

Алгоритмы для автоматической идентификации объектов управления и результаты их тестирования

В.А. Жмудь, В. Хардт, Л.В. Димитров

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Хемнитский университет технологий, Хемниц, Германия,

Технический университет Софии, София, Болгария

Аннотация: Исследуется метод идентификации объекта управления по переходному процессу. Идея метода состоит в использовании записи переходного процесса для отыскания значений коэффициентов предположительной математической модели объекта путем минимизации интеграла от модуля или квадрата отклонения графика процесса с моделью от графика фактического процесса. В случае совпадения структуры идентифицируемой модели с фактической структурой моделью объекта метод чрезвычайно эффективен. Исследована ситуация, когда предполагаемая структура модели объекта отличается от фактической. Моделирование показало, что в этом случае квадратичный критерий менее эффективен, чем критерий на основе модуля ошибки. Также исследованы результаты применения регулятора, рассчитанного по модели, полученной в результате процесса идентификации, к фактическому объекту, показано, что даже при малых погрешностях идентификации отличия могут быть большими, но применение метода принудительного ограничения полосы частот системы эти полученные модели позволяют достаточно эффективно рассчитать и использовать регулятор по результатам автоматической идентификации. Приведены графики переходных процессов для иллюстрации выдвигаемых тезисов.

Ключевые слова: идентификация, управление, автоматика, переходный процесс, численная оптимизация, регулятор, ошибка управления, перерегулирование

ВВЕДЕНИЕ

Идентификация объекта управления, то есть определение его математической модели, является одной из важнейших подзадач при проектировании системы автоматического управления или стабилизации. При недостаточно точно выполненной идентификации результат расчета регулятора по полученной модели будет неприменим на практике, поскольку фактический объект будет в составе системы вести себя далеко не так, как полученная его математическая модель с некоторой

погрешностью идентификации. Безусловно, небольшая погрешность идентификации должна быть допустима, поскольку невозможно обеспечить абсолютное отсутствие погрешности ни при каких видах измерений.

Идентификация объекта требует большого количества вычислений, что делает эту процедуру трудоемкой и поэтому дорогостоящей.

Поэтому важными задачами являются, во-первых, разработка алгоритма автоматической идентификации, что позволило бы создавать соответствующие программы, во-вторых, тестирование такого алгоритма, в-третьих, исследование влияния полученных погрешностей идентификации на результат проектирования регулятора. Данная статья посвящена решению указанных задач.

При этом используется следующая терминология:

Если математическое выражение модели объекта известно, то задача идентификации модели объекта вырождается в задачу **параметрической идентификации**, то есть отыскания неизвестных параметров модели известного вида.

Отыскание модели, то есть математического соотношения, описывающего отклик объекта, может быть названа **функциональной идентификацией**.

Последовательное решение задач функциональной и параметрической идентификации в совокупности представляют решение задачи **полной идентификации**.

Использование полученной в результате полной идентификации модели для расчета регулятора называется задачей **синтеза регулятора**. Применение полученного регулятора с реальным объектом может быть названо **верификацией**. Если в результате применения полученной модели свойства системы отличаются от ожидаемых на основании решения задачи синтеза, то верификацию следует признать отрицательной. Если результат применения полностью совпадает с ожидаемым, верификацию следует признать положительной. Если же результат применения не совпадает в деталях, но в целом соответствует техническим требованиям,

предъявляемым к системе, то этот результат можно условно признать удовлетворительным.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть модель объекта задана в виде передаточной функции:

$$W(s) = \frac{\exp(-\tau s)}{s^2 + k_2 s + k_1}. \quad (1)$$

Требуется отыскать неизвестные коэффициенты модели τ , k_1 , k_2 для целей расчета ПИД-регулятора системы, управляющей выходной величиной такого объекта. Имеется отклик объекта на ступенчатое входное воздействие длительностью T , который можно пересчитать путем масштабирования как отклик на единичное ступенчатое воздействие. Этот отклик задан в виде последовательности отсчетов $f_1(t)$ с постоянным интервалом между ними $\Delta\tau$. При малом интервале $\Delta\tau$ эта функция близка у непрерывной функции времени.

2. МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Предлагается решение задачи методом численной оптимизации. С этой целью программа осуществляет моделирование работы объекта для получения переходных процессов $f_2(t)$ при различных значениях указанных коэффициентов. Изменение во времени разницы между фактическим процессом и получаемым служит основой для расчета стоимостной функции (критерия для оптимизации). Стоимостная функция может вычисляться как традиционно принятая для большинства подобных задач в виде суммы квадратов отклонений, в данном случае это будет интеграл от квадрата разницы:

$$F_1(T) = \int_0^T [f_1(t) - f_2(t)]^2 dt. \quad (2)$$

Также может быть использована стоимостная функция на основе модуля этой разницы:

$$F_1(T) = \int_0^T |f_1(t) - f_2(t)| dt. \quad (3)$$

Поскольку при моделировании объекта в программе *VisSim* внешние коэффициенты в модель по соотношению (1) вводить невозможно, целесообразно привести минимально-фазовую часть этого соотношения (дробь с единичным коэффициентом в числителе) к уравнению модели в виде дифференциального уравнения в операторной форме:

$$x(s) = \frac{1}{s} [-k_2 x(s) + \frac{1}{s} (-k_1 x(s) + u(s))]. \quad (4)$$

3. РЕЗУЛЬТАТ ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

На *Рис. 1* показана структура для моделирования фактического объекта и отыскиваемой модели. На этой структуре приняты следующие численные значения коэффициентов: $\tau = 1,2$, $k_1 = 1,3$, $k_2 = 1,5$ (наименования величин условно опускаем). Таким образом, в верхней части *Рис. 1* показана модель объекта по соотношению (4). В средней части *Рис. 1* показана идентичная модель, в которой коэффициенты заданы буквенными параметрами a, b, c . В нижней части *Рис. 1* показаны блоки для оптимизации, а именно: стартовые значения всех параметров, равные единице, три блока оптимизации, и индикаторы результата. Следует учесть, что программа *VisSim* при оптимизации осуществляет поиск не только по положительным значениям, но и по отрицательным, но значение параметра c должно быть только положительным. С этой целью на выходе блока оптимизации этого параметра установлен ограничитель в диапазоне от 0 до +100. Кроме того, значение параметра c должно соответствовать целому числу, умноженному на шаг интегрирования $\Delta\tau$. В нашем случае выбран шаг интегрирования $\Delta\tau = 0,01$, поэтому c именно такой дискретностью должен изменяться указанный параметр. Для обеспечения этого установим преобразователь числа в целое (блок "int") и делитель на 100.

В итоге работы программы параметры, заданные неизвестными, найдены с абсолютной точностью, что видно из показаний индикаторов на выходах блоков оптимизации. При этом использовалась стоимостная функция вида (2). На *Рис. 2* показаны полученные переходные процессы на выходе фактической модели объекта и на выходе найденной в результате модели, эти процессы сливаются, что естественно, поскольку найденная модель совпадает с фактической.

Вывод 1: Если математическая модель объекта известна точно, численные значения коэффициентов могут быть найдены с высокой точностью методом численной оптимизации.

Примечание. При реализации данного алгоритма в специализированном программном обеспечении вместо модели фактического объекта следует использовать известный график переходного процесса в виде последовательностей отсчетов его значений, при моделировании в программе *VisSim* намного удобнее осуществлять расчет этого процесса по фактической модели объекта, это отличие принципиально для оценки алгоритма идентификации.

Для оценки алгоритма следует ввести некоторые отличия предполагаемого вида

математической модели от ее фактического вида.

Наиболее вероятным отличием фактической модели от ее идеала является наличие неучтенного фильтра низких частот с единичным коэффициентом усиления. Чем меньше постоянная времени этого фильтра, тем меньше влияние этого фильтра. Осуществим моделирование процесса идентификации при

условии, что фактическая модель объекта имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{\exp(-2s)}{s^2 + k_2s + k_1} \cdot \frac{1}{T_1s + 1}. \quad (5)$$

Будем задавать различные значения для постоянной времени этого дополнительного фильтра T_1 , предполагая, что при идентификации объекта этот фильтр не принят во внимание.

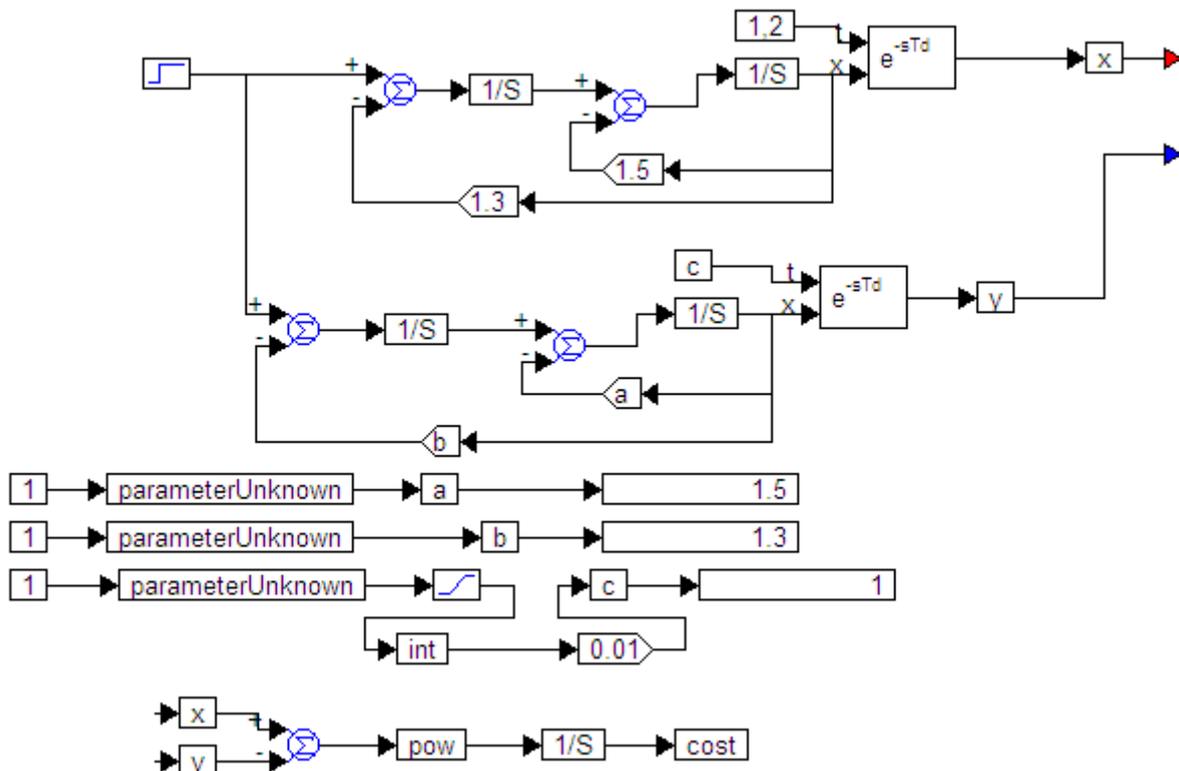


Рис. 1. Структурная схема для отыскания параметров модели при известной структуре методом численной оптимизации

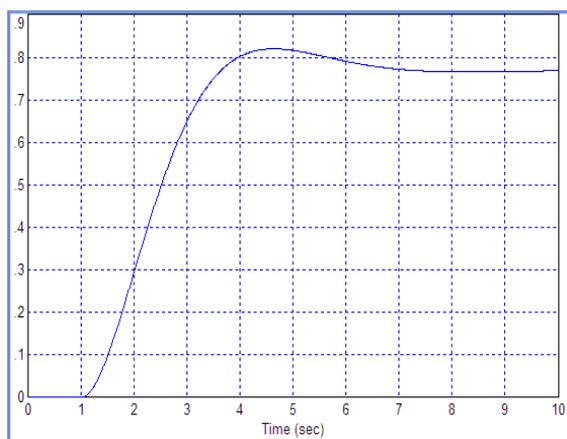


Рис. 2. Переходные процессы объекта и его модели совпадают

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ОТЛИЧИИ УРАВНЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТ ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ

На Рис. 3 показана структура для исследования решения задачи идентификации при отличии фактической модели объекта от предполагаемой.

В фактической модели содержится фильтр низких частот с постоянной времени $T_1 = 0,01$. В этом случае получены другие коэффициенты идентифицированной модели, а именно:

$$W(s) = \frac{\exp(-s)}{s^2 + 1,51415s + 1,29925}. \quad (6)$$

При этом фактическая модель объекта имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{\exp(-1,2s)}{s^2 + 1,5s + 1,3} \cdot \frac{1}{0,01s + 1}. \quad (5)$$

Несмотря на то, что эти передаточные функции не тождественны, переходные

процессы почти полностью совпадают, как показано на *Рис. 4*.

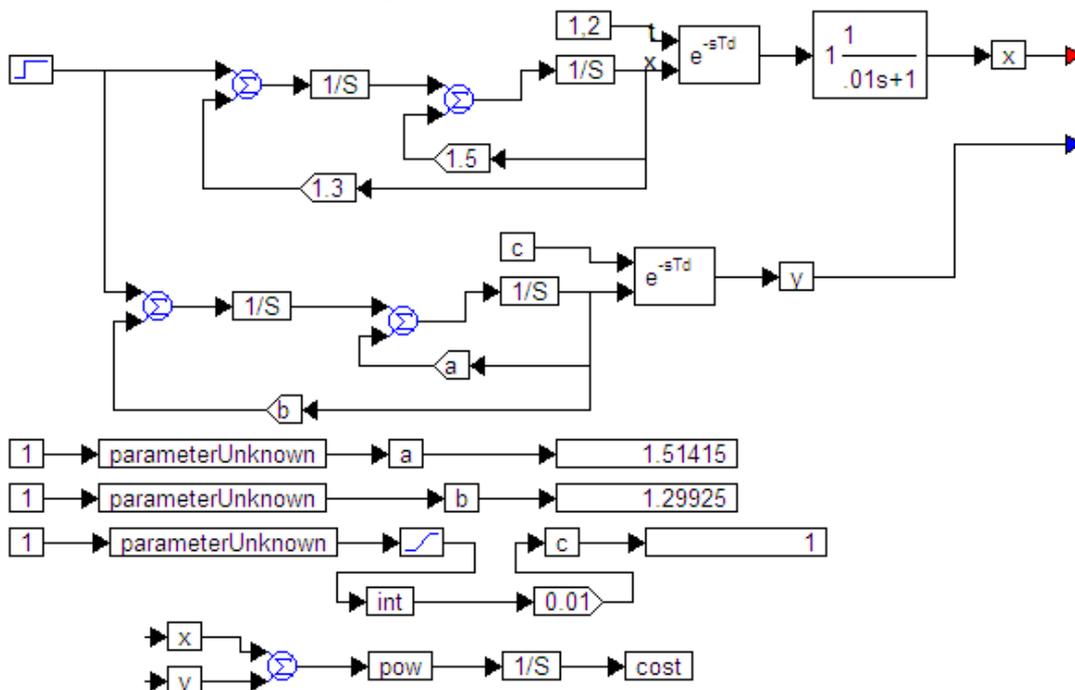


Рис. 3. Структура для отыскания коэффициентов объекта при небольшой отличии реальной структуры объекта

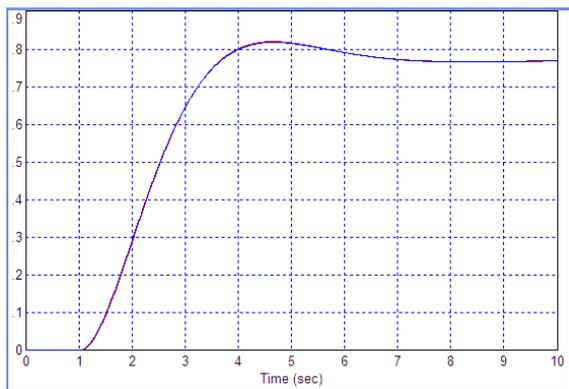


Рис. 4. Переходные процессы объекта и его приближенной модели: процессы практически совпадают

Увеличим постоянную времени неучтенного фильтра в пять раз и повторим эксперимент. Получены следующие значения искоемых коэффициентов $k_1 = 1,26956$, $k_2 = 1,74635$, $\tau = 0,78$. Переходные процессы показаны на *Рис. 6*. Осуществим те же действия при использовании стоимостной функции по соотношению (3). Получены следующие коэффициенты: $k_1 = 1,30019$, $k_2 = 1,52672$, $\tau = 1$. Полученные переходные процессы показаны на *Рис. 8*.

Далее увеличим постоянную времени этого фильтра до значения 0,2 и затем до значения 1. Результаты этого и последующих экспериментов сведены в *Таблицу 1*.

Таблица 1.

Результаты экспериментов по определению коэффициентов модели при различных значениях T_1

| T_1 | Стоимостная Функция | k_1 | k_2 | τ | T | Номер рисунка с переходными процессами |
|-------|---------------------|---------|---------|--------|-----|--|
| 0,01 | (2) | 1,29925 | 1,51415 | 1 | 10 | <i>Рис. 4</i> |
| 0,05 | (2) | 1,26956 | 1,74635 | 0,78 | 10 | <i>Рис. 5</i> |
| 0,05 | (3) | 1,30019 | 1,52672 | 1 | 10 | <i>Рис. 6</i> |
| 0,2 | (2) | 1,27215 | 1,85584 | 0,88 | 10 | <i>Рис. 7</i> |
| 0,2 | (3) | 1,30077 | 1,62338 | 1 | 10 | <i>Рис. 8</i> |
| 1 | (2) | 3,05204 | 1,21067 | 1 | 10 | <i>Рис. 9</i> |
| 1 | (3) | 3,75163 | 1,18302 | 0,3 | 10 | <i>Рис. 10</i> |
| 1 | (2) | 2,49419 | 1,29957 | 1 | 15 | <i>Рис. 11</i> |
| 1 | (3) | 4,1679 | 1,22194 | 0,23 | 15 | <i>Рис. 12</i> |

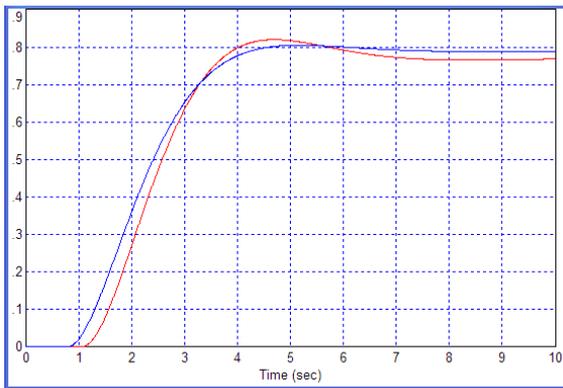


Рис. 5. Результат идентификации $T_1 = 0,05$ по критерию (2): красная линия – отклик объекта, синяя линия – отклик полученной модели при

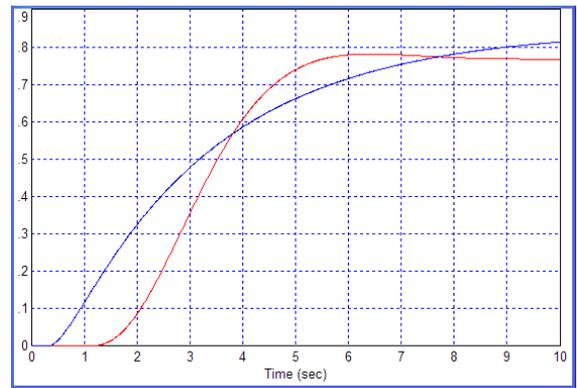


Рис. 9. Результат отыскания коэффициентов модели при $T_1 = 1$ по критерию (2)

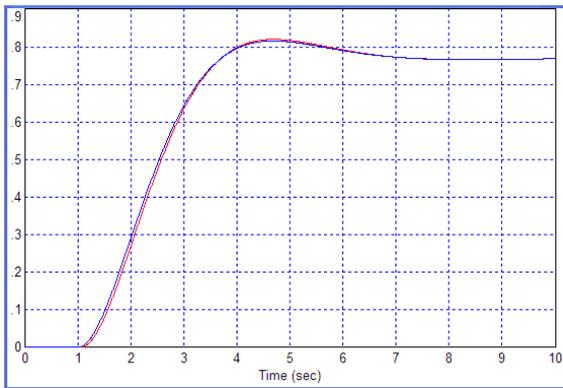


Рис. 6. Результат идентификации $T_1 = 0,05$ по критерию (3): результаты более близки

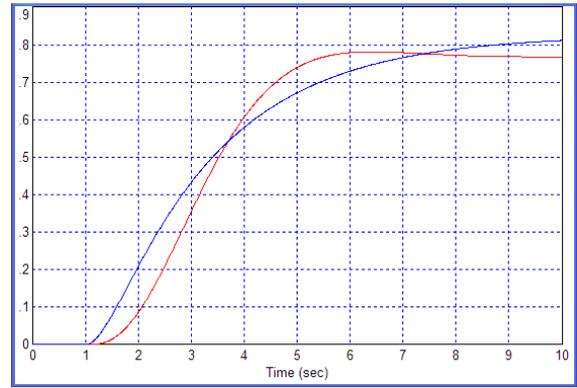


Рис. 10. Результат отыскания коэффициентов модели при $T_1 = 1$ по критерию (3)

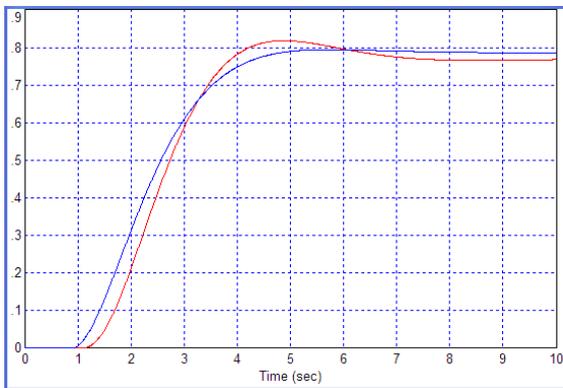


Рис. 7. Результат отыскания коэффициентов модели при $T_1 = 0,2$ по критерию (2)

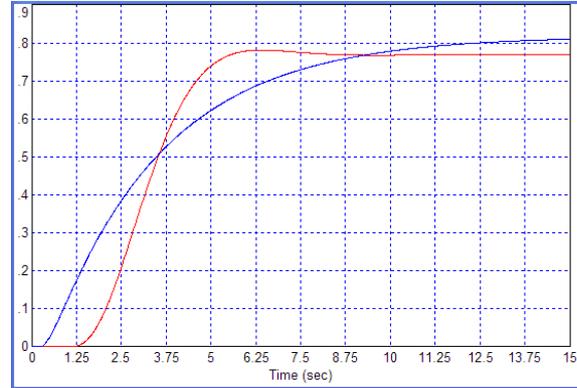


Рис. 11. То же, что на Рис. 9 при $T = 15$ с: результат точнее

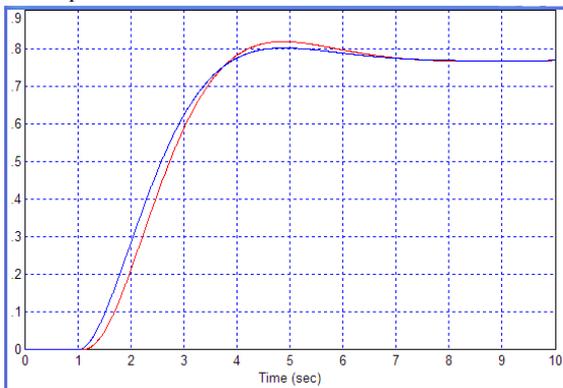


Рис. 8. Результат отыскания коэффициентов модели при $T_1 = 0,2$ по критерию (3)

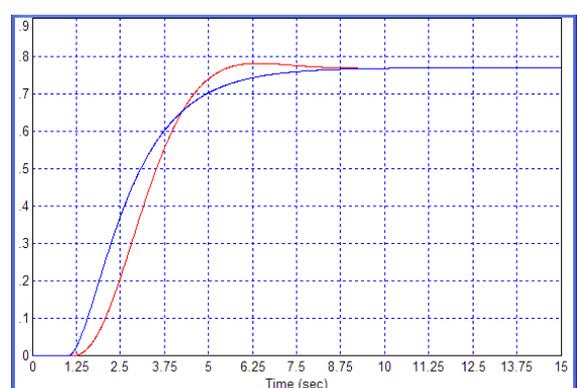


Рис. 12. То же, что на Рис. 10 при $T = 15$ с: результат точнее

5. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Полученные результаты идентификации модели объекта целесообразно исследовать на их полезность для решения задачи управления объектом.

Действительно, хотя предполагаемый вид модели (1) отличается от фактического ее вида (5), даже при относительно большом значении постоянной времени неучтенного фильтра. Ясно, что для случая, когда модель объекта идентифицирована абсолютно точно, этот результат может быть использован без проблем. Если же при идентификации имеется ошибка, это может оказаться, что полученная модель неприменима для расчета регулятора.

Возьмем для примера случай самого большого отличия фактической модели объекта от гипотезы о ее математическом выражении. Результат, показанный на Рис. 12, можно считать, на первый взгляд, относительно приемлемым, в сравнении с результатом,

показанным на Рис. 11 для тех же условий решения задачи.

Для исследования полезности результата осуществим расчет регулятора по полученной модели и применим полученный регулятор для системы с фактической моделью объекта. На Рис. 13 показана структура для решения первой части этой задачи методом численной оптимизации. В составном блоке «Модель» запрограммирована модель регулятора, полученная в предыдущем разделе с использованием критерия (3), что соответствует последней строке Таблицы 1. Коэффициенты полученного ПИД-регулятора показаны на Рис. 13, а также в Таблице 2. Полученный переходный процесс показан на Рис. 14 (синяя линия).

Осуществим моделирование системы с полученным регулятором и с фактической моделью объекта. Результат моделирования показан на Рис. 14 (красная линия). Видно, что переходный процесс с фактическим объектом характеризуется большим переходным процессом около 46 %, хотя в системе с той моделью, которая использована для расчета, перерегулирование составляет лишь 2 %.

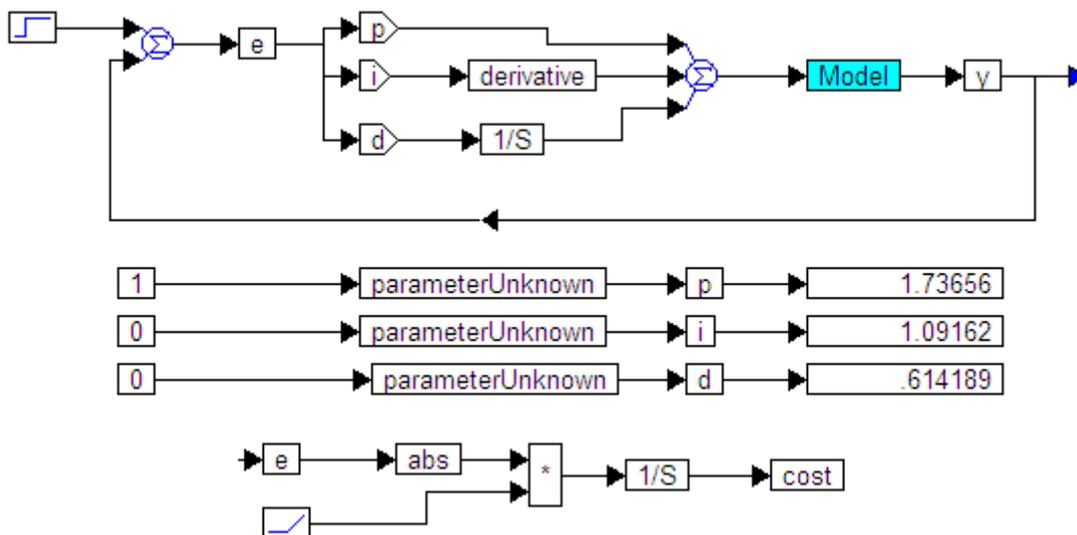


Рис. 13. Структура для оптимизации регулятора по полученной на Рис. 12 модели и полученный ПИД-регулятор

Применим метод, предложенный в работах [9]. Этот метод состоит в том, что при расчете регулятора предлагается вносить в модель объекта, используемую для оптимизации регулятора, дополнительное запаздывание.

Величина дополнительного запаздывания τ_D варьируется от 0,2 до 0,8 с. Полученные значения коэффициентов регулятора отражены в Таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета регулятора по структуре Рис. 21

| τ_D, c | k_p | k_i | k_d | $\sigma, \%$ | Номер рисунка с переходными процессами |
|-------------|---------|----------|----------|--------------|--|
| 0 | 1,73656 | 1,09162 | 0,614189 | 46 | Рис. 14 |
| 0,2 | 1,48898 | 0,996694 | 0,533234 | 30 | Рис. 15 |
| 0,4 | 1,321 | 0,935359 | 0,474869 | 20 | Рис. 16 |
| 0,8 | 1,09899 | 0,89038 | 0,3907 | 5 | Рис. 17 |

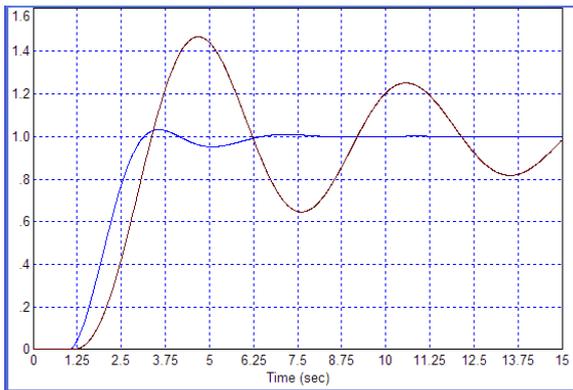


Рис. 14. Сравнение полученного процесса в системе с моделью (синяя линия) и в системе с фактическим объектом при том же регуляторе (черная линия): в фактической системе переходный процесс явно хуже, перерегулирование составляет 50%

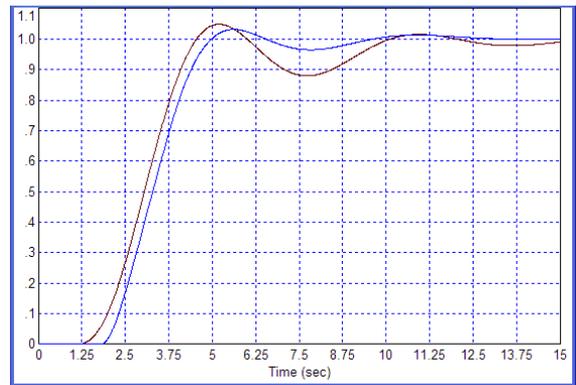


Рис. 17. Переходные процессы в полученной при $\tau_D = 0,8$ по критерию (3) системе с моделью (синяя линия) и с реальным объектом (черная линия) с этим регулятором

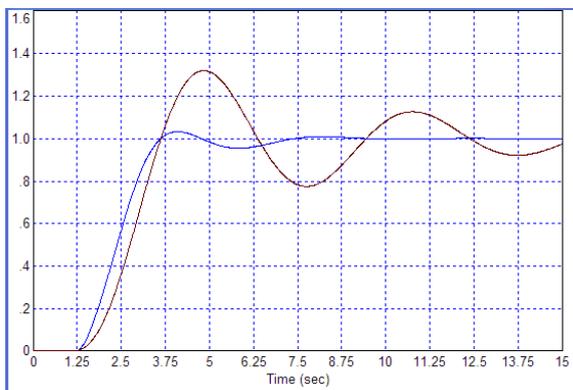


Рис. 15. Полученный переходный процесс в системе с моделью при $\tau_D = 0,2$ по критерию (3), а также в системе с реальным объектом: отличия существенны, но меньше, в реальной системе перерегулирование чуть более 30 %

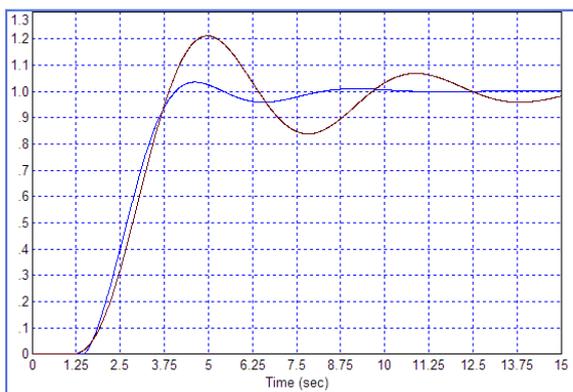


Рис. 16. Переходный процесс в полученной при $\tau_D = 0,4$ по критерию (3) системе с моделью (синяя линия) и в системе с реальным объектом (черная линия), перерегулирование в реальной системе несколько более 20 %

Отметим, что переходные процессы на Рис. 17 с позиции показателей качества в наибольшей степени «соизмеримы», исходя из того, что длительность переходного процесса по величине ошибки на уровне 2 % немногим отличается, т. е. около 10 с, и перерегулирование также не слишком сильно отличается: в системе с моделью оно составляет примерно 3 %, а в системе с фактическим объектом оно составляет около 5 %. Все же следует признать, что количество заметных колебаний в фактической системе больше, Если длительность переходного процесса измерять по вхождению ошибки в зону 5 %, то в системе с используемой моделью эта длительность менее 5 с, а в системе с фактическим объектом эта величина больше 9 с, т. е. вдвое больше.

Таким образом, используемая для оптимизации модель с учетом добавленного запаздывания характеризуется откликом на ступенчатый скачок, существенно отличающимся от отклика фактического объекта. Для сравнения оба графика представлены на Рис. 18.

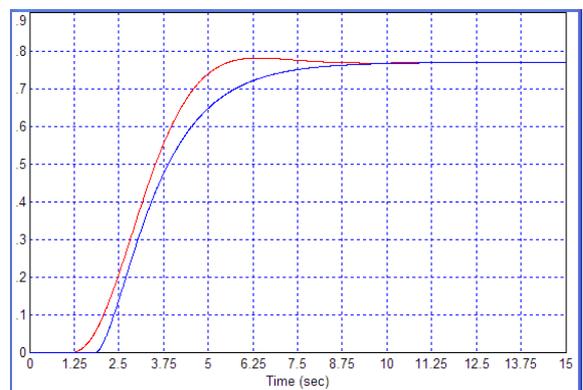


Рис. 18. Сравнение откликов на единичное ступенчатое воздействие фактического объекта (красная линия) и его модели с запаздыванием, которая использована в схеме по Рис. 30

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Можно считать, что задача функциональной идентификации решена корректно, если неучтенные особенности фактической модели объекта несущественно влияют не только на отклик объекта на ступенчатое воздействие, но и на поведение объекта в составе рассчитанной системы с отрицательной обратной связью.

2. Задача параметрической идентификации может быть решена автоматически. Для этого достаточно записать отклик объекта на характерный сигнал (или несколько сигналов), после чего запустить автоматическую процедуру подбора всех коэффициентов модели по критерию (2) или (3). Критерий (3) более эффективен, по меньшей мере, в исследованных примерах.

3. Процедура по пункту 2 может дать положительный результат даже в том случае, если функциональная идентификация выполнена не абсолютно точно.

4. Высокая степень совпадения вида переходных процессов не является гарантией положительного результата решения задачи синтеза регулятора.

5. Успешность решения задачи синтеза регулятора может быть повышена, если в модель, используемую для решения задачи синтеза, ввести в соответствии с рекомендациями работ [9] дополнительное звено запаздывания. Чем больше ошибка (вероятность ошибки) идентификации, тем больше требуется значение постоянной времени дополнительного звена запаздывания для этих целей.

6. ВОЗМОЖНЫЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

На основании выполненных исследований можно предложить следующий возможный алгоритм работы программы автоматической идентификации объекта.

1. Использовать предварительные сведения о возможной длительности отклика объекта на ступенчатый скачок, задать на этом основании время снятия отклика T и частоту получения цифровых отсчетов этого отклика $\Delta\tau$.

2. Получить отклик объекта на ступенчатое входное воздействие (величина этого воздействия задается исходя из допустимых режимов работы объекта) с параметрами по пункту 1, не прекращая эксперимент, если не выполнены условия прекращения тестирования. Условия прекращения тестирования состоят в том, что процесс остановится на фиксированном уровне (т. е. его первая и вторая производные будут равны нулю, или, по меньшей мере, по абсолютной величине меньше заранее

установленной доли от их максимального значения на стартовом значении интервала T).

3. Пересчитать полученный отклик к значениям для случая единичного входного воздействия.

4. Используя все предварительные сведения об объекте, выбрать модель объекта (осуществить функциональную идентификацию). Если таковых сведений нет, использовать модель в виде объекта второго порядка и звена запаздывания вида (1). При этом для моделирования минимально-фазовой компоненты передаточной функции объекта рекомендуется использовать модель в форме (4).

5. Запустить процедуру оптимизации по одному из известных алгоритмов многопараметрической оптимизации с использованием критерия (3).

6. Если полученный переходный процесс с использованием результата параметрической оптимизации недостаточно точно совпадает с процессом, полученным с реальным объектом, следует увеличить время моделирования в 1,5 раза и повторить процесс.

7. Если действия по пункту 6 не приводят к существенному уменьшению погрешности оптимизации, следует усложнить используемый вид модели, для чего, например, к модели вида (1) следует добавить фильтр низких частот, т. е. добавить в знаменатель передаточной функции сомножитель в виде полинома первого порядка. После этого повторить процедуру параметрической оптимизации.

8. Если действия по пункту 7 не приводят к существенному уменьшению погрешности оптимизации, следует добавить дополнительный полином не первого, а второго порядка (в виде сомножителя) в знаменатель передаточной функции (1). После этого повторить процедуру параметрической оптимизации.

9. Если действия по пункту 8 не приводят к существенному уменьшению погрешности оптимизации, следует добавить дополнительный полином первого порядка (в виде сомножителя) в числитель передаточной функции модели объекта. После этого повторить процедуру параметрической оптимизации.

10. Полученный результат оптимизации использовать для решения задачи синтеза регулятора.

11. Полученный регулятор использовать в системе с реальным объектом.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В данной статье исследована процедура автоматической идентификации объекта. Исследовано влияние ошибочной математической формы объекта в случае автоматической параметрической

идентификации. Показано, что незначительные отличия, как например, неучтенный фильтр первого порядка с малой постоянной времени, несущественно влияют на точность совпадения фактического переходного процесса с процессом на полученной модели. Если отличия математической записи модели объекта от фактической модели существенны, это приводит к существенному отличию фактического и получаемого переходных процессов. Показано, что даже при небольшом отличии переходных процессов, фактического и полученного в результате идентификации (5 – 20 % в динамике, 0 % в статике), результат синтеза регулятора дает с фактическим объектом переходные процессы, существенно отличающиеся от тех, которые получаются с используемой моделью, отличия могут составить 60 %.

Показано, что использование дополнительного элемента запаздывания в модели при оптимизации регулятора позволяет преодолеть эту проблему.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа выполнена при поддержке фондом РФФИ, проект № 15-38-50594 «Разработка и исследование алгоритмов идентификации объектов управления с сосредоточенными и распределенными параметрами, с целью построения адаптивных систем управления и регулирования».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жмудь, В.А. Моделирование замкнутых систем автоматического управления: учебное пособие для академического бакалавриата / В. А. Жмудь. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 126 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-03410-3. URL: <http://urait.ru/catalog/403830>
- [2] Zhmud V.A., Dimitrov L.V. The influence of the type of the test signal on the result of numerical optimization of regulators. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 803 (2017) 012186. doi:10.1088/1742-6596/803/1/012186. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012186/pdf>
- [3] Пякилля Б.И. Жмудь В.А. Корректная идентификация объекта с запаздыванием для управления им. Автоматика и программная инженерия. – 2015. – № 3 (13). – С. 51–57. http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-3-2015-1_2.pdf
- [4] Пякилля Б.И. Жмудь В.А. Управление объектом с распределенными параметрами. Автоматика и программная инженерия. – 2015. – № 3 (13). – С. 9–16. http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-3-2015-5_0.pdf
- [5] Синтез математической модели коаксиального шунта переменного тока по экспериментальным данным. Б.И. Пякилля, Е. Бедарева, В. Гончаров, Э. Цимбалест. Датчики и системы. Sensors & Systems. — 2016. — №5. — С. 25–30.
- [6] Zhmud V.A., Pyakillya B.I. Identification and Control of Object with Time-Delay Link. Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering. e-ISSN: 2289-8131. ISSN: 2180-1843 Vol. 9 No. 2-2. P. 109–113. <http://journal.utem.edu.my/index.php/jtec/article/download/2229/1347>
- [7] Zhmud V.A., Liapidevskii A.V., Pyakillya B.I. Numerical Optimization of PID-Regulator for Object with Distributed Parameters. Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering. e-ISSN: 2289-8131. ISSN: 2180-1843 – Vol. 9 – No. 2-3. – P. 9–114. <http://journal.utem.edu.my/index.php/jtec/article/download/2265/1359>
- [8] Zhmud V.A., Pyakillya B.I., Semibalamut V.M., Trubin M.G., Yadrishnikov O.D. The Two Methods of Reverse Overshoot Suppression in Automation Systems. Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering. e-ISSN: 2289-8131. ISSN: 2180-1843 – Vol. 9 – No. 2-2. – P. 153–157. <http://journal.utem.edu.my/index.php/jtec/article/download/2236/1354>
- [9] Жмудь В.А., Загорин А.Н. Структура модели для оптимизации системы с обратной связью. Патент на изобретение № 2554291. Приоритет от 01.04.14. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РФ 27.06.15. Бюллетень № 18. Срок действия патента истекает 01.04.34. Правообладатель ФГБОУ ВПО НГТУ. МПК G01R 23/02, G01P 3/36.

Algorithms for Automatic Identification of Controlled Objects and Results of Their Testing

V. A. ZHMUD, W. HARDT, L. V. DIMITROV

Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, Russia

Chemnitz University of Technology, Chemnitz,
Germany,

Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria

Abstract: The method of identification of a control object by a transient process is investigated. The idea of the method is to use a transient recording to find the values of the coefficients of the estimated mathematical model of the object by minimizing the integral of the module or the square of the deviation of the process graph of the model from the actual process graph. In the case of coincidence of the structure of the identified model with the actual structure of the object model, the method is extremely effective. The situation when the proposed structure of the object model differs from the actual one is investigated. Simulation showed that in this case the quadratic criterion is less effective than the criterion based on the error module. The results of the application of the regulator calculated on the basis of the model obtained as a result of the identification process to the actual object were also investigated, it was shown that even with small identification errors, the

differences can be large, but using the method of constraining the system frequency band, these models allow us to calculate controller and use automatic identification procedure. Graphs of transient processes are given to illustrate the proposed method.

Key words: identification, control, automation, transient, numerical optimization, regulator, control error, overshooting

REFERENCES

- [1] Zhmud, V.A. Modelirovanie zamknutyh sistem avtomaticheskogo upravlenija: uchebnoe posobie dlja akademicheskogo bakalavriata / V. A. Zhmud. – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Izdatel'stvo Jurajt, 2017. – 126 s. – (Bakalavr. Akademicheskij kurs). – ISBN 978-5-534-03410-3. URL: <http://urait.ru/catalog/403830>
- [2] Zhmud V.A., Dimitrov L.V. The influence of the type of the test signal on the result of numerical optimization of regulators. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 803 (2017) 012186 doi:10.1088/1742-6596/803/1/012186. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012186/pdf>
- [3] Pjkillja B.I. Zhmud' V.A. Korrektnaja identifikacija ob'ekta s zapazdyvanijem dlja upravlenija im. Avtomatika i programmaja inzhenerija. – 2015. – № 3 (13). – S. 51–57. http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-3-2015-1_2.pdf
- [4] Pjkillja B.I. Zhmud' V.A. Upravlenie ob'ektom s raspredelennymi parametrami. Avtomatika i programmaja inzhenerija. – 2015. – № 3 (13). – S. 9–16. http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-3-2015-5_0.pdf
- [5] Sintez matematicheskoj modeli koaksial'nogo shunta peremennogo toka po jeksperimental'nym dannym. B.I. Pjkillja, E. Bedareva, V. Goncharov, Je. Cimbalist. Datchiki i sistemy. Sensors & Systems. — 2016. — №5. — S. 25–30.
- [6] Zhmud V.A., Pyakillya B.I. Identification and Control of Object with Time-Delay Link. Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering. e-ISSN: 2289-8131. ISSN: 2180-1843 Vol. 9 No. 2-2. P. 109–113. <http://journal.utem.edu.my/index.php/jtec/article/download/2229/1347>
- [7] Zhmud V.A., Liapidevskii A.V., Pyakillya B.I. Numerical Optimization of PID-Regulator for Object with Distributed Parameters. Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering. e-ISSN: 2289-8131. ISSN: 2180-1843 – Vol. 9 – No. 2-3. – P. 9–114. <http://journal.utem.edu.my/index.php/jtec/article/download/2265/1359>

- [8] Zhmud V.A., Pyakillya B.I., Semibalamut V.M., Trubin M.G., Yadrishnikov O.D. The Two Methods of Reverse Overshoot Suppression in Automation Systems. Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering. e-ISSN: 2289-8131. ISSN: 2180-1843 – Vol. 9 – No. 2-2. – P. 153–157. <http://journal.utem.edu.my/index.php/jtec/article/download/2236/1354>
- [9] Zhmud V.A., Zavorin A.N. Struktura modeli dlja optimizacii sistemy s obratnoj svjaz'ju. Patent na izobrenenie № 2554291. Prioritet ot 01.04.14. Zaregistrovano v gosudarstvennom reestre izobrenij RF 27.06.15. Bjulleten' № 18. Srok dejstvija patenta istekaet 01.04.34. Pravoobladatel' FGBOU VPO NGTU. MPK G01R 23/02, G01P 3/36.



Вадим Аркадьевич Жмудь – заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук.
E-mail: oao_nips@bk.ru



Wolfram Hardt - Department of Computer Science, Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany
Prodekan für Internationales, Direktor Universitätsrechenzentrum, Professor für Technische Informatik, Technische Universität Chemnitz, Germany
E-mail: hardt@cs.tu-chemnitz.de



Любомир Ванков Димитров – проректор Технического университета Софии (София, Болгария), доктор наук, профессор, почетный доктори НГТУ, автор более 200 научных статей. Область исследований: мехатроника, автоматика, микроэлектронные модули и системы и их применение (MEMS).
E-mail: lubomir.dimitrov@tu-sofia.bg