

ТРЕНАЖЕРНО-УПРАВЛЯЮЩИЙ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

А.В. Сухарев, Б.А. Головушкин, А.Н. Лабутин, Е.В. Ерофеева
(ГОУВПО Ивановский государственный химико-технологический университет)

Разработан тренажерно-управляющий программно-технический комплекс для объектов химической технологии. На базе этого комплекса можно проводить синтез систем управления, поддерживающих различные критерии качества переходных процессов, имитационное моделирование и исследование работы технологических объектов и систем управления.

Ключевые слова: программно-технический комплекс, химический реактор, системы управления, объект управления, имитационное моделирование, субоптимальность.

Автоматизация промышленного производства — одна из важнейших задач настоящего времени. Технической базой для построения АСУТП являются программно-технические комплексы (ПТК), применяемые на предприятиях химии, энергетики, металлургии, транспорта, машиностроения. Создание ПТК для решения конкретной задачи автоматизации является сложным процессом, зачастую не имеющим типового решения. В то же время перед высшими учебными заведениями стоит проблема создания (модернизации) лабораторной базы, которая в дальнейшем будет востребована как в различных отраслях промышленности, так и в сфере образования и науки. Авторами был разработан ПТК, позволяющий моделировать работу системы управления различной структуры и имитировать управление техническими и технологическими объектами.

Разработанный комплекс позволяет решить ряд задач: синтез систем управления; имитационное моделирование работы технологических объектов и систем управления; проведение тренинга инженеров технологов и инженеров АСУТП; управление удаленными объектами; проведение лабораторных работ по ряду дисциплин, таких как: технические средства автоматизации, моделирование систем, автоматизация ТП производств, интегрированные системы проектирования и управления, микропроцессорные информационно-управляющие системы, информационное обеспечение систем управления т.д.

Комплекс представляет собой двухуровневую систему автоматического управления. Верхний уровень включает АРМ, серверы базы данных и приложений, объединенные на базе технологии коммутируемых сетей Fast Ethernet (100 Мбит/с). Нижний уровень системы управления представлен контроллером ТКМ410, включенным в сеть Ethernet (10 Мбит/с).

Комплекс состоит из современных аппаратных и программных средств. Физическая структура ПТК представлена на рис. 1.

Аппаратная часть состоит из четырех ПЭВМ, мноблочного технологического контроллера ТКМ410 и сетевого коммутационного оборудования. ПЭВМ-1 — служит для имитации работы объекта управления (Simulink, Matlab), ПЭВМ-2 — АРМ инженера АСУТП (ISaGRAF, Master SCADA в режиме разработки и отладки), ПЭВМ-3 — АРМ инженера технолога (Master

SCADA в режиме исполнения), ПЭВМ-4 — SQL-сервер для хранения значений переменных объекта управления и OPC-сервер (OLE for Process Control — единый интерфейс для процессов управления на основе OLE технологии) для динамического обмена данными. Имеется возможность расширить информационную мощность контроллера ТКМ410 путем подключения интеллектуальных модулей "ТЕКОНИК".

Программное обеспечение: Master SCADA, Matlab (Simulink с OPC Toolbox), ISaGRAF, Tecon OPC сервер, Microsoft SQL сервер. ПЭВМ 1...3 работают под управлением ОС Microsoft Windows XP, а ПЭВМ-4 — Microsoft Windows Server 2003.

Математическое и алгоритмическое обеспечение: имитационная модель химического реактора и модели систем управления. Информационное обеспечение: мнемосхемы ТП и БД трендов технологических переменных объекта управления.

Модель объекта управления выполняется в приложении Simulink (ПЭВМ-1). При помощи блоков OPC Toolbox данные с математической модели передаются в Tecon OPC сервер (ПЭВМ-4). Информацию об объекте из OPC сервера получает контроллер (ТКМ410) и система Master SCADA (ПЭВМ-3). Контроллер на основании полученной из OPC сервера информации об объекте формирует регулирующие воздействия, которые поступают обратно в OPC сервер для организации воздействия на объект управления. Приложение Simulink получает из OPC сервера регулирующие воздействия контроллера и рассчитывает новое состояние

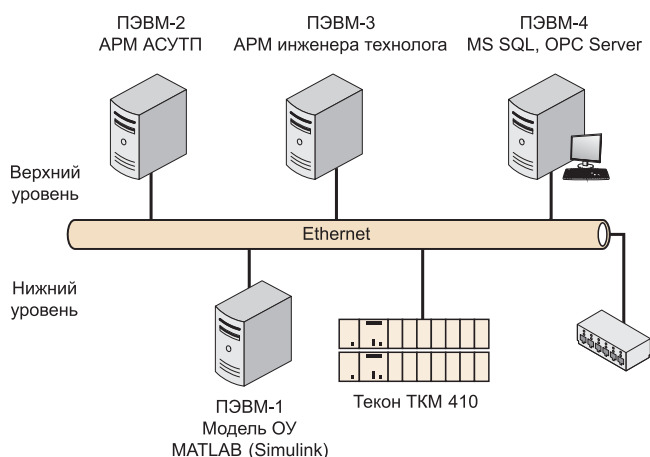


Рис. 1. Физическая структура ПТК

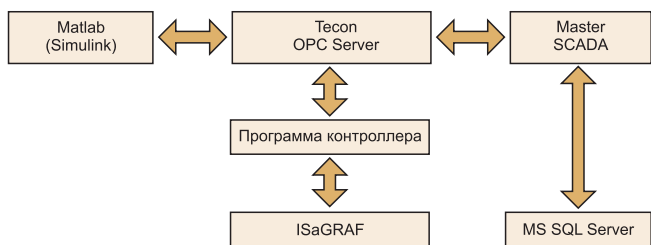


Рис. 2. Структурная схема взаимодействия ПО ПТК

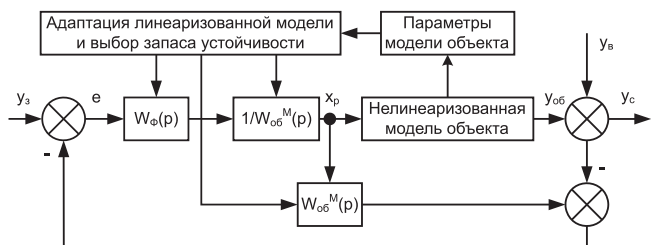


Рис. 4. Структурная схема системы управления с применением регулятора с внутренней моделью

объекта. Master SCADA получает через OPC сервер не только информацию об объекте управления, но и значения регулирующих воздействий контроллера и на основании ее наглядно отображает полученную информацию на мнемосхемах. АРМ инженера-технолога позволяет из Master SCADA передавать в OPC сервер новые задания контроллеру, изменять структуру системы управления и настройки регуляторов, реализованных в контроллере. Для резервирования, архивирования и восстановления данных, а также паспортизации технологического оборудования к SCADA системе можно подключить СУБД (Microsoft SQL Server). Инженер АСУТП (ПЭВМ-2), может перепрограммировать контроллер и отладить его программу, используя среду ISaGRAF на любом из пяти языков стандарта IEC 61131-3, а также создавать и отлаживать мнемосхемы на Master SCADA. На рис. 2 представлена структурная схема взаимодействия программного обеспечения ПТК.

С помощью комплекса были проведены исследования различных систем управления и различных режимов работы объекта управления. Тестовым объектом управления является достаточно общий и характерный пример химической технологии – емкостный химический реактор непрерывного действия с рубашкой.

Для исследования процессов управления использовалось три структуры систем управления. Первая – система управления с автоматизированной настройкой типового регулятора по методу стандартных коэффициентов (рис. 3).

Параметры настройки пропорционально-интегральных (ПИ) ре-

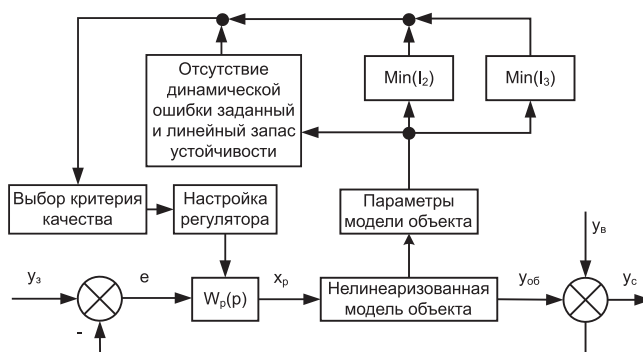


Рис. 3. Структурная схема системы управления с автоматизированной настройкой типового регулятора по методу стандартных коэффициентов, где $y_з$ – сигнал задания; e – ошибка регулирования; x_p – регулирующее воздействие; $y_в$ – возмущающие воздействия; $y_с$ – регулируемая величина; $W_p(p)$ – передаточная функция ПИ-регулятора

гуляторов могут быть автоматически рассчитаны на основании информации о текущих значениях технологических переменных (пересчитанных в параметры линейаризованной модели) по команде АРМ инженера АСУТП и отправлены в контроллер в качестве настроечных непосредственно в течение процесса. Используются три метода расчета модального управления [1] для реализации разных критериев качества переходных процессов: биномиальные стандартные формы Ньютона (критерий – отсутствие динамической ошибки и заданный запас линейной устойчивости); стандартные формы Баттерворта для минимизации второго интегрального критерия Min(I2) (квадрат ошибки регулирования); стандартные формы Баттерворта для минимизации третьего интегрального критерия Min(I3) (произведение модуля ошибки и времени регулирования).

Вторая структура (рис. 4) основана на использовании внутренней инвертированной линейаризованной модели объекта [2]. Адаптация модели происходит аналогично предыдущему случаю.

В структуру системы управления введен фильтр Баттерворта – $W_φ(p)$ (апериодическое звено первого порядка для настройки системы на заданный линейный запас устойчивости, а также передаточная функция линейаризованной модели объекта $W_об^M(p)$).

Третья схема реализует субоптимальный по быстродействию закон управления (рис. 5).

Пронумерованные блоки выполняют следующие функции: Б1 – имитирует исходный объект в виде системы нелинейных уравнений с переменными параметрами и начальными условиями; Б2 – реализует типовой ПИ – закон регулирования; Б3 – реализует оптимальный

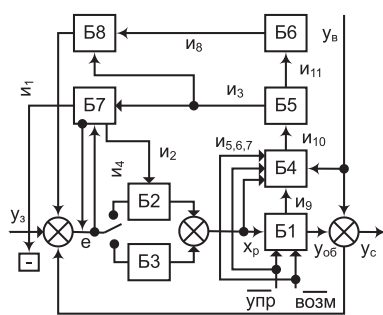


Рис. 5. Структурная схема системы управления с применением комбинации субоптимального по быстродействию закона управления и типового регулятора

по быстродействию закон управления; Б4 – определяет значения переменных состояния, величины управляющих и возмущающих воздействий; Б5 – пересчитывает параметры линеаризованной (аналитически) модели; Б6 – проводит расчет параметров компенсаторов перекрестных связей; Б7 – рассчитывает параметры настройки типового регулятора и определяет время переключения между законами регулирования; Б8 – компенсирует наиболее жесткое возмущающее воздействие (низкочастотное и наибольшее по величине).

Информационные каналы передают следующего рода сигналы: i_1 – переключение знака обратной связи; i_2 – новые параметры настройки типового закона регулирования; i_3 – новые параметры линеаризованной модели; i_4 – переключение законов регулирования; i_5, i_6, i_7 – текущие значения физико-химических величин, относящихся к векторам управляющих и возмущающих воздействий; i_8 – новые настройки компенсаторов перекрестных связей; i_9 – текущие значения физико-химических величин переменных состояния; i_{10} – информационный сигнал о текущем значении переменных состояния, возмущения и управления; i_{11} – новые параметры линеаризованной модели.

Основной идеей предлагаемой системы управления является комбинация оптимального закона управления и типового регулятора. В качестве основного закона регулирования в разные моменты времени используется типовой ПИ – регулятор. Когда ошибка регулирования e превышает заданную малую величину, реализуется оптимальный закон [3, 4]

$$x_p = \begin{cases} x_p^{\max}, \text{sign}(e) = 1 \\ x_p^{\min}, \text{sign}(e) = -1 \end{cases},$$

где x_p^{\max}, x_p^{\min} – максимально и минимально возможные значения управляющего воздействия. То есть реализуется замкнутая система оптимального управления. Если регулируемая величина u_c приближается к заданному значению, и ошибка меньше заданной величины, оптимальный закон отключается, и включается типовой закон с начальными условиями из последнего состояния системы перед включением. Данная система предложена потому, что для такого рода объектов представляется невозможным точно рассчитать как значение управляемой переменной во время переключения, так и сами моменты переключений, что не позволяет создать как замкнутую, так и разомкнутую оптимальные по быстродействию системы. Комбинация же типового и оптимального законов позволяет быстро подвести величину выхода объекта к заданному значению с помощью оптимального, а далее точно отработать задание с помощью типового астатического закона управления. Кроме этого, предлагаемая система предусматривает компенсацию основных жестких возмущений [5] и адаптацию. Последняя проводится путем изменения параметров настройки типового закона управления,

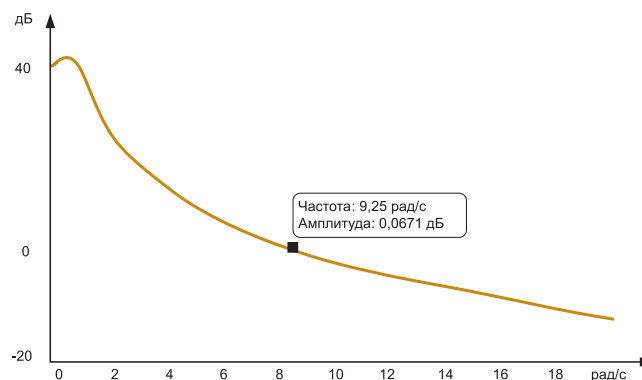


Рис. 6. Диаграмма Бode (нахождение частоты среза)

компенсатора возмущений и компенсаторов перекрестных связей. Это происходит на основании измерения текущих значений основных и неосновных возмущающих, прямых и перекрестных управляющих воздействий, а также переменных состояния, что позволяет пересчитывать параметры линеаризованной модели (применение адаптации в основном снимает вопрос о грубости модели системы). Также предусмотрена смена знака обратной связи.

Для рассмотренных выше систем управления исследовались ковариантность систем к управляющему воздействию, инвариантность к возмущениям, влияние такта дискретности работы контроллера на устойчивость систем и т. д.

Пример проведения исследований

Выбор такта дискретности контроллера является важной задачей. При выборе большого такта дискретности система проявляет дискретные свойства, что приводит к отказам и невозможности решить поставленную задачу, а выбор малого такта существенно увеличивает время расчета и снижает возможное количество информационных и управляющих каналов.

Исследование такта дискретности проводилось следующим способом. Для нахождения начального такта дискретности использовалась лемма теоремы Котельникова, которая говорит о том, что если рабочая частота дискретной системы в два раза выше, чем частота среза амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), то дискретная система по своим динамическим свойствам не будет отличаться от непрерывной. Для нахождения амплитудно-частотной характеристики по исследуемому каналу воспользуемся инструментарием Linear analysis, который входит в Simulink. Из полученного графика найдем частоту среза $\omega_{\text{ср}}$, как показано на рис. 6.

Тогда частота квантования $\omega_k = 2\omega_{\text{ср}}$, а такт дискретности $T_k = 1/\omega_k$. Для данного примера $\omega_k = 18,5$ Гц и $T_k = 0,054$ с. Далее будем увеличивать такт дискретности и оценивать его влияние на степень затухания. Полученная зависимость показана на рис. 7.

Из графика видно, что при такте равном или больше 4,11 секунды система начинает проявлять свои дискретные свойства, что приводит к неработоспособности системы управления в целом.

Использование ПТК в качестве тренажера

На базе данного комплекса разработан тренажер для инженеров-технологов.

Основные задачи, решаемые с помощью тренажера:

- отработка действий в среде управления, близкой к реально существующей на объекте при: пуске химического реактора (объекта управления); работе объекта в регламентном режиме; остановке реактора; аварийных ситуациях;
- поддержка навыков работы с системой;
- протоколирование процесса обучения.

Тренажер может работать в режимах обучения и проведения экзамена.

В режим обучения оператор имеет возможность производить запуск объекта, ликвидировать аварийные ситуации, следить за работой системы в регламентном режиме.

В режиме экзамена проводится аттестация обучаемого. Ведется подсчет числа ошибок в действиях оператора и регистрация его действий в БД, после чего экзаменатор оценивает успешность обучения студента.

Апробация данного тренажера на нескольких группах студентов технологических специальностей показала успешный результат обучения.

Таким образом, разработанный ПТК позволяет моделировать работу технологических объектов и систем управления, синтезировать и исследовать системы управления. Проведено исследование трех различных по структуре систем управления на ковариантность к управляющему воздействию, инвариантность к возмущающему воздействию, на устойчивость и грубость системы. Предложен алгоритм выбора такта дискретности системы. Данный ПТК лег-

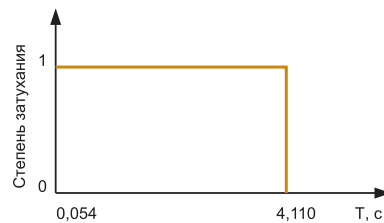


Рис. 7. График зависимости степени затухания от такта дискретности

ко использовать в качестве тренажеров для инженеров технологов и инженеров АСУТП, а также на его базе создавать новые тренажеры. Предлагаемая аппаратная реализация и ПО позволяют осуществить комплексный подход к процессу обучения (обучение ряду базовых дисциплин, применение различных форм обучения, обучение по многоуровневой технологии). Имеется

возможность использования комплекса в качестве системы управления удаленными и локальными объектами, а также в качестве тренажера оператора ТП. При необходимости информационная мощность ПТК может расширяться путем подключения интеллектуальных модулей ТЕКОНИК. В настоящее время данный комплекс успешно используется в учебном процессе кафедрой технической кибернетики и автоматики Ивановского государственного химико-технологического университета.

Список литературы

1. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение. 1976.
2. Leva A. Cox C., Ruano A. Hands-on PID autotuning: a guide to better utilisation. – IFAC Professional Brief. – <http://www.ifac-control.org>.
3. Хайлов Е.Н. О поведении моментов переключения в линейной задаче быстродействия // Вест. Моск. ун-та. Сер.15. Вычислительная математика и кибернетика. 1988. № 4.
4. Хайлов Е.Н. О нахождении моментов переключения экстремального управления в нелинейной задаче быстродействия // Дифференциальные уравнения. 1992. Т.28. № 11.
5. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. М.: Энергоатомиздат. 1985.

Сухарев Антон Владимирович – аспирант, *Головущкин Борис Анатольевич* – канд. техн. наук, доцент, *Лабутин Александр Николаевич* – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, *Ерофеева Елена Владимировна* – ст. преподаватель кафедры "Техническая кибернетика и автоматика" ГОУ ВПО "Ивановский государственный химико-технологический университет".
Контактный телефон (4932) 32-72-26.
E-mail: guru37@mail.ru golovushkinb@mail.ru guru37@mail.ru

18-20 октября 2011 г. состоится

XI - международная конференция

"Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта" (CAD/CAM/PDM-2011)

Тематика конференции

- Организация структур технических и программных средств проектирования и управления. Средства взаимодействия, структуры данных, международные стандарты.
- Компьютерная графика и CAD/CAM/PDM-системы в учебных процессах (программы обучения по дисципли-

нам, методические материалы, тестирование). Средства виртуальной реальности в промышленных системах.

- Интегрированные производственные системы и управление технологическими процессами. PDM-системы.
- Проектирование в машиностроении и строительстве.
- Проектирование в радиоэлектронике.

Место проведения конференции: Москва, ИПУ РАН.

Телефон для справок: (495) 334-93-50; факс (495) 334-91-29.

<http://lab18.ipu.rssi.ru>