



УДК 62-933.6:004.942

# ПОВЫШЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Павлов А. И.

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

**Аннотация:** Изложены предложения по повышению точности имитационной модели объекта регулирования.

**Abstract:** Proposition for improvement of the accuracy of the management object's simulation model were presented.

**Ключевые слова:** система регулирования, объект, регулирующий орган, модель объекта.

## Введение

Как было отмечено ранее [2], к числу основных способов увеличения эффективности управляющих воздействий автоматических регуляторов относится повышение адекватности имитационных моделей объектов регулирования посредством использования методологии системного анализа.

Если в 60-е годы системный анализ рассматривал общие свойства сложных систем, которые возникают у них как у целого, то в настоящее время преобладает методология, нацеливающая исследователя на использование способов «извлечения» из множества переменных сложной системы тех из них, которые позволят принять эффективное решение. Таким инструментом «извлечения» может служить синергетика. В системном анализе – это новое понятие.

В классической теории управления категориям «управляющие воздействия» и «управляемые координаты» придается существенно разный «вес». Считается, что управляющее воздействие, как причина, представляет собой что-то активное, доминирующее, главное, а управляемые координаты (следствия) – нечто пассивное, второстепенное. Но между управляющими воздействиями и управляемыми координатами существует всегда внутренняя динамическая иерархия и дуальная взаимосвязь, позволяющая внешним (относительно объекта) управляющим воздействиям преобразовываться в соответствующие координаты – промежуточные (внутренние) управляющие воздействия замкнутой системы. Это одно из основных положений синергетики и его «...целесообразно учитывать при синтезе нелинейных систем, тем более, что реальные даже достаточно простые технические объекты, нередко состоят из последовательно-параллельных звеньев, для которых трудно провести границу между управляющими воздействиями и координатами: внутренние управляющие воздействия являются одновременно с этим и координатами объекта» [1].

Синергетика использует концепцию управляемого динамического воздействия вещества, энергии и информации в системах управления объектами различной природы. В качестве примера в [1] рассмотрена задача управления объектом, движение которого описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= f_1(x_1, x_2) + a_{13}x_3 + a_{14}x_4, \\ \dot{x}_2(t) &= f_2(x_1, x_2) + a_{23}x_3 + a_{24}x_4, \\ \dot{x}_3(t) &= f_3(x_1, \dots, x_4) + x_3, \\ \dot{x}_4(t) &= f_4(x_1, \dots, x_4) + u_4.\end{aligned}$$

Управляющие воздействия  $u_3, u_4$  непосредственно действуют соответственно на производные  $\dot{x}_3(t)$  и  $\dot{x}_4(t)$  и, значит, на функции  $v_1=x_4(t)$  и  $v_2=x_4(t)$ , которые, в свою очередь могут быть выбраны в качестве «внутренних» управляющих воздействий, определяющих закономерность изменения управляемых координат  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$ . Управляющие воздействия  $u_3$  и  $u_4$  при этом количественно не исчезают, а «превращаются» во внутренние воздействия в конечном итоге определяющие величины управляемых координат  $x_1$  и  $x_2$  объекта.



**ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Это *свойство превращения*, когда внешние управляющие воздействия  $u_i(t)$ , проходя соответствующие звенья объекта управления преобразуются в некоторые *внутренние* управляющие воздействия  $v_i(t)$ , свидетельствует о процессе сжатия фазового пространства синтезируемой системы. Свойство эквивалентности (сохранения) базируется на идее взаимопревращений управляющих воздействий и координат.

**Основная часть**

Как отмечено в [3-5], действующий технический объект (ТО) непрерывно претерпевает износ, его технологические возможности сокращаются, показатели работы ухудшаются (снижается технологическая эффективность). Например, для таких технологических аппаратов как пастеризаторы и стерилизаторы это приводит к постепенному снижению коэффициента передачи от греющей среды (обычно водяной пар) к продукту. Причина такого явления состоит в отложении солей на греющих поверхностях аппаратов и возникновении так называемого пригара (например, в пастеризаторах молока происходит отложение «молочного камня»). Проведение операций восстановительного ремонта или обновления позволяет скачкообразно повышать уровень технологической эффективности объекта.

Поскольку в пастеризаторах и стерилизаторах непрерывного действия температура продукта на выходе из аппарата является главным (а обычно и единственным) регулируемым параметром, то такая, отмеченная выше, деградация (старение) объекта проявляется (в тех случаях, когда в алгоритме управления регулятора отсутствует интегральная составляющая, что типично, если используются искусственные нейронные сети) в возникновении и последующем постепенном (по мере старения аппарата) увеличении статической ошибки регулирования.

Такой вид возмущения на объект назовем «внутренним». На интервале времени между двумя ремонтами снижение величины коэффициента передачи объекта  $k_o$  может быть легко скомпенсировано оператором технологического процесса вручную посредством коррекции сигнала управления, либо автоматически, если имеется контур самонастройки регулятора.

Однако возможен (а для некоторых производственных процессов и типичен) вид возмущения на объект, который является «внешним».

Итак, в общем случае в реальных условиях работы такого рода объектов регулирования коэффициент передачи объекта  $k_o$  является случайной функцией времени и его величина определяется совместным действием двух групп факторов: «внутренних» и «внешних».

Факторы первой группы обуславливают медленное (низкочастотное) изменение  $k_o$ , которое характеризуется плавным, без скачков, снижением величины этого параметра в процессе эксплуатации объекта.

Напротив, факторы второй группы, которые могут быть как объективными, так и субъективными, обуславливают быстрые (сравнительно высокочастотные) изменения величины  $k_o$ , в том числе и в виде скачков, причем величина  $k_o$ , может как быстро снижаться, так и быстро возрастать. Примером такого рода возмущений является изменение давления пара.

Таким образом, текущая величина коэффициента  $k_o$  является следствием действия, не зависящих друг от друга, двух групп факторов:

$$k_o(t) = k_{он} - \Delta k_{o1}(t) \pm \Delta k_{o2}(t),$$

где,  $k_{он}$  – номинальная величина коэффициента передачи нового ТО при номинальном давлении пара (паспортной величины давления пара), т.е. величина коэффициента передачи объекта в идеальных условиях работы ТО, когда отсутствуют все факторы, обуславливающие изменение коэффициента передачи объекта;

$\Delta k_{o1}(t)$  – низкочастотная случайная составляющая изменения коэффициента передачи объекта;

$\Delta k_{o2}(t)$  – высокочастотная случайная составляющая изменения коэффициента передачи объекта.

Традиционным способом представления одномерного объекта регулирования в структуре САР является использование его описания в следующем виде:

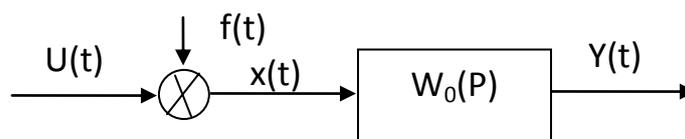


Рис. 1 – Традиционная структурная схема модели объекта регулирования,



**ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

где  $U(t)$  – управляющее воздействие,  
 $f(t)$  – внешнее (возмущающее) воздействие,  
 $Y(t)$  – регулируемая координата.

При этом все они имеют вполне определенную физическую интерпретацию.

Поскольку  $f(t)$  и  $U(t)$  суммируются, то для соблюдения корректности они должны быть выражены в процентах, поскольку обычно имеют различные размерности. Результат суммирования никогда (!), что само по себе удивительно, никак не интерпретируется, тем более в физическом аспекте и поэтому не имеет специального символа. Обозначим этот «анонимный» параметр как, - пока что неизвестную физическую величину, -  $x(t)$ .

Касательно динамических свойств объекта регулирования, то они часто представлены в формате передаточных функций  $W_0(p)$ , то есть в виде формализованной модели, характеризующей соотношение «вход-выход» объекта, чем и воспользуемся.

Рассмотрим на конкретном примере возможность использования синергетического подхода к проблеме повышения адекватности моделей динамики объектов регулирования, посредством раскрытия фактора  $x(t)$  с точки зрения *физического* процесса, протекающего в реальном объекте регулирования.

Основными отличиями предлагаемой модели объекта (рис.2), от ранее рассмотренной [2], являются:

во-первых, введение в ее структуру нелинейного вычислительного блока ВБ1, отражающего зависимость изменения текущей величины коэффициента передачи объекта от изменения давления пара;

во-вторых, в структуру модели введен нелинейный вычислительный блок ВБ4, реализующий также кусочно-линейную функцию времени, которая имитирует протекающий в трубопроводе процесс его старения. Хотя трубопровод, в котором установлен дроссельный регулирующий орган, не относится к объекту, но он является тоже источником внешнего возмущения для объекта: его статическая (расходная) характеристика в процессе длительной работы объекта регулирования постепенно меняется. Следствием этого процесса старения является то, что одному и тому же положению затвора регулирующего органа (задаваемому сигналом управления  $u(t)$  регулятора) соответствуют разные значения параметра  $q(t)$  и, значит, параметра  $Q_v(t)$  а, в конечном итоге внутреннего управляющего воздействия  $\Phi(t)$ .

В-третьих, в структуру модели введен нелинейный вычислительный блок ВБ2, реализующий некоторую (например, кусочно-линейную) функцию времени, которая имитирует протекающий в технологическом агрегате процесс его старения, что тоже сопровождается снижением коэффициента передачи объекта. То есть и процесс старения трубопровода является источником параметрического возмущения для коэффициента передачи объекта. Таким образом, по каналу управления действуют два, независимых друг от друга, параметрических возмущения.

Вычислительный блок ВБ3 имитирует влияние нестабильности давления пара и старения технологического агрегата на величину коэффициента передачи объекта.

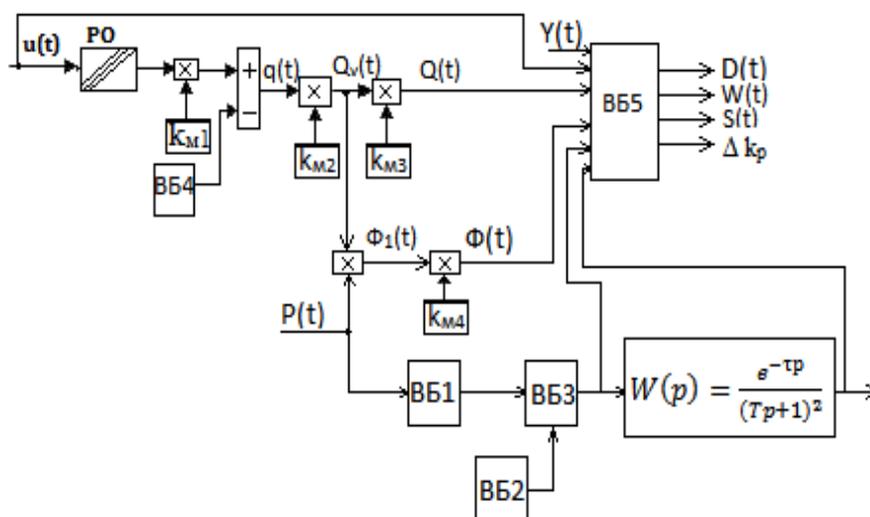


Рис. 2 – Структурная схема модели объекта регулирования.

**ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Итак, в общем случае имеются 4 источника параметрических возмущений для объекта: два внутренних (вследствие старения технологического агрегата и нелинейности исходной статической (расходной) характеристики дроссельного регулирующего органа, независимо от вида его пропускной характеристики (равнопроцентная она или линейная)) и два внешних (вследствие старения трубопровода и колебаний давления пара в трубопроводе цеха).

В настоящее время все более заметно возрастающее применение на небольших предприятиях пищевой промышленности, котлоагрегатов малой производительности. Из всей автоматики они имеют нередко только автоматику защиты котлоагрегата. Стабилизация давления пара, поступающего на объекты обычно не осуществляется (его нередко «на всех» не хватает, а итогом является то, что давление пара поступающего в агрегат (аппарат либо машину) ниже, указанного в его паспорте). Следовательно, для обеспечения постоянства температуры продукта на выходе из объекта (а это возможно только при постоянстве величины теплового потока  $\Phi$ , потребляемого объектом) может быть обеспечено лишь регулирующим органом, посредством изменения расхода пара  $Q_v(t)$ .

Важное для практики замечание, касающееся типоразмера регулирующего органа. Если в процессе работы объекта будет выявлено, что степень его открытия часто соответствует участку расходной характеристики 0,8...1 (как следствие низкого давления пара поступающего в цех), необходимо увеличить типоразмер регулирующего органа. Следует учесть, что его работа при степени открытия регулирующего органа, соответствующего участку расходной характеристики 0...0,2, также не желательна. То есть, рабочим участком расходной характеристики регулирующего органа должен быть диапазон от 0,2 до 0,8. За пределами этого диапазона нелинейность регулирующего органа с равнопроцентной (логарифмической) пропускной характеристикой проявляется в наибольшей степени.

Только заменяя типоразмер регулирующего органа на больший, можно компенсировать как старение трубопровода, так и хроническую неспособность котельной предприятия обеспечить необходимое давление пара на входе в объект регулирования.

Уместно отметить также, что меняется не только величина  $k_0$ , но меняются вследствие старения технологического агрегата и величина чистого запаздывания  $\tau$ , и постоянная времени объекта  $T$ , и их соотношение  $\tau/T$ . Поэтому при разработке модели объекта в той или иной программной среде необходимо предусмотреть возможность изменения, как минимум вручную, величин  $\tau$  и  $T$ . В отличие от  $k_0$ , параметры  $\tau$ ,  $T$  и  $\tau/T$  в межремонтный период только возрастают.

В модели объекта по рис.2 предусмотрены процедуры масштабирования ряда сигналов: величины коэффициентов масштабирования  $k_{m1}, \dots, k_{m4}$  определяются конкретно для типа технологического агрегата с целью обеспечения (в рамках используемой модели объекта) паспортных численных величин его параметров, параметров регулирующего органа и параметров трубопровода.

Вычислительный блок ВБ5 выполняет те же задачи, что и блок ВБ в модели объекта, рассмотренной в [2].

Итак, сложность модели объекта, по сравнению с ранее предложенной [2], значительно возросла и естественно возникает вопрос: а «стоит ли игра свеч, а овчинка выделки?». Путей два: либо мы по-прежнему будем стоять на позициях редукционизма («не усложняй!») и использовать модели объектов в соответствии с рис. 1, либо перейдем на позиции системного анализа и синергизма («не упрощай!»). Выбор за нами.

**Литература**

1. Колесников А. А. Синергетическая теория управления. Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.
2. Павлов А. И. Повышение эффективности управляющих воздействий автоматических регуляторов. Ж. «Автоматизация технологических и бизнес-процессов», №5,6, - Одесса: ОНАПТ, 2011. – с. 31-37.
3. Воинова С. А. Особенности управления техническими объектами на траектории расходования расчетного ресурса. Ж. «Автоматизация технологических и бизнес-процессов», №1. – Одесса: ОНАПТ, 2010.– с. 13.
4. Воинова С. А. О резерве повышения технологической эффективности технических объектов, управляемых автоматически. Ж. «Автоматизация технологических и бизнес-процессов», №4.- Одесса: ОНАПТ, 2010. – с. 12-15.
5. Воинова С. А. Управление техническими объектами и техническая геронтология. Ж. «Автоматизация технологических и бизнес-процессов», №7,8. – Одесса: ОНАПТ, 2011. – с. 20-23.