

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ

Ю.А. Сидоренко, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)

Аннотация

Рассмотрены особенности синтеза систем автоматического управления путем моделирования на ЭВМ. Метод предусматривает идентификацию объекта и синтез оптимального управляющего устройства при детерминированных или случайных воздействиях с применением моделирования на ЭВМ и поисковых экспериментальных методов оптимизации.

Введение

В процессе эксплуатации большинство сельскохозяйственных агрегатов работает в условиях случайного характера возмущающих воздействий. Примерами таких воздействий являются изменения урожайности, изменения рельефа местности на полях, изменения влажности зерна, подаваемого в зерновые сушилки, и т.д. Естественно, что целью синтеза в таких условиях является обеспечение эффективности работы систем управления сельскохозяйственных агрегатов при случайных воздействиях.

Основная часть

Синтез является системной задачей [1] и, в рамках декомпозиции задачи, включает три основных этапа: получение математической модели объекта управления, получение математических моделей воздействий и собственно синтез алгоритма управления.

Математическая модель объекта управления должна связать возмущающие и управляющие воздействия на объект с управляемыми величинами. Поэтому первым этапом является анализ условий функционирования объекта с целью выявления воздействий и управляемых величин.

Математическая модель объекта может быть получена двумя путями: аналитическим и путем идентификации.

Аналитический путь предполагает использование известных закономерностей той области знаний, к которой относится объект, конечно с использованием общих методов составления математических моделей. Однако часто теория объектов из-за сложности протекающих в них процессов недостаточно изучена, или неизвестны параметры конкретного объекта, что характерно для многих сложных сельскохозяйственных объектов, и тогда математическую модель получают путем идентификации – получении математической модели объекта на основании совместного анализа экспериментально полученных воздействий на объект и реакции объекта на эти воздействия.

В данной работе будут рассмотрены особенности идентификации. Идентификация может проводиться при случайных и детерминированных воздействиях.

Идентификация при случайных воздействиях проводится на основании известных зависимостей, связывающих характеристики стационарного случайного процесса на входе линейного объекта и его выходе [2].

1. Во временной области уравнение Винера-Хопфа

$$R_{yf}(\tau) = \int_0^{\infty} w(t) R_f(\tau - t) dt.$$

2. В частной области

$$S_{yf}(\omega) = W(j\omega) S_f(\omega);$$

$$S_y(\omega) = [A(\omega)]^2 S_f(\omega),$$

где $R_{yf}(\tau)$ и $S_{yf}(\omega)$ – взаимные корреляционная функция и спектральная плотность входного $f(t)$ и выходного $Y(t)$ процессов; $R_f(\tau)$ и $S_f(\omega)$ – корреляционная функция и спектральная плотность входного процесса; $S_y(\omega)$ – спектральная плотность выходного процесса; $W(j\omega)$ – частотная передаточная функция объекта; $A(\omega)$ – амплитудная частотная характеристика объекта; $w(t)$ – импульсная переходная функция объекта.

Методика идентификации с использованием этих характеристик изложена в работе [2]. Здесь же изложены некоторые проблемы, связанные с такой идентификацией. Дополнительно следует указать и на другие проблемы. Такая идентификация проводится для получения математического описания объекта по возмущающему воздействию. Заранее должно быть известно, что объект достаточно точно описывается линейным уравнением. Входные воздействия должны быть стационарными, а это не всегда выполнимо на практике, даже если из априорной информации известно, что эти процессы стационарны. Например, в

процессе записи экспериментальной информации о влажности зерна на входе зерновой сушилки, влажность может существенно изменяться из-за изменения погодных условий. Заранее неизвестны длина реализации и дискретность случайного процесса, поскольку для этого должны быть заранее оценены спектральная плотность входного процесса или частотные характеристики объекта для оценки верхней и нижней граничных частот (известные трудности идентификации как системной задачи). Сам процесс исследования трудоемкий и связан с записью информации в процессе нормальной эксплуатации объекта. Кроме того, получение математической модели объекта по управляющему воздействию является не менее важной задачей, а иногда превращается в основную задачу. На наш взгляд, если есть практическая возможность, идентификации лучше проводить при детерминированных воздействиях.

Рассмотрим некоторые особенности проведения идентификации при детерминированных воздействиях.

Прежде всего, необходимо понимать, что процесс идентификации является системной и творческой задачей. Хотя при идентификации объект изначально рассматривается как «черный ящик», всегда полезно и необходимо собрать все априорные сведения об объекте и рассмотреть (хотя бы качественно) физические процессы функционирования объекта. Как правило, это позволяет выбрать гипотезы о структуре математического описания объекта, что существенно облегчает решение задачи.

Рассмотрим случай, когда на объект можно подать ступенчатые воздействия различные по величине и направленности и записать переходные функции.

При линейном объекте вид переходных функций не будет зависеть от величины и направленности воздействий. Это значит, что переходные функции будут подобны. Признаками этого является следующее. Для всех переходных функций Y_k отношения их приращений от исходного состояния $\Delta Y_k(t_i) / \Delta Y_k(t_j)$ для любых моментов времени t_i, t_j являются приблизительно постоянными (будут отличаться в пределах погрешности эксперимента). Отношения $\Delta Y_k / \Delta X_k$ приращений ΔY_k к величине воздействия ΔX_k для момента времени t_i приблизительно постоянны. Для статических объектов длительность переходных процессов приблизительно постоянна.

При соблюдении вышеперечисленных условий можно принимать гипотезу о линейности объекта управления по воздействию X . Такой исход обуславливает наиболее простой путь дальнейшего процесса идентификации.

Линейные объекты описываются передаточными функциями следующего общего вида:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k_0 + k_1 p + k_2 p^2 + \dots + k_m p^m}{T_n^n p^n + T_{n-1}^{n-1} p^{n-1} + \dots + T_1 p + 1} \frac{1}{p^n} e^{-p\tau},$$

1
2
3

где 1 – статическая часть объекта; 2 – интегрирующая часть объекта; 3 – звено чистого запаздывания.

На практике передаточные функции линейных объектов обычно аппроксимируются следующими простыми звеньями.

Апериодическое звено 1-го порядка или это звено с чистым запаздыванием:

$$W(p) = \frac{k}{T_1 p + 1}; \quad (1)$$

$$W(p) = \frac{k}{T_1 p + 1} e^{-p\tau}. \quad (2)$$

Апериодическое звено 2-го порядка, колебательное звено или это звенья с чистым запаздыванием:

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}; \quad (3)$$

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} e^{-p\tau}. \quad (4)$$

$T_1 > 2T_2$ для апериодического звена; $T_1 < 2T_2$ для колебательного звена.

Интегрирующее звено или это звено с чистым запаздыванием:

$$W(p) = \frac{k}{p}; \quad (5)$$

$$W(p) = \frac{k}{p} e^{-p\tau}. \quad (6)$$

Последовательное соединение интегрирующего звена со статическим звеном $W_c(p)$ вида (1), (3) или это же звено с чистым запаздыванием:

$$W(p) = W_c \frac{k}{p}; \quad (7)$$

$$W(p) = W_c \frac{k}{p} e^{-p\tau}. \quad (8)$$

Гипотезы о виде звена легко выдвинуть по виду переходных функций. Легко так же дать начальную оценку параметров звена вида (1)...(6) по виду переходных функций типовых линейных звеньев [3]. Начальную оценку параметров звеньев вида (7), (8) целесообразно сделать путем их пробного моделирования на ЭВМ. Это связано с тем, что начальный участок переходного процесса этих астатических звеньев затянута вследствие наличия звена W_c , и имеет, для звеньев вида (7), (8), следующий вид (рис. 1, 2).

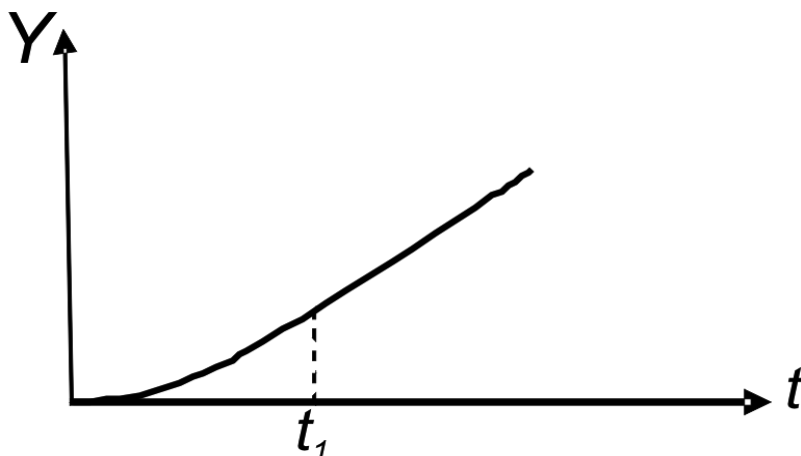


Рис.1. Возможный вид переходного процесса звена вида (7)

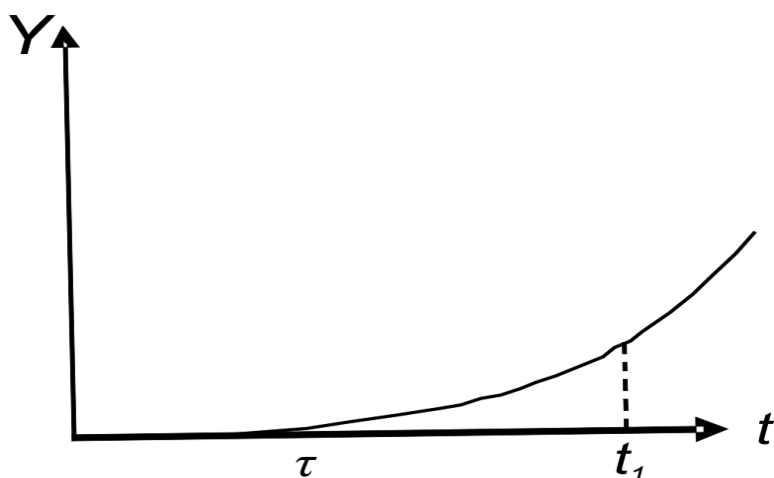


Рис.2. Возможный вид переходного процесса звена вида (8)

Путем пробного моделирования достаточно оценить постоянные времени звена W_c . Чистое запаздывание τ можно оценить визуально, коэффициент k можно оценить по участку переходного процесса с линейным нарастанием Y , поскольку переходный процесс звена W_c на этом участке заканчивается. Переходный процесс на этом линейном участке описывается выражением

$$Y = Y(t) + k \int_{t_1}^{\infty} X dt.$$

Поскольку $X = \text{const}$, то

$$Y = Y(t_1) + kX\Delta t.$$

Тогда на этом участке

$$\Delta Y = kX\Delta t \text{ и } k = \frac{\Delta Y}{X\Delta t},$$

где ΔY и Δt – приращение переходного процесса и времени на любом отрезке этого участка.

Оптимизацию параметров математической модели объекта наиболее целесообразно провести путем

экспериментального исследования модели на ЭВМ. Для этого лучше всего использовать поисковые экспериментальные методы оптимизации [4]. Хорошо себя зарекомендовал последовательный симплексный метод (ПСМ) [5]. В качестве критерия оптимальности можно использовать интеграл (сумму) квадрата отклонений экспериментального переходного процесса от расчетного.

Далее проводится сравнение экспериментальных и расчетных переходных процессов, не использованных при идентификации. Эта процедура проводится путем моделирования на ЭВМ. Обычно, точность модели достаточна, если отклонение экспериментальных переходных процессов от расчетных не превышает 5% от приращения ΔY в переходном процессе.

Если удовлетворительного результата не удалось добиться, то следует перейти к выбору других гипотез о структуре объекта, что связано с наращиванием порядка числителя и знаменателя модели в соответствии с общим видом.

Рассмотрим случай, когда динамические характеристики объекта линейные, а статические нелинейные. Признаком этого является несоблюдение постоянства отношений $\Delta Y/\Delta X$ для момента времени t_1 . Остальные условия соблюдаются.

В этом случае математическую модель объекта можно принять в виде последовательного соединения нелинейного статического звена $Y=f(X)$ и линейного динамического звена. Если есть возможность получить экспериментальные данные о виде статической характеристики, то зависимость $Y=f(X)$ получают путем регрессионного анализа. В остальном путь идентификации аналогичен вышеизложенному.

Очень часто получить переходные процессы объекта при стандартных воздействиях на практике невозможно из-за особенностей объекта и условий его функционирования. В отличие от аналитических методов, ЭВМ позволяет провести моделирование при любом характере воздействий, как линейных, так и нелинейных объектов.

В этих случаях основной проблемой является построение ряда гипотез о структуре объекта. Построение таких гипотез является творческой задачей и осуществляется с максимальным привлечением априорной информации с рассмотрением физических особенностей протекания процессов на объекте. Как

правило, в этих случаях ограничиваются вышеприведенными простыми моделями вида (1)...(8).

После принятия гипотезы задача сводится к параметрической оптимизации математической модели объекта путем экспериментального исследования модели на ЭВМ с применением экспериментальных поисковых методов оптимизации. Обязательным является проверка соответствия экспериментальных переходных процессов, неиспользованных при оптимизации параметров, и расчетных при различных воздействиях.

Если гипотеза не подтверждается, переходят к проверке новой гипотезы и т.д.

Идентификация возмущающих воздействий

Идентификация возмущающих воздействий заключается в записи достаточно длинных реализаций случайных процессов на входе системы и получении на основании этих реализаций математической модели возмущающего воздействия в виде коррекционных функций или однозначно связанных с ней спектральных плотностей стационарных случайных процессов.

На первом этапе решается задача выбора достаточной длины реализации. Поскольку запись реализации может осуществляться в дискретной форме, а расчет коррекционных функций или спектральных плотностей осуществляется на ЦВМ, важен выбор шага дискретизации.

Существуют два подхода при выборе длины реализации и шага дискретизации.

Если из априорных данных известна оценка спектральной плотности процесса, то оценивают верхнюю граничную частоту процесса. В качестве такой частоты обычно выбирают частоту, ниже которой сосредоточено до 95% и более дисперсии случайного процесса. Для выбора шага дискретизации используют теорему Котельникова, согласно которой шаг дискретизации выбирают равным половине периода верхней граничной частоты и обеспечивают некоторый запас, уменьшив этот шаг.

В качестве нижней граничной частоты выбирают частоту, выше которой сосредоточено до 95% и более дисперсии случайного процесса. Длину реализации выбирают равной (или большей) 10 периодам нижней граничной частоты. Задача является системной. После получения оценок коррекционных функций и спектральных плотностей, шаг дискретизации может быть уточнен в меньшую сторону, а длина реализации в большую сторону.

Другим подходом является оценка длины реализации и шага дискретизации по амплитудной частотной характеристике объекта. Предполагается, что математическая модель объекта уже получена.

Если объект линейный, то рассчитывают амплитудную частотную характеристику объекта (АЧХ). Обычно в качестве верхней граничной частоты ω_v выбирают частоту, на которой АЧХ равна 5% АЧХ на

нулевой частоте. В качестве нижней граничной частоты обычно выбирают частоту, на которой АЧХ объекта равна 95% АЧХ на нулевой частоте.

Для нелинейного объекта АЧХ может быть получена путем моделирования объекта на ЭВМ при гармонических воздействиях.

Методика собственно получения оценок коррекционных функций и спектральных плотностей приведена в работе [2].

В настоящее время имеются готовые программные средства исследования систем автоматического управления на ЭВМ. Наиболее известным является Simulink в составе пакета Matlab. Существует также рекуррентный алгоритм моделирования на ЭВМ случайных процессов с заданной коррекционной функцией [6], который был использован в работе [5] и хорошо зарекомендовал себя. Алгоритм может быть использован при разработке оригинальных программных средств.

Моделирование случайного процесса при исследовании систем выбирается равным шагом моделирования системы, но этот шаг должен быть не больше шага дискретизации при получении модели случайного процесса.

Особенности синтеза закона управления путем моделирования на ЭВМ

Теоретический синтез оптимального управляющего устройства является сложной задачей и может быть проведен в ограниченных случаях. Обычно решение получается в виде квазиоптимального управляющего устройства (квазиоптимальной системы). На наш взгляд, такой синтез с применением моделирования на ЭВМ может быть проведен следующим путем.

Проводится анализ требований к качеству управления. На основании такого анализа строится ранжированный ряд гипотез из возможных законов регулирования. На практике (кроме специальных случаев) этот ряд составляют типовые законы регулирования. Таковыми являются линейные законы: П-закон, И-закон, ПИ-закон, ПИД-закон, типовые линейные законы с импульсным прерыванием изменения управляющего воздействия на объект, которые обеспечивают улучшение процесса регулирования для объектов с транспортным запаздыванием, типовые линейные законы с приближенной реализацией, когда на исполнительное устройство подается релейно-импульсный сигнал [7], позиционные законы регулирования.

Таким образом, задача синтеза оптимальной системы сводится к последовательной проверке ряда гипотез путем параметрической оптимизации регулятора:

- обосновывается критерий оптимальности;
- формируются ограничения и граничные условия;
- выбирается метод оптимизации.

Оптимизация параметров (в соответствии с выбранной гипотезой) проводится путем экспериментального исследования систем на ЭВМ.

Рассмотрим особенности такого синтеза.

Оптимизация параметров управляющего устройства может проводиться двумя путями.

Первый путь заключается в оптимизации параметров при случайных воздействиях. Критерий оптимальности обосновывается для каждой конкретной задачи. Например, пусть задача сводится к обеспечению точности поддержания управляемой величины на заданном уровне. Тогда в качестве критерия оптимальности выбирается дисперсия ошибки, которая должна стремиться к своему минимальному значению (в рамках проверяемой гипотезы). Гипотезы проверяются и отвергаются до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность. Как правило, в некоторых режимах система может работать при резком изменении возмущающего воздействия. Поэтому, после принятия гипотезы, проверяется качество переходных процессов системы, например, при ступенчатом воздействии. Выбор формы такого детерминированного воздействия проводится при анализе условий функционирования системы.

Второй путь заключается в оптимизации параметров регулятора при детерминированном воздействии, например, ступенчатом. В этом случае в качестве критерия оптимальности может быть выбран, например, квадратичный интегральный критерий качества переходных процессов, или минимальное время регулирования. После окончания процесса выбора закона регулирования и оптимальных параметров регулятора, проверяется работа системы при случайных воздействиях. Гипотеза окончательно принимается только после такой проверки при положительном результате.

При оптимизации параметров применяются экспериментальные методы оптимизации [4]. Хорошо зарекомендовал себя последовательный системный метод (ПСМ) [5].

Выводы

Рассмотренный метод позволяет провести идентификацию объекта управления при любом характере воздействий и синтезировать оптимальное управляющее устройство с учетом реальной его реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко, Ю.А. Моделирование на ЭВМ как системный экспериментально-теоретический метод анализа и синтеза систем автоматического регулирования/ Ю.А. Сидоренко// Агропанорама, 2007. – № 2. – С.13-14.
2. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов/А.Б. Лурье, И.С. Нагорский, В.Г. Озеров [и др.]. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1979. – 312с.
3. Сидоренко, Ю.А. Теория автоматического управления: учеб. пособ. / Ю.А. Сидоренко. – Минск: Изд-во БГАТУ, 2007. – 124с.
4. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента/ Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: Изд-во БГУ, 1982. – 302с.
5. Сидоренко, Ю.А. Повышение производительности самоходного кормоуборочного комбайна КСК-100 путем автоматизации управления загрузкой его двигателя: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.83/ Ю.А. Сидоренко. – Минск, 1983. – 146 с.
6. Быков, В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике/ В.В. Быков. – М.: Советское радио, 1971.
7. Сидоренко, Ю.А. Математическое моделирование цифровых регуляторов/ Ю.А. Сидоренко// Агропанорама, 2005. – №3. – С.13-16.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В СОПОСТАВИМЫХ УСЛОВИЯХ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ДРУГИХ ОРГАНИЗАЦИЙ МИНСЕЛЬХОЗПРОДА

Предназначена для осуществления единого методического подхода при расчете целевого показателя по энергосбережению для республиканских органов государственного управления и иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, областей и города Минска.

В методике приведены указания по расчету целевых показателей по энергосбережению для сельскохозяйственных и других организаций, подчиненных Министерству сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.