

Об усеченной модели объекта управления

А.Н. Заворин, В.А. Жмудь
ФГБОУ ВПО НГТУ (Новосибирск, Россия)

Аннотация: В статье рассматривается проблема неполной идентификации, которая должна быть решена при использовании метода численной оптимизации регуляторов для реальных объектов. Проблема состоит в том, что всегда имеется такая наиболее высокочастотная часть модели, которая не определяется в результате идентификации. Как правило, ее считают такой, которая соответствует наиболее простой модели, то есть, например, полагают, что в высокочастотной области не имеется дополнительных изломов логарифмической амплитудно-частотных характеристик и дополнительных приращений фазового сдвига. Хотя эта гипотеза и дает наиболее простую запись модели объекта, она не соответствует действительности. Поэтому необходимы меры для достижения соответствия результата оптимизации с его практическим применением. В статье предлагается эффективный метод решения этой задачи.

Ключевые слова: автоматическое управление, регулятор, одноканальная система, усечённая идентификация, астатическая система, минимально-фазовые звенья, частотный метод, аналитический метод.

ВВЕДЕНИЕ

Теория автоматического управления направлена на методы расчета регуляторов замкнутых систем, обеспечивающих устойчивость и требуемое качество работы замкнутого контура управления [1]. Эти задачи решаются аналитическими методами, если это возможно. Развитие методов моделирования и численной оптимизации наряду с развитием вычислительной техники и программных продуктов способствовало все более широкому использованию решения этих задач именно этими методами, особенно в тех случаях, когда аналитическое решение этой задачи невозможно вследствие большой сложности модели объекта [2–13].

При аналитическом проектировании регулятора важно определить порядок объекта, то есть степень полинома в знаменателе передаточной функции. Методика синтеза регулятора в существенной мере зависит от порядка объекта [14, 15].

Одной из особенностей численных методов является свойство процедуры оптимизации не

ограничиваться «приемлемым качеством системы», если модель формально позволяет осуществить дальнейшее ее улучшение.

Поэтому возможность получения «хорошего результата», то есть спроектировать регулятор, удовлетворяющий техническим требованиям к системе, не эквивалентна возможности корректного завершения процедуры оптимизации, то есть возможности отыскать истинный минимум целевой функции [3].

Например, если объект представляет собой интегратор, то процедура отыскания пропорционального регулятора не может корректно завершиться, если не введены дополнительные ограничения. Действительно, в контуре будет иметь место интегратор с коэффициентом, который следует отыскать в процедуре оптимизации. Процедура оптимизации завершится, если дальнейшее увеличение коэффициента в этом контуре будет приводить к росту стоимостной функции, также как и уменьшение этого коэффициента. Но если в контуре имеется лишь интегратор, то контур устойчив всегда, и всякое дальнейшее увеличение коэффициента в контуре будет лишь уменьшать ошибку управления, поэтому процедура оптимизации будет предлагать дальнейшее увеличение этого коэффициента до бесконечности.

Реальный объект никогда не может описываться столь простой моделью, как интегратор, в реальной модели обязательно присутствуют дополнительные факторы, ограничивающие его быстродействие, начиная с некоторых частот. Эти частоты могут не иметь никакого практического значения, то есть поведение системы на этих частотах не нормируется, поскольку отклик объекта в области этих частот пренебрежимо мал. Поэтому утверждение о том, что модель объекта соответствует интегратору, с учетом возможности пренебрежения особенностями этой модели в области этих частот является достаточно корректным, но программа этого «не знает», и будет пытаться осуществлять оптимизацию дальше, пока не достигнет условий прекращения процедуры оптимизации. Эти условия могут быть не желательны для разработчика, например, превышение количества циклов итерации некоторой большой величины, например, 100000 циклов, или превышение каким-либо коэффициентом некоторой недопустимо большой величины, например, десять в тридцать четвертой степени. При таком прерывании никаких полезных

результатов процедуры не сохраняется, поэтому вся процедура оптимизации является безрезультатной, хотя задача расчета пропорционального регулятора для объекта, модель которого в первом приближении описывается интегратором, тривиальна.

Таким образом, имеется противоречие между наличием эффективного метода для проектирования регуляторов с использованием программно-аппаратных средств, с одной стороны, и наличием целого ряда примитивных задач, которые являются проблемными для этого метода, с другой стороны.

Один из вариантов решения такой задачи является, например, ограничение одного или нескольких коэффициентов регулятора некоторой наперед заданной большой величиной. Этот метод видится искусственным, поскольку невозможно наперед знать, насколько целесообразно такое ограничение. В одном случае, возможно, это приведет к необоснованному ухудшению результата, поскольку коэффициенты будут меньше, чем следовало, а в другом случае это может привести к несовпадению результата моделирования с результатом реальной работы системы, поскольку коэффициенты излишне велики, и реальные отличия модели объекта от интегратора уже начинают сказываться в реальном объекте.

В настоящей статье ставится задача анализа этой проблемы путем моделирования и отыскание наиболее эффективного способа ее решения.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обсудим результат определения математической модели объекта.

Один из способов решения этой задачи состоит в отыскании математической модели, такой, чтобы отклик реального объекта в достаточной мере совпадал с откликом устройства, работающего в соответствии с этой найденной математической моделью. Если отклик отличается на несущественную величину, то можно считать, что модель несущественно отличается от истинной модели реального объекта.

Вопрос о том, какое отличие допустимо считать незначительным, не прост, особенно, если учесть, что на реальный объект всегда воздействуют возмущения, поэтому истинный его отклик всегда некоторым образом отличается от отклика, соответствующего его реальной модели. К этому отклику добавляется результат действия помехи.

Поэтому всегда приходится установить заранее или из эксперимента некоторую величину отличия переходных процессов, которые считать допустимыми.

Для линейного объекта математическую модель можно комплексной амплитудно-

частотной характеристикой или парой амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик.

Амплитудно-частотная характеристика, как правило, с ростом частоты уменьшается. Этому есть обоснование: любой объект обладает некоторой инерционностью в отношении любой физической величины, характеризующей ее состояние. Даже электромагнитный сигнал распространяется в среде или в вакууме с ограниченной скоростью. А поскольку ось частот может быть продолжена до бесконечности, для любой сколь угодно малой величины на этой бесконечной оси всегда имеется частота, выше которой отношение амплитуды выходного сигнала объекта к амплитуде входного сигнала меньше этой наперед заданной величины.

Поэтому любой реальный отклик объекта на любой входной сигнал ограничен по спектру, то есть можно указать, что сигналы выше некоторой частоты в этом сигнале присутствуют с амплитудой, заведомо меньшей, чем некоторая пренебрежимо малая величина. Следовательно, при идентификации модели объекта имеется область частот, которая не охватывается этой идентификацией, то есть вид амплитудно-частотной характеристики объекта в этой области не определяется ни из каких экспериментов.

На этом основании результат любой идентификации можно отнести лишь к некоторой ограниченной сверху области частот.

На этом основании любую модель можно назвать неполной, а именно: высокочастотная часть этой модели, начиная с некоторой частоты, не известна. Про эту область можно лишь сказать, что она не превышает некоторое значение, но нельзя сказать, как она себя ведет. Для того чтобы подчеркнуть этот факт, назовем такую модель «усеченной», то есть определенной в усеченном диапазоне частот.

Совершенно очевидно, что если разработчик регулятора для системы постоянно помнит о наличии такого участка, на котором модель объекта не известна, в расчете регулятора он обеспечит отсутствие влияния этого участка на устойчивость и качество работы системы. Из теории следует, что такой участок не будет влиять на работу замкнутой системы, если передаточная функция условно разомкнутого контура во всем диапазоне частот, относящихся к этому участку, будет намного меньше единицы.

Если же оптимизация осуществляется автоматически, нельзя гарантировать, что это условие будет соблюдено. Поэтому необходимо решение этой проблемы.

2. ПРИМЕР ОБЪЕКТА С УСЕЧЕННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ

Пусть в результате идентификации получена модель в виде произведения двух передаточных

функций аperiodических звеньев:

$$W_1(s) = \frac{1}{10s+1} \cdot \frac{1}{0,1s+1}. \quad (1)$$

Если специалист, получивший при идентификации объекта модель (1), использует ее для расчета регулятора, то он, тем самым, принял гипотезу, что в высокочастотной области логарифмической амплитудно-частотной характеристики ее наклон асимптотически стремится к наклону второго порядка, то есть – 40 дБ/дек. Также эта гипотеза содержит предположение, что в высокочастотной области фазочастотная характеристика стремится к асимпте, параллельной оси абсцисс, проходящей через точку $\varphi = -180^\circ$. Это кажется естественным и чуть ли не единственно возможным допущением, однако, это не так. В действительности можно принять бесконечное множество гипотез об истинной модели реального объекта. Можно принять предположение, что передаточная функция реального объекта $W_2(s)$ в действительности является произведением передаточной функции (1) и передаточной функции с ограниченным быстродействием (ПФОБ), которую в общем виде обозначим $W_K(s)$:

$$W_2(s) = W_1(s)W_K(s). \quad (2)$$

Рассмотрим три возможных варианта ПФОБ.

[1] Зададим ПФОБ в виде звена чистого запаздывания:

$$W_3(s) = \exp(-\tau s). \quad (3)$$

Здесь τ – постоянная времени звена запаздывания, например, $\tau = 0,2$. Здесь и далее частота берется в Герцах, а время – в секундах.

[2] Зададим ПФОБ в виде аperiodического звена:

$$W_4(s) = \frac{1}{T_1 s + 1}. \quad (4)$$

Здесь T_1 – постоянная времени аperiodического звена, например, $T_1 = 0,2$.

[3] Зададим ПФОБ в виде четырех последовательно соединенных периодических звеньев:

$$W_5(s) = \frac{1}{(T_2 s + 1)^4}. \quad (5)$$

Здесь T_2 – постоянная времени аperiodических звеньев, например, $T_2 = 0,05$.

На *Рис. 1* показана структура проекта для моделирования всех четырех вариантов моделей объектов, а также построены рассчитанные графики переходных процессов в ответ на ступенчатый единичный скачок. Видно, что все графики переходных процессов практически совпадают. Здесь и далее синяя кривая описывает отклик объекта с передаточной функцией (1), остальные лучи описывают отклики объектов с передаточной функцией по уравнению (2), причем в качестве ПФОБ используются, соответственно, функции (3) – красный график, (4) – сиреневый график, (5) – черный график.

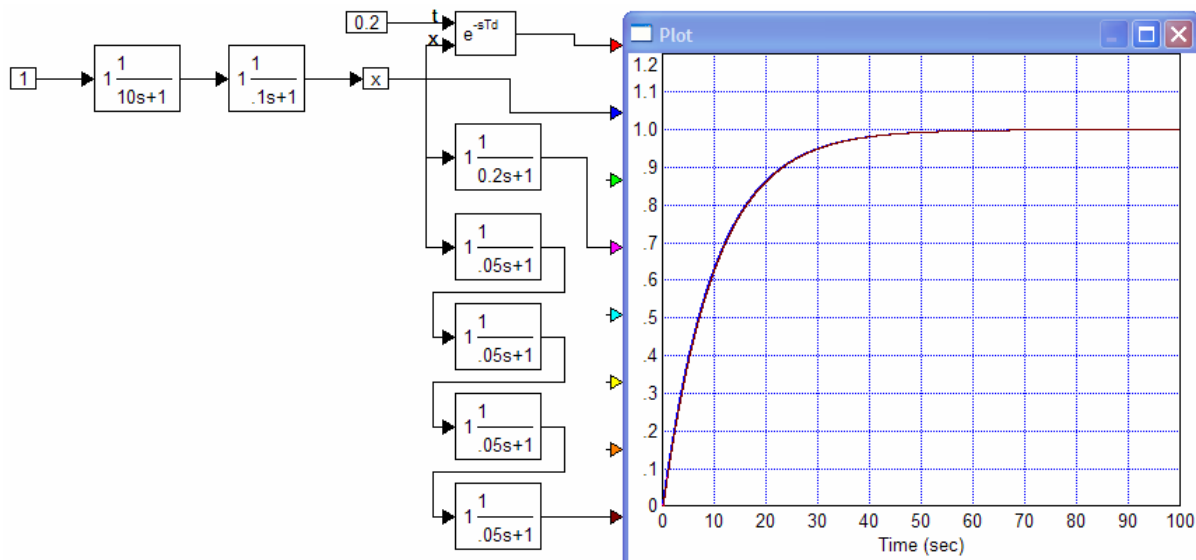


Рис. 1. Проект для моделирования и полученные графики откликов моделей с различными передаточными функциями на ступенчатый единичный скачок

Поскольку все графики на *Рис. 1* сливаются, на основании этих графиков нет возможности предпочесть одну из рассмотренных моделей.

Для сравнения можно посмотреть амплитудно-частотные и фазочастотные

характеристики всех четырех рассмотренных моделей объекта, показанные на *Рис. 2*. Эти характеристики построены программой *VisSim*. Видно, что все характеристики приблизительно совпадают, для выявления отличий необходимо

расширить частотный диапазон вверх в высокочастотную область.

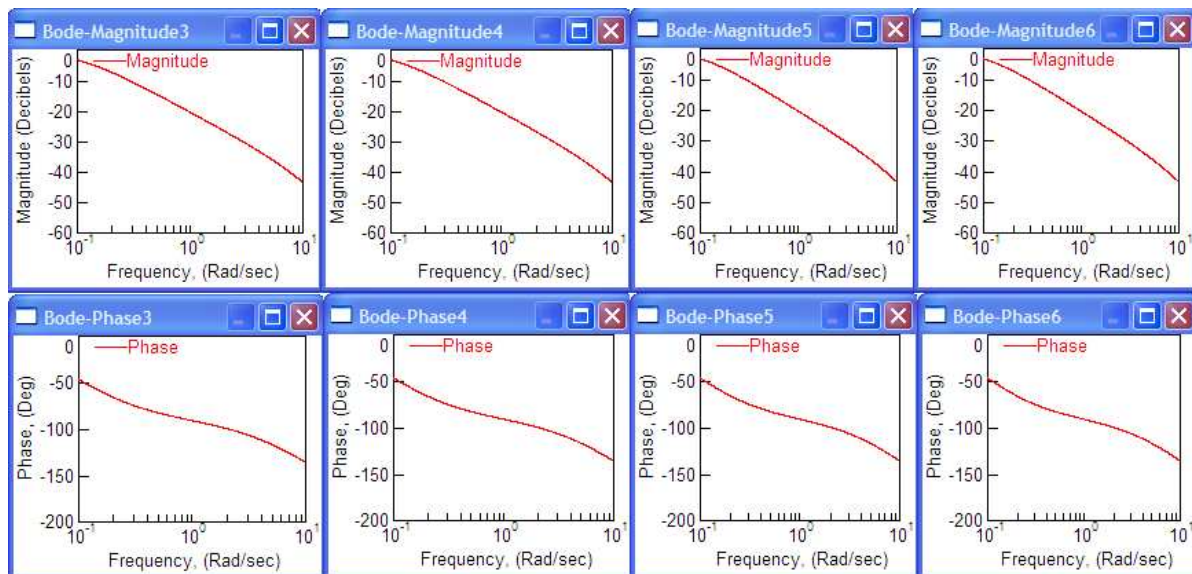


Рис. 2. Амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики моделей (1) – (4)

3. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УСЕЧЕННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Предположим, мы выбрали наиболее простую модель (1). Осуществим оптимизацию ПИД-регулятора для такого объекта. Результат показан на Рис. 3. Для того, чтобы задача оставалась корректной, ограничим шаг интегрирования при численном моделировании величиной $t_{\text{и}} = 0,01$ с. Получим коэффициенты пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего каналов, соответственно, $K_{\text{п}} = 8225,82$; $K_{\text{и}} = 59,12$; $K_{\text{д}} = 129,0$. Переходный процесс при этом длится около 0,3 с. Если теперь уменьшить шаг интегрирования, можно получить другой результат оптимизации, все коэффициенты при этом увеличатся, а длительность переходного процесса уменьшится. При этом приблизительно сохранится соотношение коэффициентов и величины уменьшения шага интегрирования. То есть при уменьшении шага в 10 раз коэффициенты в результате оптимизации увеличатся примерно в 10 раз, и длительность переходного процесса уменьшится в 10 раз.

Оптимизация ПИД-регулятора с идеализированной моделью объекта (1) при наличии возможности бесконечного уменьшения шага интегрирования не закончилась бы никогда. Эта задача, строго говоря, не корректна в указанном смысле. Это находится в явном противоречии с действительной моделью объекта. В природе не

существует таких объектов, для которых бесконечное увеличение коэффициентов регулятора (не важно, какого именно регулятора) была бы целесообразной. С любым реальным объектом любая структура регулятора не может до бесконечности численно оптимизироваться, то есть увеличиваться до бесконечности так, чтобы каждое новое увеличение лишь улучшало переходный процесс, а именно: сокращало его длительность, не вызывая перерегулирования.

На Рис. 4 также показаны переходные процессы на выходах других моделей, то есть моделей, содержащий ПФОБ согласно (2) – (4). Видно, что эти процессы существенно отличаются друг от друга.

Попробуем применить полученный ПИД-регулятор для объекта с моделью (2), где $W_k(s)$ взята из уравнения (3). Получим неустойчивую систему. Переходный процесс в такой системе показан на Рис. 4, а также в более крупном масштабе – на Рис. 5.

На Рис. 6 и 7, соответственно, показаны переходные процессы в системах с объектами (2), (4) и (2), (5), соответственно.

Вывод 1. По рассмотренному примеру можно сделать вывод, что использование модели (1) для численной оптимизации регулятора дает в результате такой регулятор, который не применим в том случае, если в модели содержится ПФОБ, то есть если модель на самом деле имеет вид (2). Это относится ко всем трем рассмотренным вариантам ПФОБ: (3), (4) и (5).

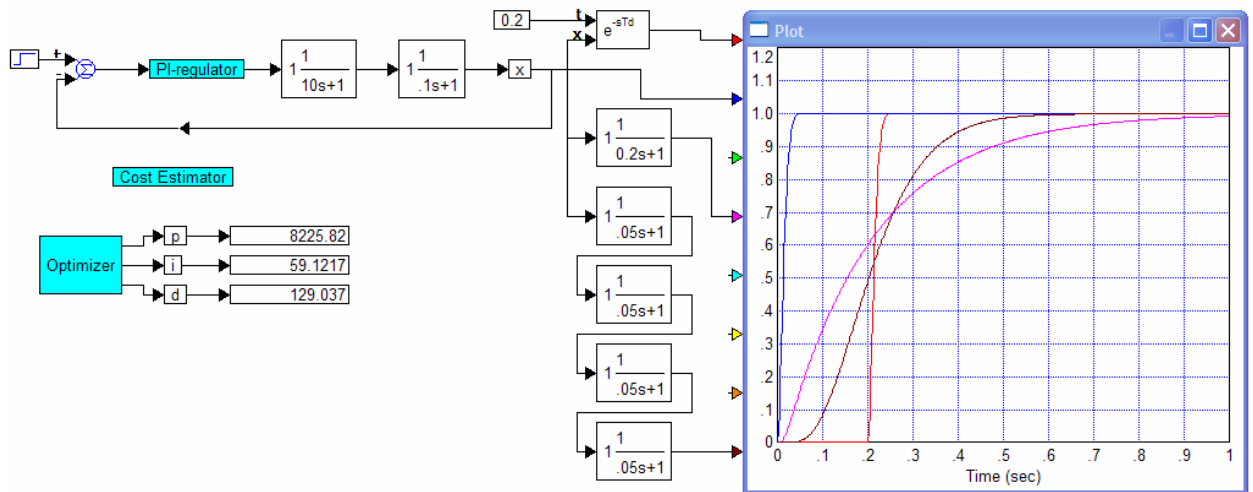


Рис. 3. Результат оптимизации ПИД-регулятора для объекта (1) и переходные процессы

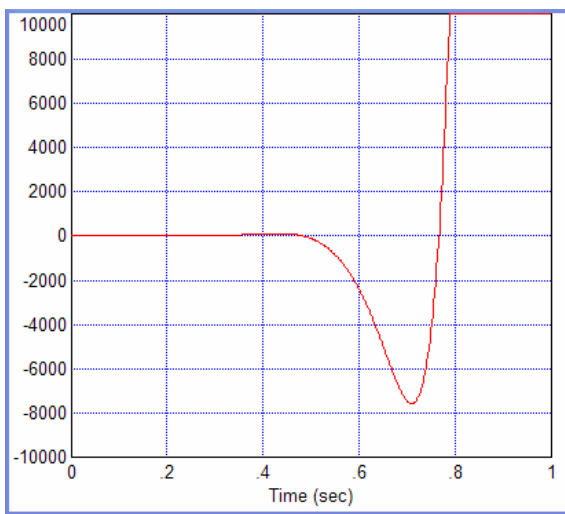


Рис. 4. Переходный процесс в системе с моделью (2), (3) при использовании регулятора, рассчитанного по модели (1)

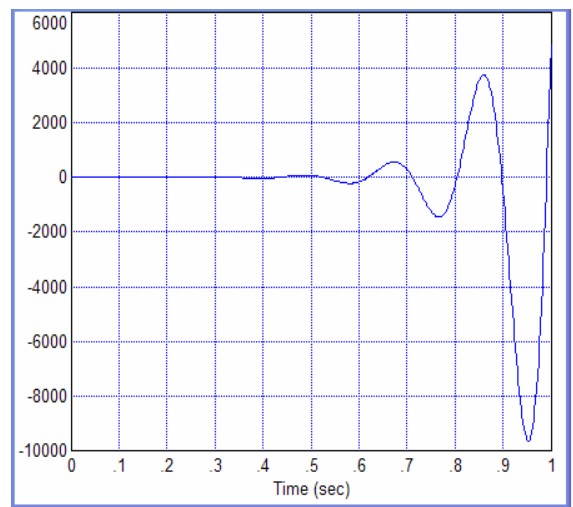


Рис. 6. Переходный процесс в системе с моделью (2), (4) при использовании регулятора, рассчитанного по модели (1)

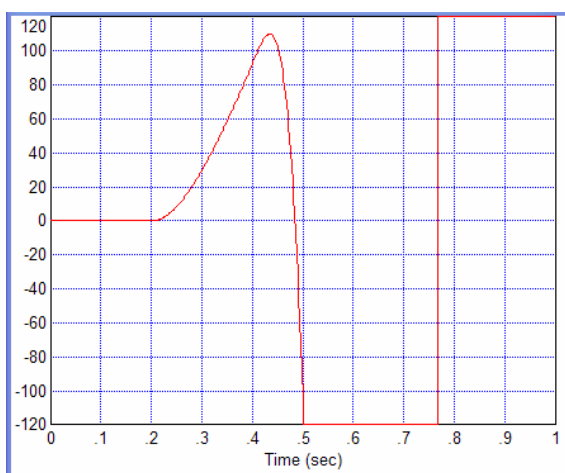


Рис. 5. Начальный этап переходного процесса в крупном масштабе в системе с моделью (2), (3) при использовании регулятора, рассчитанного по модели (1)

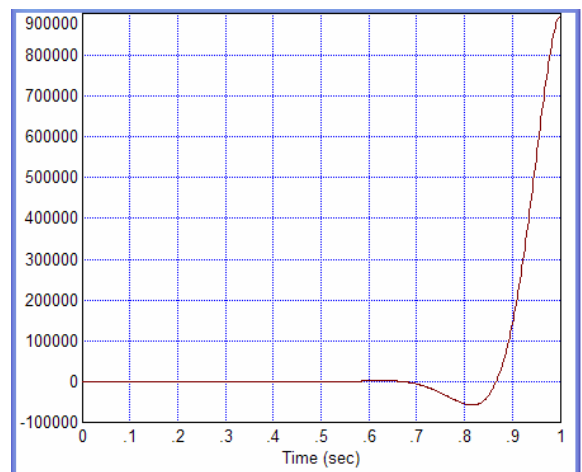


Рис. 7. Переходный процесс в системе с моделью (2), (5) при использовании регулятора, рассчитанного по модели (1)

4. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА ПО МОДЕЛИ С ПФОД

Теперь осуществим оптимизацию ПИД-регулятора для объекта с моделью (2), где ПФОД $W_K(s)$ взята из уравнения одного из следующих уравнений: (3), (4) или (5).

Для начала используем модель (3) с запаздыванием. Результаты показаны на Рис. 8.

Вывод 2. Если регулятор рассчитывать по модели с использованием ПФОД из (3), то все полученные системы устойчивы со всеми возможными вариантами рассмотренных моделей. Кроме того, можно заметить, что во всех случаях переходные процессы не хуже, чем в случае использования этой расчетной модели.

Используем модель (2), (4) для расчета регулятора и затем используем полученный регулятор во всех исследованных вариантах модели объекта. Результаты показаны на Рис. 9, 10 и 11. Видно, что при использовании этой модели для расчета регулятора получаются такие регуляторы, с которыми объекты по модели (2), (3) и по модели (2), (5) неустойчивы. Устойчивыми оказываются только система с объектом по используемой модели (2), (4), а также система с исходным объектом (1).

Вывод 3. Если регулятор рассчитывать по модели с использованием ПФОД из (4), то полученные системы чаще всего не устойчивы: устойчивой остается лишь система с объектом с этой моделью и система с исходным объектом (1).

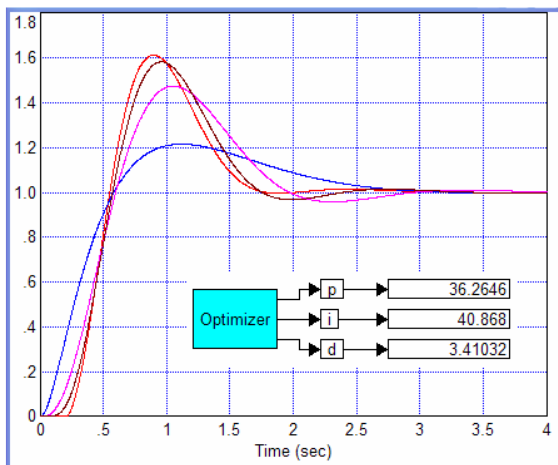


Рис. 8. Переходный процесс в системах со всеми четырьмя моделями при использовании регулятора, рассчитанного по модели (2), (3): красный – (2), (3); синий – (1); розовый – (2), (4), черный – (2), (5)

Теперь используем модель (2), (5) для оптимизации регулятора. Результаты показаны на Рис. 12. Все полученные переходные процессы удовлетворительны, все полученные системы устойчивы.

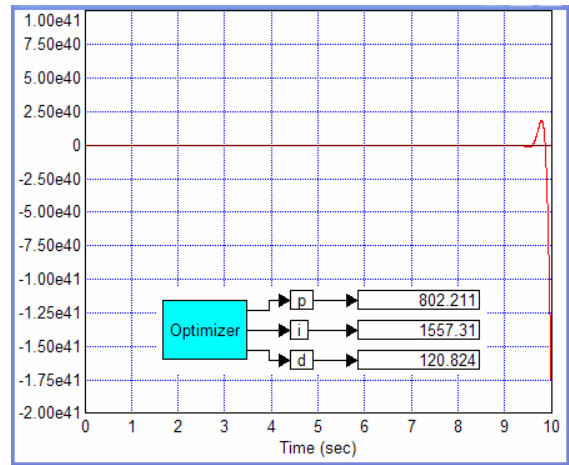


Рис. 9. Переходный процесс в системе с моделью (2), (3) при использовании регулятора, рассчитанного по модели (2), (4)

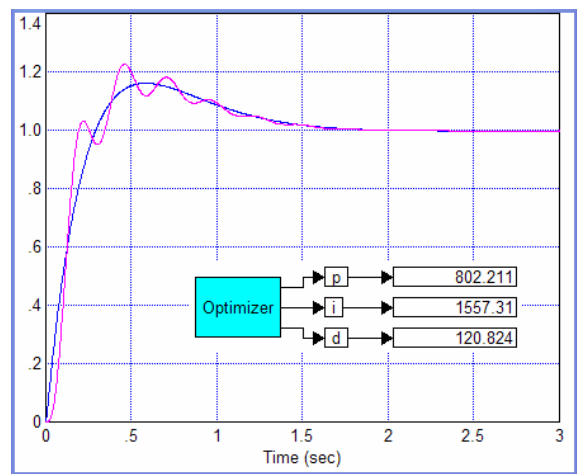


Рис. 10. Переходный процесс в системах с моделью (1) (синий) и с моделью (2), (4) при использовании регулятора, рассчитанного по модели (2), (4)

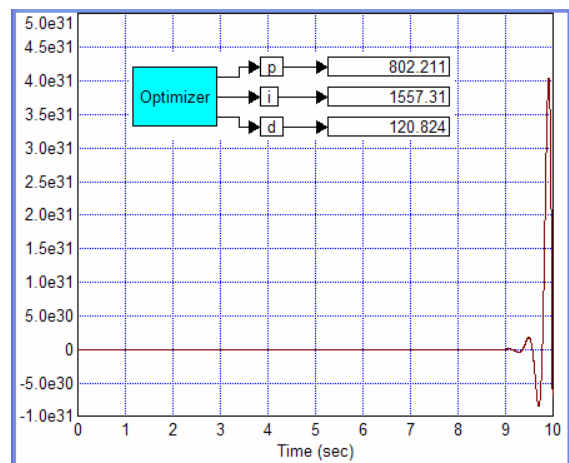


Рис. 11. Переходный процесс в системе с моделью (2), (5) при использовании регулятора, рассчитанного по модели (2), (4)

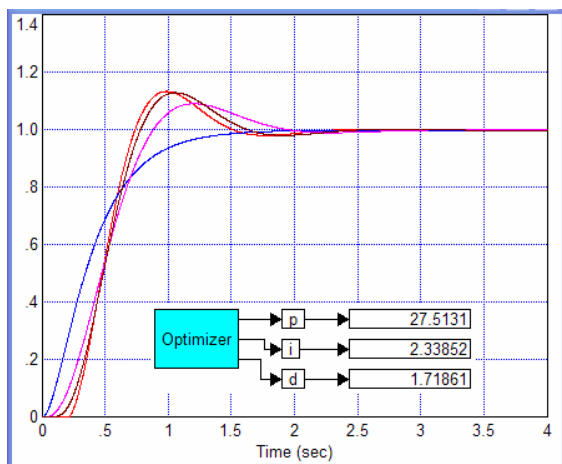


Рис. 12. Переходный процесс в системах со всеми четырьмя моделями при использовании регулятора, рассчитанного по модели (2), (5): красный – (2), (3); синий – (1); розовый – (2), (4), черный – (2), (5)

Вывод 4. Если регулятор рассчитывать по модели с использованием ПФОД из (5), то все полученные системы устойчивы со всеми возможными вариантами рассмотренных моделей. Кроме того, можно заметить, что почти во всех случаях переходные процессы не хуже, чем в случае использования этой расчетной модели. В системе с моделью (2), (3) переходный процесс характеризуется несущественно большим перерегулированием и при этом несущественно большим быстродействием, эти отличия пренебрежимо малы.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании проведенного модельного исследования можно сделать общий вывод о следующем:

Вывод 5. При идентификации объекта, как правило, удовлетворяются принятием такой передаточной функции, которая имеет наиболее простой вид. Эта идеальная гипотеза принципиально не верна (для бесконечного диапазона частот), поэтому результат ее использования для численной оптимизации регулятора может оказаться неприменимым к реальной системе с реальным объектом.

Для иллюстрации проблемы на Рис. 13 и 14 показаны условно логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) и логарифмическая фазочастотная характеристика (ЛФЧХ). Указанный гипотетический вид принимаемых ЛАЧХ и ЛФЧХ условно показан на Рис. 13 и 14 синими линиями.

Возможные крайние границы реальных ЛАЧХ и ЛФЧХ показаны линиями 2 и 3.

Модель (2), (3) не изменяет ЛАЧХ, но видоизменяет ЛФЧХ в наивысшей степени. Остальные модели изменяют обе эти характеристики, но при этом модель (2), (4)

изменяет ЛФЧХ в меньшей степени, чем модель (2), (5).

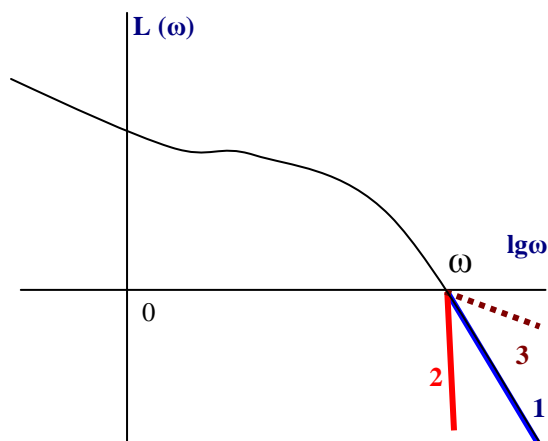


Рис. 13. Пример асимптотической амплитудно-частотной характеристики в логарифмическом масштабе: 1 – гипотеза ограниченного порядка объекта; 2 – гипотеза усеченной ЛАЧХ (наихудший вариант, нижняя граница), 3 – верхняя граница возможного вида истинной характеристики

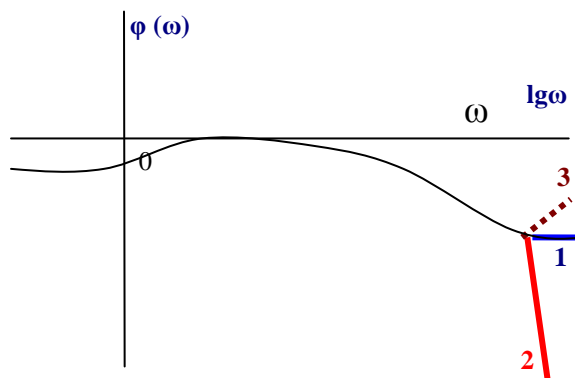


Рис. 14. Пример асимптотической фазочастотной характеристики в логарифмическом масштабе: 1 – гипотеза ограниченного порядка объекта; 2 – гипотеза усеченной ЛФЧХ (наихудший вариант, нижняя граница), 3 – верхняя граница возможного вида истинной характеристики

Вывод 6. Использование передаточной функции с ограниченным быстродействием в качестве добавки к усеченной модели дает свой полезный эффект, а именно: результаты численной оптимизации регулятора с использованием полученной модели применимы к большей части возможных реальных характеристик объекта, что дает основания предполагать, что они применимы и к реальному объекту. Наиболее эффективны в этом случае ПФОД с более резким затуханием фазочастотной характеристики, а именно: звено чистого запаздывания или фильтр четвертого порядка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по государственному заданию №2014/138, тема проекта «Новые структуры, модели и алгоритмы для прорывных методов управления техническими системами на основе наукоемких результатов интеллектуальной деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем. Изд-во БХВ-Петербург, 2004. - 601 с.
- [2] Заворин А. Н., Ядрышников О. Д. Исследования влияния высокочастотной области ЛАЧХ на качество переходных процессов на примере систем с минимально-фазовыми звеньями / Сб. науч. тр. НГТУ. – 2011. – № 3 (65). – С. 19–36.
- [3] Жмудь В. А. Моделирование, исследование и оптимизация замкнутых систем автоматического управления. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2012. 335 с.
- [4] Жмудь В.А. Динамика мехатронных систем: учеб. пособие / В.А. Жмудь, Г.А. Французова, А.С. Востриков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 176 с. ISBN 978-5-7782-2415-5.
- [5] А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Сходимость алгоритмов оптимизации регулятора для объекта с ограничителем и с запаздыванием. Научный вестник НГТУ. - 2007. - N 4(29). с.179-184.
- [6] V. A. Zhmud. The Use of the Feedback Control Systems in Laser Physics Researching Experiments. // Proceedings of RFBR and DST Sponsored “The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics”, 10 – 13 September, 2011, Additional volume, pp.40–43.
- [7] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud, R.Y. Ishimtsev, V.M. Semibalamut. The modeling tests of the new PID-regulators structures. 2009. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P.165 – 168.
- [8] V.A. Zhmud, O.D. Yadrishnikov, A.V. Polishchuk, A.N. Zavorin. Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators. 2012. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.
- [9] V.A. Zhmud, A.V. Liapidevskiy, E.V. Prokhorenko. The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program vissim 5.0/6. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. PP. 27–32.
- [10] V.A. Zhmud, O.D. Yadrishnikov. Numerical optimization of PID-regulators using the improper moving detector in cost function. Proceedings of the 8-th International Forum on Strategic Technology 2013 (IFOST-2013), vol. II, 28 June – 1 July. Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaator, Mongolia. IEEE organized. 2013. P. 265 – 270. <http://www.must.edu.mn/IFOST2013/>
- [11] V.A. Zhmud, A.V. Polishchuk, A.A. Voevoda, R. V. Rao. The Tuning of the PID-Regulator for Automatic Control System of Thermo Energetic Equipment // Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2011), June 06-08, 2011. Surat – 395 007,

Gujarat, India. pp. 254-263.

- [12] В.А. Жмудь, А.Н. Заворин. Метод проектирования энергосберегающих регуляторов для сложных объектов с частично неизвестной моделью. В кн.: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XVI Международной конференции 30 июня – 03 июля 2014 г., Самара. Россия. С. 557–567.
- [13] V.A. Zhmud, A.N. Zavorin. Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati. Italian Science Review. 2014; 4(13). PP. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhmud.pdf> and <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>
- [14] А.С. Востриков, А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Эффект понижения порядка системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник НГТУ. - 2005. - N 3(21). с.3-21.
- [15] А.А. Воевода, В.А. Жмудь. Сохранение и повышение порядка асимптотического уравнения системы при управлении по методу разделения движений. Научный вестник НГТУ. - 2006. - N 1(22). с.3-9.



Александр Николаевич Заворин – аспирант кафедры Автоматики НГТУ, автор более 17 научных статей. Область научных интересов и компетенций – теория автоматического управления, оптимальные и адаптивные системы, оптимизация, многоканальные системы.
E-mail: pisatel1987@mail.ru



Вадим Аркадьевич Жмудь – заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук. Область научных интересов и компетенций – теория автоматического управления, электроника, лазерные системы, оптимизация, измерительная техника.
E-mail: oao_nips@bk.ru

About Truncated Model of Controlled Object

A.N. ZAVORIN, V.A. ZHMUD

Abstract: This paper considers the problem of incomplete identification, which should be solved by using the method of numerical optimization controllers for real objects. The problem is that there is always such a high-most portion of the model which is not determined as the result of identification. Usually, it is considered such that corresponds to the simplest model, i.e., for example, it is believed that the high-frequency region does not have any kinks logarithmic amplitude-frequency characteristics and the additional phase shift increments. Although this

hypothesis and provides the most simple record of the object model, it is not true. Therefore, measures are needed to achieve compliance with the result of the optimization of its practical application. The article proposes an effective method of solution of this problem.

Key words: automatic control, controller, single-channel system, the truncated identification, astatic system, minimum-phase units, frequency method, the analytical method.

REFERENCES

- [1] E.A. Nikulin. Fundamentals of the theory of automatic control. Frequency methods of analysis and synthesis systems. Publishing House of the BHV-Petersburg, 2004. - 601 p.
- [2] A.N. Zavorin, O.D. Yadrishnikov. Studies of the effect of high-frequency field LACHH the quality of transients on the example of systems with minimum-phase units / Coll. scientific. tr. NSTU. - 2011. - № 3 (65). - p. 19-36.
- [3] V.A. Zhmud. Simulation study and optimization of closed systems of automatic control. Novosibirsk, Publishing House of the NSTU, 2012. 335 p.
- [4] V.A. Zhmud, G.A. Frantsuzova, A.S. Vostrikov. Dynamics of mechatronic systems: Proc. Manual. Novosibirsk: Publishing House of the NSTU, 2014. - 176 p. ISBN 978-5-7782-2415-5.
- [5] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud. The convergence of the optimization algorithms for object control with limiter and delay. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2007. - N 4 (29). p.179-184.
- [6] V. A. Zhmud. The Use of the Feedback Control Systems in Laser Physics Researching Experiments. // Proceedings of RFBR and DST Sponsored "The 2-nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics", 10 – 13 September, 2011, Additional volume, p.40–43.
- [7] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud, R.Y. Ishimtsev, V.M. Semibalamut. The modeling tests of the new PID-regulators structures. 2009. Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2009. P.165 – 168.
- [8] V.A. Zhmud, O.D. Yadrishnikov, A.V. Poloshchuk, A.N. Zavorin. Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators. 2012. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.
- [9] V.A. Zhmud, A.V. Liapidevskiy, E.V. Prokhorenko. The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program vissim 5.0/6. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. PP. 27–32.
- [10] V.A. Zhmud, O.D. Yadrishnikov. Numerical optimization of PID-regulators using the improper moving detector in cost function. Proceedings of the 8-th International Forum on Strategic Technology 2013 (IFOST-2013), vol. II, 28 June – 1 July. Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaator, Mongolia. IEEE organized. 2013. P. 265 – 270. <http://www.must.edu.mn/IFOST2013/>
- [11] V.A. Zhmud, A.V. Polishchuk, A.A. Voevoda, R. V. Rao. The Tuning of the PID-Regulator for Automatic Control System of Thermo Energetic Equipment // Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME-2011), June 06-08, 2011. Surat – 395 007, Gujarat, India. pp. 254-263.
- [12] V.A. Zhmud, A.N. Zavorin. Method of designing energy-efficient controllers for complex objects with partially unknown model. Proc. : The control and modeling in complex systems. Proceedings of the XVI International Conference June 30 - July 3, 2014, Samara. Russia. p. 557-567.
- [13] V.A. Zhmud, Zavorin A.N. Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati. Italian Science Review. 2014; 4(13). PP. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhmud.pdf> and <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>
- [14] A.S. Vostrikov, A.A. Voevoda, V.A. Zhmud. The effect of reducing the order of the system that is controlled by the method of separation of motions. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2005. - N 3 (21). p.3–21.
- [15] A.A. Voevoda, V.A. Zhmud. Maintenance and improvement of the order of the asymptotic equation of the system that is controlled by the method of separation of motions. Scientific Bulletin of the NSTU. - 2006. - N 1 (22). p.3–9.