильной установки**

способствует поддержанию постоянной температуры в камере.

**ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ**

На момент начала работ копильная установка была оснащена комплектом приборов контроля параметров копчения рыбы Н29-И57, позволяющим регистрировать скорость, оптическую плотность и влажность дымовоздушной смеси. Температура внутри камеры измерялась ртутным термометром. Регулирование положения заслонок на всасывающем и выпускном патрубках, количества тепла, вырабатываемого ТЭН, и температуры дымообразования производилось вручную.

В настоящее время температура дымовоздушной смеси в камере контролируется электронными датчиками температуры ДТ1 и ДТ2, температура свежего воздуха — датчиком ДТ3, температура дыма — датчиком ДТ4 (рис. 9). Изменение положения за-



Условные обозначения:  
 1 — датчик влажности дымовоздушной смеси;  
 2 — датчик оптической плотности дымовоздушной смеси (излучатель и приёмник);  
 3 — ТЭН копильной камеры.

**Рис. 8. Размещение датчиков на копильной установке**

слонки дыма (Зд) и заслонки свежего воздуха (Зсв) осуществляется соответствующими электроприводами. Угол поворота заслонок контролируется датчиками положения. Контроль текущего состояния обрабатываемого сырья выполняется специальным прибором, измеряющим электричес-

кое сопротивление кожи и мяса рыбы.

Циркуляционный вентилятор обеспечивает циркуляцию дымовоздушной смеси в камере со скоростью не менее 2 м/с. Скорость движения смеси поддерживается постоянной за счет изменения производительности циркуляционного вентилятора, для чего в АСУ процессом копчения имеется отдельный контур управления частотой вращения приводного двигателя вентилятора. С целью настройки регулятора этого контура также использовался описываемый комплекс.

Для получения копильного дыма применяют дымогенератор с подводом тепла от ламп с инфракрасным излучением. Температура дымообразования регулируется посредством изменения широтно-импульсным модулятором дымогенератора (ШИМ ДГ) интенсивности излучения ламп. Дым от дымогенератора засасывается циркуляционным вентилятором, эффективно перемешивается с дымовоздушной смесью и поступает в дымоходы. В процессе циркуляции смесь проходит над тепловыми электроннагревателями копильной камеры (ТЭН КК), управляемыми широтно-

импульсным модулятором копильной камеры (ШИМ КК). В камере предусмотрен трубопровод выброса части смеси в атмосферу, что необходимо для постоянного обновления смеси, удаления излишней влаги и добавления порций дыма. Количество выбрасываемой смеси определяется положением Зд. Влажность дымовоздушной смеси регулируется количеством засасываемого в камеру свежего воздуха, которое определяется положением Зсв.

### ТОЧНОСТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ

Копильные камеры рыбообработывающих предприятий, как правило, используют релейные системы стабилизации температуры дымовоздушной смеси и дымообразования и реже — влажности смеси. Такие системы не способны обеспечивать не только оптимальное протекание процесса копчения по стадиям, но и просто поддерживать параметры процесса с необходимой точностью:

- температуру дымовоздушной смеси — в пределах  $\pm 1^\circ\text{C}$ ;
- влажность дымовоздушной смеси — в пределах  $\pm 5\%$ ;

- температуру дымообразования — в пределах  $\pm 10^\circ\text{C}$ ;
- скорость движения дымовоздушной смеси — не ниже 2 м/с;
- концентрацию дыма — постоянной, что позволяет, с одной стороны, ускорить процесс получения готовой продукции, не снижая её качества, а с другой стороны, уменьшить расход электроэнергии и древесины на получение дыма.

Поддержание в ходе всего процесса оптимальных параметров копчения позволяет наиболее эффективно насытить рыбу копильными компонентами, придавая готовой продукции наилучшие вкус, аромат и цвет.

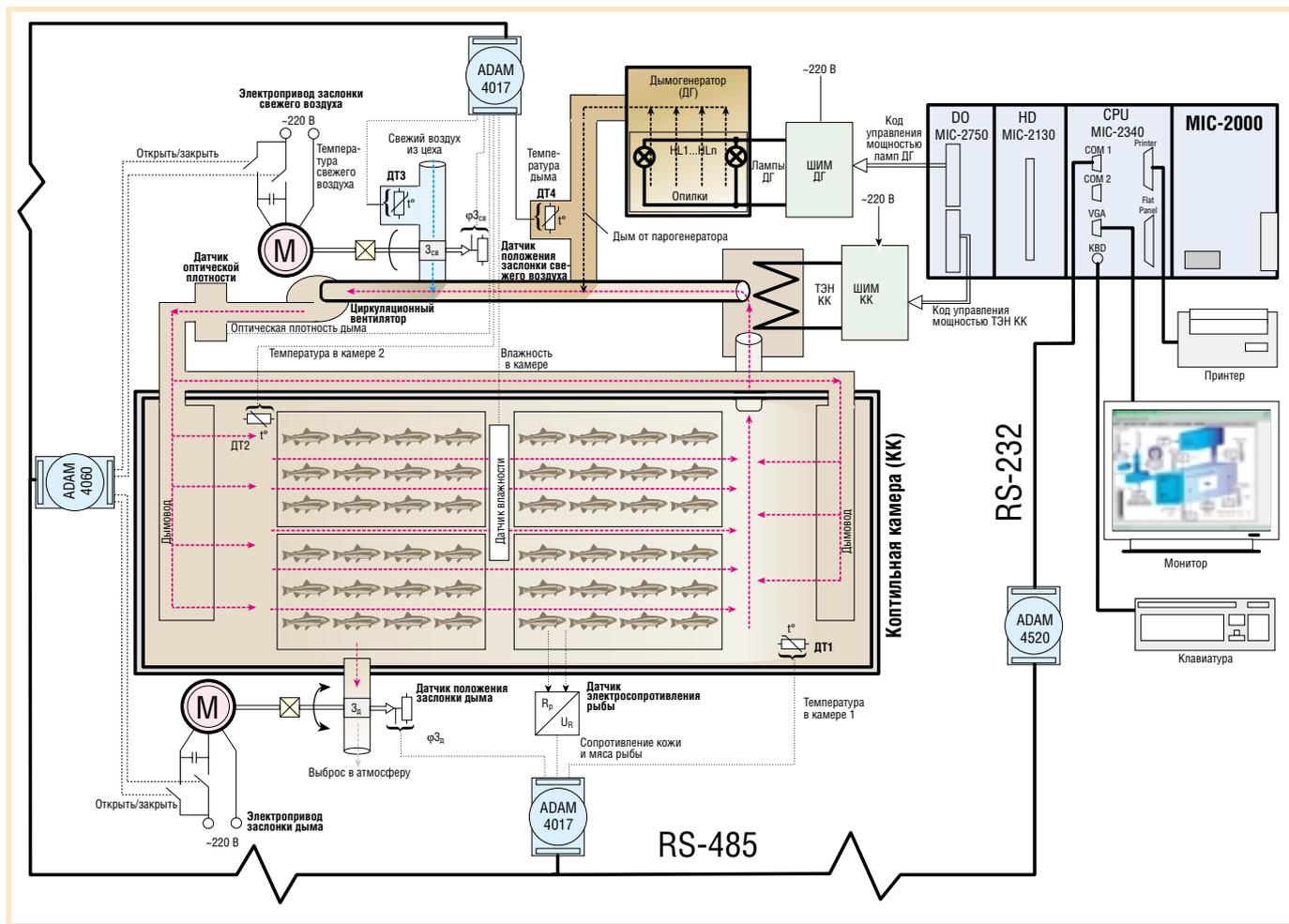
Дополнительные сложности для управления процессом копчения создают случайные, но при этом не менее существенные изменения параметров:

- сырья, зависящие от вида, размера, степени разделки, места и времени улова, режимов хранения и транспортировки;
- древесины, зависящие от породы дерева, размера и влажности опилок;
- окружающей среды.

В результате вариации параметров объекта управления оказываются настолько велики, что говорить об оптимальном управлении процессом копчения без применения адаптивных систем управления просто бессмысленно. Решение всех перечисленных проблем может быть получено в результате применения компьютерной системы управления с регуляторами, настроенными по средним или выявленным эмпирически значениям параметров объекта. Кроме того, использование цифровой системы позволяет создать целостный, информативный и удобный интерфейс оператора-технолога. Реальный эффект от эксплуатации такой системы может быть получен за счет экономии потребляемой электроэнергии, сокращения времени технологического цикла, улучшения качества выпускаемой продукции.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА

Применение комплекса для разработки и отладки проектов АСУ ТП позволило существенно упростить и ускорить процесс создания системы управления. Серией первоначальных экспериментов были определены пределы изменений параметров объекта управления. Это реализовано посредством программных средств идентификации



в реальном времени IDN RT и оценкой параметров объекта по обоснованным и проверенным практикой методикам [3], адаптированным к применению средств современной вычислительной техники. Полученные таким образом динамические модели были интегрированы в имитатор ТП комплекса. ПО АСУ, разработанное в SCADA-системе Genie, использовано для настройки регуляторов. Настройка производилась для различных сочетаний параметров объекта, обязательно включающих в себя параметры с предельными значениями. В результате получены оценки разброса значений параметров настроенных регуляторов. Если разброс находится в пределах допуска, то используются средние значения параметров, в противном случае — по рекомендациям опытного технолога выбираются параметры регулятора, соответствующие наиболее распространённым сочетаниям параметров объекта. Полученные алгоритмы управления в составе ПО АСУ переносятся на реальную систему при условии использования того же аппаратного обеспечения. Можно, конечно, спорить об адекватности используемых динамических моделей, корректности и обоснованности при-

Условные обозначения:

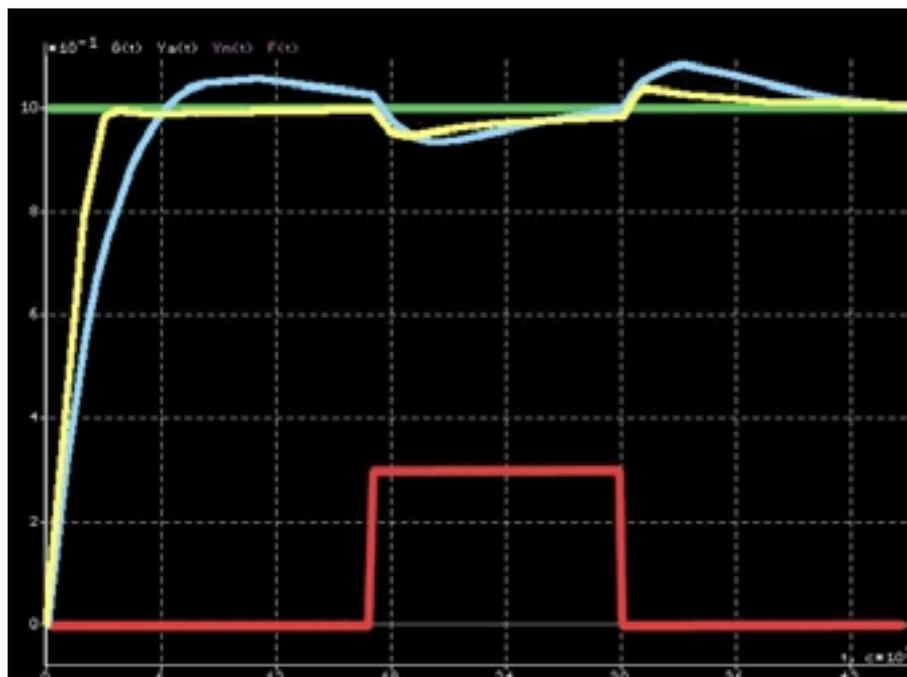
- потоки дымовоздушной смеси;
- потоки свежего воздуха;
- потоки дыма от дымогенератора;
- DT1, DT2 — датчики температуры дымовоздушной смеси в коптильной камере;
- DT3 — датчики температуры свежего воздуха;
- DT4 — датчики температуры дыма;
- Зсв — заслонка свежего воздуха на всасывающем трубопроводе коптильной камеры;
- фЗсв — положение (угол поворота) заслонки свежего воздуха;
- Зд — заслонка дыма на выпускном трубопроводе коптильной камеры;
- фЗд — положение (угол поворота) заслонки дыма;
- Rp — сигналы электрического сопротивления кожи и мяса рыбы;
- UR — сигналы напряжения, пропорциональные электрическому сопротивлению кожи и мяса рыбы.

Рис. 9. Структура АСУ процессом холодного копчения рыбы

меняемых методов, но такой подход всё равно лучше и эффективнее, чем подбор параметров регулятора на объекте «с нуля» (в случае процесса копчения это ещё и очень долго — процесс весьма инерционный). Кроме того, настройка параметров регуляторов в режиме реального производства рыбопродукции непременно приводит к отклонениям от заданного технологического процесса, появлению брака и, соответственно, к экономическим потерям. На рис. 10 показаны исходные и настроенные с использованием комплекса переходные процессы в контуре стабилизации температуры дымовоз-

душной смеси при открытии на 30% заслонок свежего воздуха и выбросе смеси в атмосферу.

Представляется весьма оправданным реализация рассматриваемой АСУ на базе аппаратного обеспечения фирмы Advantech (рис. 9). Использование MIC-2000 с модулем центрального процессора MIC-2340 в качестве управляющего компьютера позволяет не только унифицировать отладочные и функциональные аппаратные средства, но и реализовать необходимые контуры управления, включая адаптивные, качественный и наглядный интерфейс оператора, набор сервисных



Условные обозначения:

- $G(t)$  — заданное значение температуры дымовоздушной смеси;
- $Y_a(t)$  — текущее значение температуры дымовоздушной смеси в системе с настроенным регулятором;
- $Y_n(t)$  — текущее значение температуры дымовоздушной смеси в системе с ненастроенным регулятором;
- $F(t)$  — возмущение, положение заслонки свежего воздуха (открытие заслонок на 30%).

**Рис. 10.** Исходные и настроенные с использованием комплекса переходные процессы в контуре стабилизации температуры дымовоздушной смеси

функций ведения истории процесса и журнала отчёта о действиях оператора. Применение модулей удалённого сбора данных серии ADAM 4000 обеспечивает существенное снижение влияния помех, возникающих в линиях передачи данных, и делает систему более гибкой в плане возможности наращивания количества датчиков, исполнительных механизмов и самих коптильных камер.

Очевидна эффективность использования для реализации АСУ ТП SCADA-систем. На начальном этапе разработки комплекса авторами были опробованы SCADA-системы Genie компании Advantech и TraceMode 5.03 Laboratory компании AdAstra. Выяснилось, что разрабатывать и отлаживать проекты некрупных АСУ ТП в Genie значительно проще. Редактор задач Genie позволяет создавать блок-схемы, максимально приближенные по виду к функциональной схеме системы. Редактор FBD-программ TraceMode содержит более широкую номенклатуру функциональных блоков, но схема получается менее наглядной из-за отсутствия на схеме блоков ввода-вывода, а дополнительные функции для рассматриваемой АСУ

оказываются невостребованными. В Genie очень легко осуществляется согласование уровней сигналов в пределах каждого контура: достаточно всего лишь правильно установить параметры устройств ввода-вывода. В TraceMode для этого необходимо производить довольно трудоёмкую настройку каналов или создавать программы трансляции. Сама среда разработки Genie значительно удобнее, так как является продуктом all-in-one, а в TraceMode приходится запускать разные модули, сохраняя и вновь открывая проект, что просто утомительно даже при работе на компьютере с высоким быстродействием. Вообще TraceMode значительно более требовательна к ресурсам и вычислительной мощности системы, на которой ведётся разработка проекта. Наконец, тестовые запуски в Genie осуществляются непосредственно в рабочем режиме, а в TraceMode используются различные эмуляторы, что оправдывает себя при тестировании небольших частей крупного проекта, а для малого проекта приходится каждый раз запускать про-файлер, что долго и неудобно. Всё перечисленное и определило выбор в пользу Genie.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный комплекс внедрён в лаборатории компьютерных систем управления Мурманского государственного технического университета и применяется при разработке реальных и учебных проектов. Полученные результаты показывают, что с использованием пакетов Genie, AutoCont (или аналогичных) достаточно просто и быстро могут быть созданы комплексы для отладки ПО АСУ ТП на базе SCADA-систем. Возможность моделирования динамических объектов управления любой сложности и с изменяющимися параметрами в реальном времени позволяет разрабатывать и внедрять высокоэффективные алгоритмы управления в АСУ ТП, обеспечивающие оптимальное или строго заданное протекание ТП.

Использование комплекса создаёт условия для разработки и отладки ПО с минимальными затратами и в лабораторных условиях, уменьшения общей стоимости разработки проектов и сокращения сроков их внедрения. Комплекс особенно эффективен при разработке и отладке проектов АСУ ТП для предприятий малого и среднего бизнеса. Кроме того, для небольших компаний одноуровневая система управления, аналогичная по структуре представленному комплексу, может оказаться достаточно надёжным, несложным, относительно недорогим и вполне современным решением.

Целесообразно использование комплекса и для создания различных тренажёров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Ахметсафин, Р. Ахметсафина, Ю. Курсов. Разработка тренажёров и отладка проектов АСУ ТП на базе пакетов MMI/SCADA //Современные технологии автоматизации. — 1998. — № 3. — С. 38–41.
2. А.А. Маслов, С.И. Ушаков. Пакет анализа/моделирования в реальном времени систем автоматического управления/регулирования «AutoCont II» //Наука — производству. —2000. — № 2. — С. 55–57.
3. В.С. Балакирев и др. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. — М.: «Энергия», 1967. ●

**Авторы — сотрудники  
Мурманского государственного  
технического университета  
Телефон: (8152) 45-7392**