

Министерство образования и науки России  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»

Ю.Л. Павлов, Н.Н. Зиятдинов, Д.А. Рыжов

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАК  
ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ  
НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ**

Учебное пособие

Казань  
Издательство КНИТУ  
2013

УДК 66-65-001-56

**Павлов Ю.Л.**

Системный анализ химико-технологических процессов как объектов управления и методы настройки регуляторов : учебное пособие / Ю.Л. Павлов, Н.Н. Зиятдинов, Д.А. Рыжов; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2013. – 88 с.

ISBN 978-5-7882-1381-1

С позиции системного анализа рассмотрены основные химико-технологические процессы как объекты управления. Изложены сведения о свойствах и математических моделях типовых химико-технологических объектов регулирования. Рассмотрены способы аппроксимации экспериментальных данных (полученных на реальном объекте) известной динамической математической моделью. Приводятся наиболее важные критерии оптимальности процесса регулирования, а также таблицы для выбора настроек регулятора по заданному критерию оптимальности.

Освоение материала сопровождается выполнением упражнений на прилагаемом к пособию программном обеспечении для компьютерных тренажеров, которые моделируют объекты химической технологии и регуляторы. Для предоставления информации обучающимся используется операторский интерфейс, аналогичный PCY Centum CS3000 (YOKOGAWA).

Предназначено для подготовки бакалавров по направлению 220100 «Системный анализ и управление», магистрантов и бакалавров направления 220200 «Автоматизация и управление», а также для слушателей курсов повышения квалификации, преподавателей и специалистов, желающих освоить методы настройки регуляторов.

Подготовлено на кафедре системотехники.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национального исследовательского технологического университета

Рецензенты: зав. каф. автоматизации технологических процессов и производств КГЭУ, проф. *К.Х. Гильфанов*  
канд. техн. наук, руководитель проектов АСУТП  
ООО «Июкогава Электрик СНГ» *М.В. Аввакумов*

ISBN 978-5-7882-1381-1

© Павлов Ю.Л., Зиятдинов Н.Н.,  
Рыжов Д.А., 2013

© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Интерфейс оператора-технолога в АСУ ТП .....	7
<i>Задание 1</i> .....	10
2. Классификация объектов .....	12
2.1. Простые объекты .....	13
2.1.1. Одноемкостные статические объекты .....	13
<i>Задание 2</i> .....	16
2.1.2. Астатические объекты .....	17
<i>Задание 3</i> .....	19
2.1.3. Объекты с запаздыванием .....	19
<i>Задание 4</i> .....	20
2.2. Сложные объекты .....	21
<i>Задание 5</i> .....	26
3. Структура и свойства ПИД-регуляторов .....	27
4. Экспериментальное получение кривой переходного процесса .....	32
<i>Задание 6</i> .....	33
5. Обработка результатов эксперимента .....	34
5.1. Объекты с самовыравниванием .....	34
6. Определение настроек регуляторов .....	36
<i>Задание 7</i> .....	39
<i>Задание 8</i> .....	41
7. Дополнительные возможности регуляторов .....	42
7.1. Свойство нелинейности коэффициента усиления регулятора .....	42
7.2. Зона нечувствительности .....	45
<i>Задание 9</i> .....	46
7.3. Компенсация входа/выхода .....	47
<i>Задание 10</i> .....	50
8. Самонастройка ПИД-регуляторов .....	51
<i>Задание 11</i> .....	54
9. Специальные регуляторы .....	55
9.1. Адаптивный регулятор расхода (АРР) .....	55
<i>Задание 12</i> .....	60
9.2. Регулятор уровня специализированный (РУС) .....	61
<i>Задание 13</i> .....	67
9.3. ПИД-регулятор с дискретным исполнительным механизмом .....	69
<i>Задание 14</i> .....	70
10. Тренажёры для ознакомления с особенностями управления реакторами .....	71
10.1. Реактор непрерывного действия .....	71
<i>Задание 15</i> .....	77
10.2. Реактор периодического действия .....	78
<i>Задание 16</i> .....	82
11. Практические советы .....	83
11.1. Настройка «быстрых» контуров .....	84
11.2. Настройка «медленных» контуров .....	85
11.3. Настройка каскадных контуров .....	86
Библиографический список .....	87

## ВВЕДЕНИЕ

С точки зрения методологии системного анализа, любой химико-технологический процесс может быть рассмотрен как динамическая система, обладающая как общесистемными (целостности и членимости; связности; интегративности; организованности; наличие жизненного цикла) так и специфическими свойствами, присущими химико-технологическим системам. Исходя из поставленной цели настоящей работы, а именно исследования системных свойств химико-технологических процессов, как объектов управления, наибольшую значимость для рассмотрения представляют именно специфические свойства химико-технологических систем, к которым в первую очередь относятся:

- *чувствительность*, свойство системы изменять технологические режимы функционирования под влиянием изменения собственных параметров системы и внешних возмущающих воздействий;
- *управляемость*, свойство системы достигать желаемой цели (заданного состава продукта, производительности и других критериев эффективности) при ограниченных возможностях управления, имеющихся в реальных условиях эксплуатации;
- *помехозащищённость*, способность системы эффективно функционировать в условиях действия внутренних и внешних помех;
- *устойчивость*, способность системы возвращаться в первоначальное состояние после прекращения действия возмущений;
- *гибкость*, способность системы выполнять возложенные на нее функции (быть работоспособной), при наличии внешних и внутренних возмущений, путем настройки режимных и структурных параметров.

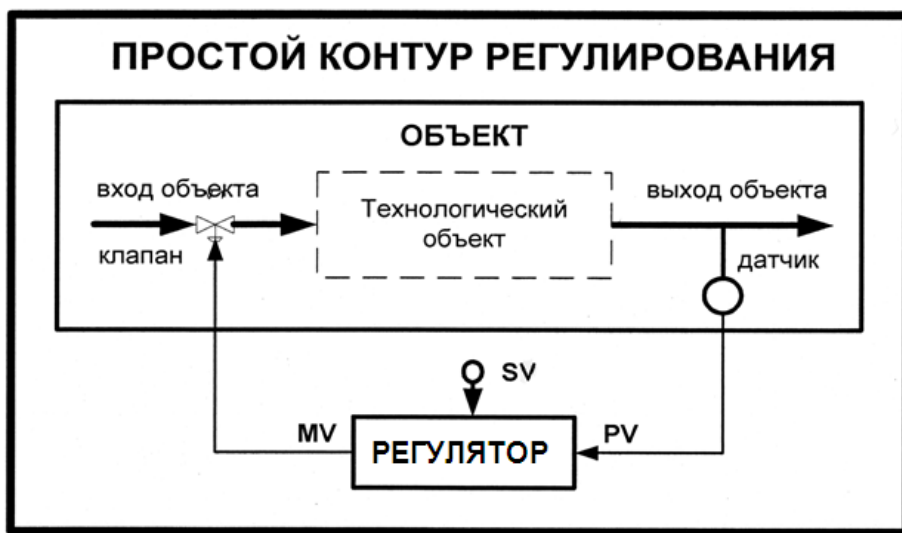
Основным инструментом системного анализа для исследования описанных выше свойств химико-технологических объектов является метод математического моделирования. Этот метод заключается в замене исследуемого объекта его математической моделью и дальнейшем исследовании свойств данного объекта на его модели с использованием компьютеров. Математическая модель объекта позволяет предсказывать его поведение в определенных условиях.

Управление химико-технологическими процессами неразрывно связано с центральной проблемой системного анализа – проблемой принятия решения. Так, химико-технологические процессы протекают в аппаратах, режимы в которых поддерживают от одного до нескольких (иногда до десятков) регуляторов. В большинстве случаев регуляторы работают независимо друг от друга (автономно), т. е. один регулятор не влияет на работу другого. Но в ряде случаев для поддержания требуемого режима формируются сложные контуры взаимосвязанного регулирования.

Синтез и настройка сложных контуров регулирования производятся высококвалифицированными специалистами. В настоящем пособии будут рассматриваться только простые контуры.

Простой контур регулирования включает два основных элемента: регулируемый объект и регулятор.

В состав регулируемого объекта будем включать следующие элементы: датчик, собственно технологический объект (или фрагмент объекта) и исполнительный механизм (чаще всего это клапан). На рис. 1 представлена схема простого контура регулирования.



*Рис. 1. Схема простого контура регулирования*

На рис. 1 обозначены следующие сигналы:

- PV – сигнал от датчика, соответствующий текущему значению регулируемого параметра;

– MV – сигнал от регулятора на клапан, определяющий входной поток на объект. Если регулятор отключен, т.е. находится в режиме «Ручного управления», то этот сигнал формируется оператором;

– SV – сигнал задания регулятору.

Из рис. 1 следует, что входом объекта является материальный или энергетический (например, тепловой) поток, величина которого определяется исполнительным механизмом (в данном случае клапаном), а выходом объекта является состояние регулируемого параметра. В зависимости от объекта регулируемым параметром может быть: температура, давление, уровень, расход, состав или др., а в качестве исполнительного механизма могут являться: клапаны с пневмо или электроприводом, воздушные холодильники с поворотом лопастей или с регулируемым числом оборотов вентилятора, насосы с регулируемым числом оборотов и т.д.

Чтобы рассчитать настройки регулятора, обеспечивающие качественное поддержание заданного режима технологического процесса, необходимо знать, по возможности точно, статические и динамические характеристики объекта. Однако теоретическое определение характеристик либо затруднено, либо не возможно. Простым выходом из этого положения является получение этих характеристик экспериментальным путём. В настоящее время разработаны многочисленные методы обработки результатов эксперимента с целью получения требуемых характеристик.

В основу данной работы положены монография [1], а также документация компании YOKOGAWA .

Целью настоящей работы является исследование динамических свойств объектов в различных режимах работы и расчёт оптимальных настроек регуляторов. Настоящее пособие предназначено для обучения приемам исследования динамических свойств объектов в различных режимах работы и расчёту оптимальных настроек регуляторов. Для достижения этих целей к пособию прилагаются компьютерные тренажеры, моделирующие динамические свойства технологических объектов управления.

В дальнейшем для целей исследования будем использовать тренажер технологического объекта, использующий адекватные математические модели технологических аппаратов, учитывающие их динамические свойства.

# 1. ИНТЕРФЕЙС ОПЕРАТОРА-ТЕХНОЛОГА В АСУ ТП

Рабочее место оператора-технолога имеет все необходимые средства для отображения информации о состоянии объекта и средства, обеспечивающие диалог оператор–АСУ. Для вывода информации используются один или несколько дисплеев, на которые можно выводить схемы технологических узлов, панели контролируемых и регулируемых параметров, графики изменения параметров, журнал событий и т. д.

Рассмотрим вид интерфейса автоматизированного рабочего места оператора-технолога (АРМОТ), используемого в распределенной системе управления (РСУ) Centum CS3000 компании YOKOGAWA (рис. 2). Для этого используем специально разработанный тренажерный комплекс, включающий математическую модель технологического объекта и графический эмулятор интерфейса АРМОТ.

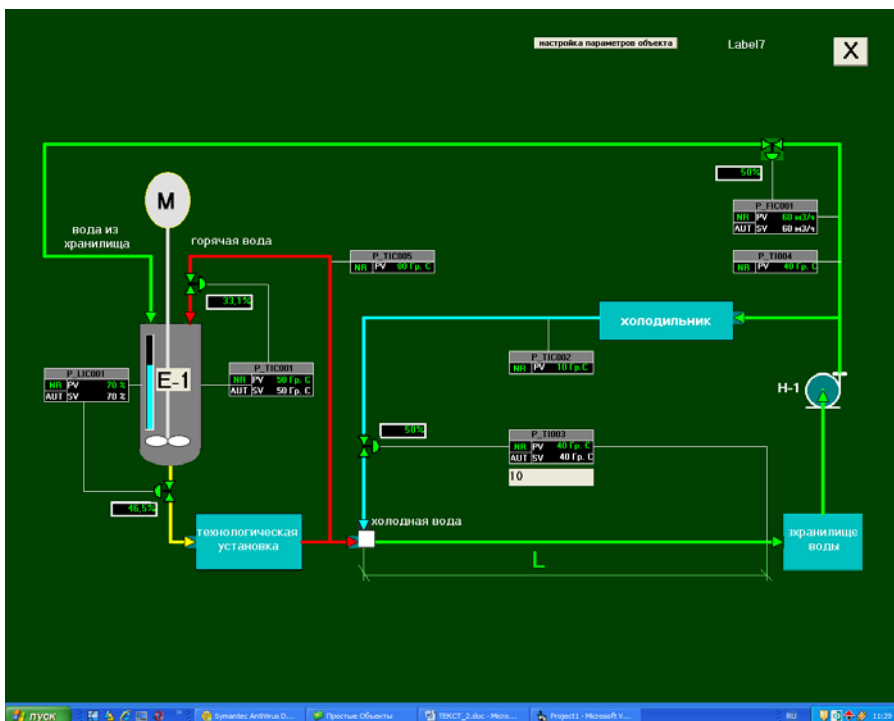


Рис. 2. Внешний вид мнемосхемы интерфейса АРМОТ

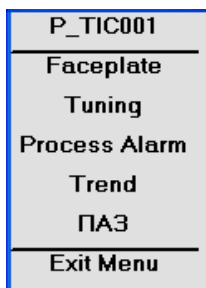
В данном случае объектом является узел подготовки воды с постоянной температурой, используемой в технологической установке в

качестве хладагента. На выходе из установки эта вода, нагретая в технологическом процессе, частично поступает в смеситель E-1, где смешивается с водой из хранилища. Температура в смесителе поддерживается регулятором P\_TIC001, а уровень – регулятором P\_LIC001. Другая часть нагретой воды разбавляется захлажденной водой и по длинному трубопроводу направляется в хранилище. Температура этой части потока на входе в хранилище поддерживается регулятором P\_TIC002. Поток воды из хранилища в смеситель E-1 подаётся насосом H-1 и стабилизируется регулятором P\_FIC001. Схема предусматривает контроль температур горячей воды, захлажденной воды и воды из хранилища.

Работа с регуляторами предусматривает:

- возможность изменения режимов работы регуляторов: ручное управление исполнительным механизмом, автоматический режим управления и каскадный режим;
- возможность изменения выходного сигнала в режиме ручного управления и изменения заданного значения в автоматическом режиме;
- возможность полного контроля состояния регулятора, включая контроль регулируемого параметра.

Если щёлкнуть с помощью правой кнопки мыши по изображению регулятора на схеме рис. 2, то на экране появится меню (рис. 3), с помощью которого можно вызвать основные функции контроля и управления.



*Рис. 3. Панель выбора режима отображения*

Меню содержит следующие опции:

- Faceplate – для вызова панели управления регулятором (рис. 4);
- Tuning – для вызова панели управления регулятором с графиком и параметрами настройки (рис. 5);