

# Использование обводного канала для управления с обратной связью колебательным объектом, известным как сложный для управления объект

Вадим Жмудь, Любомир Димитров, Виталий Трубин  
ФГБОУ ВО «НГТУ», Новосибирск, Технический университет Софии, Болгария

**Аннотация:** В статье осуществляется проектирование регулятора для сложного неустойчивого объекта управления. Расчет осуществляется методом численной оптимизации с использованием структуры регулятора, содержащей обводной канал. Идея обводного канала развивает идею предиктора Смита, но, в отличие от этого предиктора, его модель рассчитывается по более гибким алгоритмам, кроме того, данный метод не требует присутствия звена чистого запаздывания в модели объекта. Это делает обводной канал более гибким и более эффективным, чем предиктор Смита. Модель объекта взята из перечня известных моделей, представляющих сложность вследствие сильной склонности к колебаниям. Ранее предпринятые попытки проектирования регулятора для этого объекта неудовлетворительны. В данной статье показана эффективность использования для этой задачи обводного канала. Результаты подтверждены моделированием.

**Ключевые слова:** управление с обратной связью, регулятор, моделирование, обводной канал, предиктор Смита

## ВВЕДЕНИЕ

Методы проектирования регуляторов для управления объектами в контуре обратной с связью бурно развиваются. Инструментарий таких методов уже достаточно велик. Он включает аналитические методы, а также методы численной оптимизации. И все же этот инструментарий недостаточен, поскольку имеется ряд задач, которые не решены удовлетворительно до настоящего времени. В работе [1] предложено составить и использовать некий банк моделей объектов, то есть набор таких математических моделей объектов, для которых не найдены удовлетворительные модели регуляторов. На этой основе для сравнения различных методов проектирования регуляторов достаточно применить их к наиболее трудным объектам, взятым из этого банка. В частности, в работе [1] предложено включить в указанный банк объектов математическую модель объекта, взятую из работы [2]. В работах [1–3] предприняты попытки

проектирования регулятора для этого объекта с той или иной степенью успешности. По результатам можно отметить, что для преодоления обратного перерегулирования приходится использовать регуляторы чрезвычайно высокого порядка или иные методы проектирования сложных регуляторов. В данной статье исследуется возможность использования для этой задачи обводного канала [4–6].

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Как правило, обратная связь необходима для управления объектом, на который действует неизвестная помеха  $H(t)$ . В этом случае на входе объекта включается регулятор, выходной сигнал объекта  $Y(t)$  сравнивается с заданием  $V(t)$  путем вычитания первого из второго. Результат вычитания называется ошибкой управления  $E(t)$ . Эта ошибка подается на вход регулятора, на выходе которого формируется управляющий сигнал  $U(t)$ , поступающий на вход объекта. Проблема состоит в том, чтобы рассчитать такую математическую модель регулятора, чтобы в контуре было большое усиление, и при этом контур оставался устойчивым. В случае обеспечения этих двух требований выходной сигнал объекта почти полностью повторяет задание.

Типичная структура системы с обратной связью показана на *Рис. 1*. На этом рисунке применено типовое обозначение сигналов:  $X(t)$  – выходной сигнал объекта без учета помехи  $H(t)$ ,  $V(t)$  – задание,  $Y(t)$  – выходной сигнал объекта,  $E(t)$  – ошибка управления,  $U(t)$  – управляющий сигнал.

Сложность решения задачи управления определяется сложностью модели объекта. Если модель объекта такова, что на выходе объекта даже при малых входных сигналах формируется несколько колебаний различных частот, с нарастающими амплитудами, то есть объект неустойчив, то управление таким объектом может оказаться достаточно сложным, хотя это не обязательно. Модели некоторых объектов могут по внешнему виду математической записи отличаться несущественно, но при этом расчет регулятора для одних таких объектов может быть крайне простым, а для других чрезвычайно сложным.

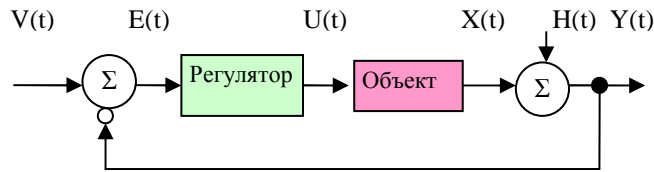


Рис. 1. Традиционная структура системы с обратной связью

Например, рассмотрим объект, передаточная функция которого имеет вид рациональной дроби в области преобразований Лапласа [1]:

$$W_1(s) = \frac{b_0 + b_1s + \dots + b_ms^m}{a_0 + a_1s + \dots + a_ns^n}. \quad (1)$$

Здесь  $m$  и  $n$  – порядок числителя и знаменателя,  $s$  – аргумент преобразования Лапласа. Его также можно интерпретировать как символ дифференцирования. Умножение на  $s$  означает дифференцирование сигнала, а деление на  $s$  означает интегрирование и так далее.

Если все коэффициенты полиномов в числителе и знаменателе положительны, объект может оказаться довольно простым для управления. Но и в этом случае сочетание коэффициентов может быть таким, что управление таким объектом усложнится. Если же среди коэффициентов имеются нулевые и тем более – отрицательные коэффициенты, то проектирование регулятора может оказаться крайне сложным.

Например, проектирование регулятора методом численной оптимизации предполагает запуск периодической процедуры имитационного моделирования системы с изменяющимися коэффициентами модели регулятора и отыскание такого набора коэффициентов этой модели, который обеспечит минимум заранее заданной стоимостной функции. На вход системы при этом поступает, например, ступенчатый скачок. В качестве модели регулятора может быть взята, например, модель ПИД-регулятора в следующем виде:

$$W_R(s) = \left[ K_P + \frac{K_I}{s} + sK_D \right]. \quad (2)$$

Здесь  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  – коэффициенты, которые следует отыскать. При каждом запуске формируется новый набор значений этих коэффициентов, а по результату моделирования вычисляется некоторая наперед заданная стоимостная функция, зависящая от вида изменений сигнала на выходе системы, то есть от переходного объекта. В качестве стоимостной функции  $F(T)$ , например, может быть взят интеграл от модуля ошибки, умноженного на время с момента начала скачка.

$$F(T) = \int_0^T |e(t)| \cdot t \, dt. \quad (3)$$

Здесь  $T$  – время моделирования переходного процесса.

В статье исследуется возможность решения задачи управления объектом, передаточная функция которого отнесена в работах [1, 2] к сложным, а именно:

$$W_1(s) = \frac{s^3 + 4s^2 - s + 1}{s^5 + 2s^4 + 32s^3 + 14s^2 + 50}. \quad (4)$$

Сложность объекта состоит в том, что при численной оптимизации регулятора в итоге получается система, склонная к обратному перерегулированию. Но и прямое перерегулирование также велико. Обратное перерегулирование – это движение выходной величины в обратном направлении по отношению к тому, в котором она должна изменяться, а прямое перерегулирование – это движение выходной величины после достижения требуемого значения далее, за уровень этого предписанного значения. Оба эти вида перерегулирования крайне нежелательны.

В работе [3] борьба с обоими видами перерегулирования осуществляется путем повышения порядка регулятора, где наряду с первой производной используется вторая, третья и даже четвертая производная ошибки. Это чрезвычайно усложняет регулятор, а кроме того, как показано в этой статье, дифференцирование резко подчеркивает шумы, вследствие чего его можно осуществлять лишь в строго ограниченной полосе частот. Этот метод также недостаточно эффективен, хотя и очень сложен.

## 2. МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

В данной статье предлагается использовать простой ПИД-регулятор вида (2) дополненный обводным каналом [4–6], который включается параллельно объекту управления. Эта методика дополняет ряд схемотехнических приемов для проектирования регуляторов [7–14].

Для оптимизации предлагается использовать программу *VisSim*, поскольку она предоставляет все необходимые функции моделирования и оптимизации регулятора. При этом исследователь должен задать лишь модели объекта, регулятора и всех прочих элементов системы, модель стоимостной функции, метод интегрирования, метод оптимизации, время моделирования. От этого выбора зависит результат численной оптимизации.

Предлагается использовать обводной канал, который является развитием идеи предиктора Смита. Структурная схема системы с использованием предиктора Смита показана на

Рис. 2. Это устройство может быть реализовано лишь при условии, что объект содержит звено чистого запаздывания, например, передаточная функция объекта равна произведению двух функций:

$$W(s) = W_1(s)W_2(s). \quad (5)$$

При этом первый множитель определен, например, соотношением (1), а второй множитель имеет следующий вид:

$$W_2(s) = \exp(-s\tau). \quad (6)$$

Уравнение предиктора Смита в этом случае имеет следующий вид [5]:

$$W_{PS}(s) = W_1(s)[1 - W_2(s)]. \quad (7)$$

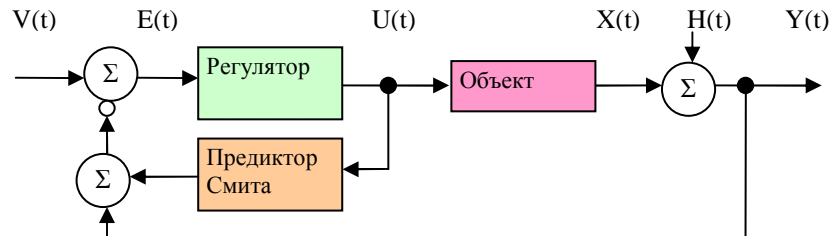


Рис. 2. Структура системы с предиктором Смита

Нетрудно видеть, что суммарная передаточная функция двух каналов, то есть канала объекта и канала предиктора Смита, в сумме равна передаточной функции вида (1) и свободна от множителя вида (6). Действительно,

$$\begin{aligned} W(s) + W_{PS}(s) &= \\ &= W_1(s)W_2(s) + W_1(s) - W_1(s)W_2(s), \\ W(s) + W_{PS}(s) &= W_1(s). \end{aligned} \quad (8)$$

Исходя из этого, можно считать, что предиктор Смита позволяет скомпенсировать влияние запаздывания на работу контура стабилизации.

Все же ситуация не столь хороша, как следует из соотношения (8). Во-первых, выходной сигнал сумматора, который суммирует выходной сигнал объекта с выходным сигналом предиктора Смита, все же не является выходным сигналом объекта (и системы), поэтому устойчивость системы в целом не гарантирует качественного переходного процесса. Этот недостаток относится и к системе с использованием обводного канала, что учитывается в дальнейших исследованиях. Во-вторых, если в модели объекта нет запаздывания, то  $W_2(s) = 1$ , откуда следует  $W_{PS}(s) = 0$ , то есть предиктор Смита не может быть применен.

Обводной канал, предложенный в работах [5–8], вычисляется на основе следующих принципов:

1. Низкочастотная часть частотной характеристики этого канала должна быть намного ниже низкочастотной части частотной характеристики объекта.

2. Высокочастотная часть частотной характеристики этого канала должна быть намного больше высокочастотной части частотной характеристики объекта, и при этом быть такой, чтобы замкнутый контур был устойчив с наилучшим качеством.

Структурная схема системы с применением обводного канала показана на Рис. 3.

Данный метод разработан для случая, когда амплитудно-частотная характеристика объекта на некоторых частотах резко уменьшается по величине и фазочастотная характеристика, начиная с некоторых частот, резко возрастает по величине. В этом случае обеспечение устойчивости затруднительно. Обводной канал, имея большую по величине амплитудно-частотную характеристику в высокочастотной области, оказывает решающее значение на устойчивость, поскольку в сравнении с выходным сигналом этого канала выходным сигналом объекта в высокочастотной области можно пренебречь. Это позволяет обеспечить устойчивость контура управления даже в том случае, когда частотная характеристика объекта в наибольшей степени не соответствует требованиям к ней для обеспечения устойчивости и качества управления. Таким образом, контур остается устойчивым. Вместе с тем, поскольку амплитудно-частотная характеристика обводного канала пренебрежимо мала в сравнении с амплитудно-частотной характеристикой объекта в низкочастотной области, то в этой области присутствие обводного канала не сказывается. Сигнал на выходе сумматора в этой области частот в основном определяется выходным сигналом объекта.

Применительно к решаемой нами задаче можно расширить концепцию обводного канала до следующей:

1. Требование 1 сохраняется полностью.
2. Требование 2 модифицируется до следующего требования: «Передаточная функция обводного канала делается такой, что её сумма с передаточной функцией объекта дает объект, управление которым в контуре с отрицательной обратной связью успешно обеспечивается любым

из методов, например, методом численной оптимизации регулятора».

Данная модификация этого требования более широка. В исходной концепции обводной канал дорабатывает только высокочастотную часть передаточной функции объекта до такой передаточной функции, которая более удобна для синтеза эффективного регулятора. В новой концепции обводной канал может содержать любые слагаемые, которые в сумме с передаточной функцией объекта дадут новую передаточную функцию, более удобную для управления, причем эти слагаемые не обязательно только относятся к высокочастотной части модели объекта.

Таким образом, в данной статье предложен модифицированный подход к проектированию системы с использованием обводного канала.

В частности, одним из возможных способов расчета передаточной функции обводного канала может быть следующий алгоритм.

1. Вначале отыскивается желаемая передаточная функция  $W_D(s)$ , то есть функция, наиболее близкая к передаточной функции объекта, но более удобная для проектирования регулятора.

2. Вычитанием передаточной функции объекта из полученной желаемой передаточной функции получается предварительная передаточная функция обводного канала.

$$W_{BC}(s) = W_D(s) - W(s). \quad (8)$$

3. Если полученная передаточная функция не слишком удобна для реализации, то окончательный ее вид может быть получен с помощью некоторого упрощения при соблюдении следующего правила: если в некотором частотном диапазоне полученная в пункте 2 передаточная функция намного меньше, чем передаточная функция объекта (в 30 и более раз), то в этой области частот ее можно изменять произвольно, при условии сохранения этого свойства, то есть чтобы эта функция оставалась намного меньше передаточной функции объекта (в 30 и более раз).

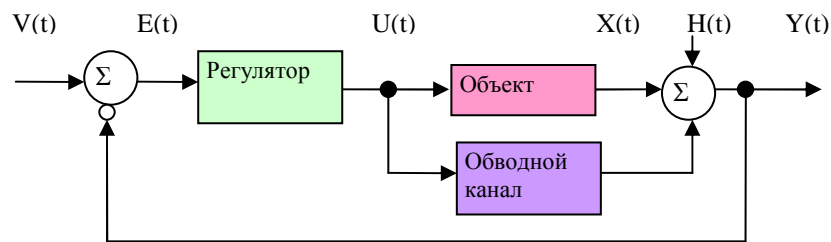


Рис. 3. Структура системы с обводным каналом

### 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОБВОДНОГО КАНАЛА

Предварительными исследованиями выяснено, что наиболее неблагоприятный фактор в модели объекта вида (4) – это отрицательный знак коэффициента полинома в числителе. Если знак перед членом в первой степени заменить на противоположный, то проектирование регулятора методом численной оптимизации дает удовлетворительный результат. Из этого следует, что в качестве передаточной функции обводного канала может служить дробная функция, знаменатель которой совпадает со знаменателем передаточной функции объекта, а в числителе стоит «+2s». Отсутствие в числителе свободного члена автоматически приводит к удовлетворению первого условия, поскольку в области низких частот значение такой передаточной функции асимптотически стремится к нулю.

### 4. ПРИМЕР 1

Осуществим расчет регулятора, включающего наряду с пропорциональным и интегральным каналами каналы производных, с первой по четвертую включительно, как в статье [3].

Соответствующая структурная схема для моделирования и оптимизации в программе VisSim показана на Рис. 4. Получаемый переходный процесс показан на Рис. 5. Важно отметить, что процесс на выходе сумматора, который суммирует выходной сигнал объекта и выходной сигнал обводного канала, не существенен для оценки качества системы. Это всего лишь сумма реального и виртуального сигналов. Важен выходной сигнал объекта. Поэтому хотя система достаточно успешно осуществляет управление составным объектом, содержащим наряду с реальным объектом и обводной канал, результат следует оценивать по переходному процессу на выходе объекта.

Из анализа сигнала на Рис. 5 видно, что выходной сигнал составного объекта характеризуется высоким качеством, а именно: перерегулирование не превышает 10 %, отличие этого сигнала от единичного скачка несущественно, то есть ошибка почти полностью равна нулю после двенадцатой секунды от начала переходного процесса. При этом обратное перерегулирование отсутствует, а обратное отклонение от предписанного значения после первого положительного перерегулирования также не превышает 10 %. Переходный процесс

на выходе реального объекта намного менее привлекателен, а именно: перерегулирование составляет 40 %, обратное перерегулирование отсутствует, но обратное отклонение составляет

около 85 %. Второе обратное отклонение немногим менее 20 %, второе перерегулирование немногим меньше 10 %.

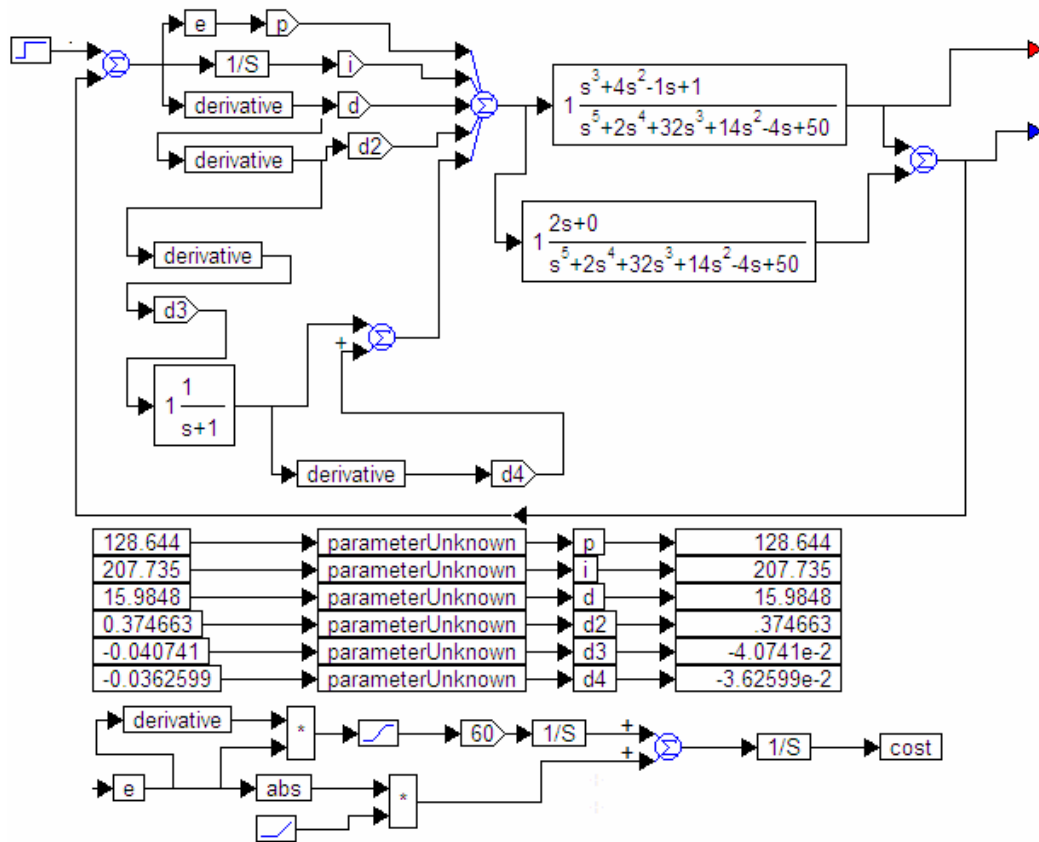


Рис. 4. Структурная схема системы с ПИД<sup>4</sup>-регулятором

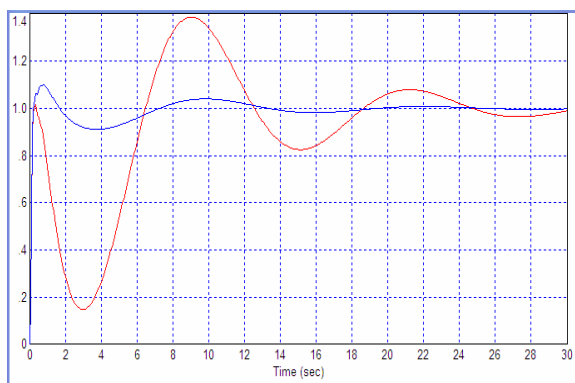


Рис. 5. Переходные процессы в системе по Рис. 4: синяя кривая – суммарный выход, красная кривая – выход объекта

Длительность переходного процесса при этом более 30 секунд. Все же достоинство этого метода состоит в том, что результат получен достаточно легко, обратное перерегулирование отсутствует полностью (можно говорить о запасе около 15 %, то есть выходная величина не достигает своего стартового значения на величину 15 %, что позволяет говорить о надежном и достоверном

отсутствии обратного перерегулирования). К недостаткам этого решения следует отнести излишнюю сложность регулятора, поскольку в этом случае наряду с ПИД-регулятором четвертого порядка, то есть с ПИД<sup>4</sup>-регулятором, используется дополнительно обводной канал пятого порядка.

## 5. ПРИМЕР 2

Рассмотрим решение этой же задачи этим же путем при использовании простого ПИД-регулятора [7–9]. При этом используем при расчете стоимостной функции не сигнал виртуальной ошибки  $E(t)$ , который вычисляется путем вычитания из сигнала задания выходного сигнала составного объекта, а сигнал фактической ошибки  $E_1(t)$ , который специально вычисляется для этих целей путем вычитания из сигнала задания фактического выходного сигнала объекта. Структурная схема для этого случая не показана, поскольку все модификации ее понятны из текста. Получаемый переходный процесс показан на Рис. 6. Видно, что в результате сигнал на выходе составного объекта, как и сигнал на выходе фактического объекта не изменились по



основным параметрам. В данном случае время моделирования увеличено, чтобы показать наглядно, то по истечении 40 секунд оба переходный процессы практически сливаются, ошибка управления близка к нулю, так как выходной сигнал объекта близок к единице.

При использовании промежуточных видов регуляторов, а именно, ПИД<sup>2</sup> и ПИД<sup>3</sup>, результаты приблизительно совпадают. В отношении результата с простейшим вариантом, то есть с ПИД-регулятором, можно сделать вывод, что полученный регулятор практически не уступает по своим параметрам всем рассмотренным выше регуляторам, хотя намного проще и не требует даже второго порядка дифференцирования. Этот регулятор намного проще рассчитывать, процедура его численной оптимизации почти самоочевидна с учетом идеи его проектирования, изложенной в трех тезисах в конце раздела IV.

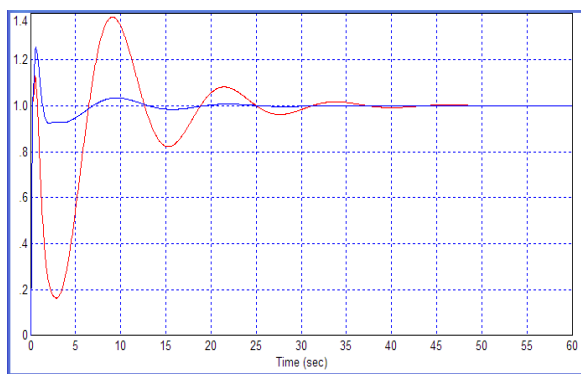


Рис. 6. Переходные процессы в системе по Примеру 2: синяя кривая – суммарный выход, красная кривая – выход объекта

### 6. ПРИМЕР 3.

Дальнейшие шаги по улучшению этого результата могут быть предприняты на путях отыскания других передаточных функций, также близких к передаточной функции объекта, и дающих возможность простого синтеза регулятора. В частности, не обязательно в числителе отрицательный коэффициент заменять на положительный с той же величиной, можно было бы, например, положить этот коэффициент равным 0,5 или другой величине, больше или меньше единицы. От этого выбора трудоемкость синтеза не изменится, но результат может оказаться существенно другим. Рассмотрим решение этой же задачи этим же путем при использовании другого коэффициента в числителе обводного канала, а именно, вместо 2 используем  $a_2 = 2,5$ ;  $a_2 = 3$  и  $a_2 = 3,5$ . Результаты показаны на Рис. 7. Видно, что перерегулирование можно снизить до 10 %, но при этом несколько увеличивается обратное отклонение, хотя обратного перерегулирования не возникает.

Для сравнения на Рис. 8 показан переходный процесс, полученный в статье [3] для системы с этим же объектом. Этот процесс явно хуже, поскольку перерегулирование составляет 60 %, длительность процесса около 40 секунд.

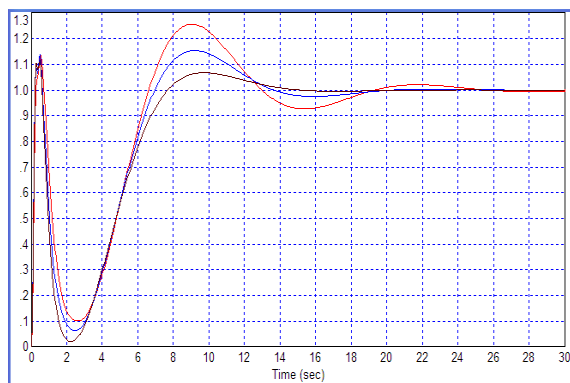


Рис. 7. Переходные процессы в системе по Примеру 3: красная кривая –  $a_2 = 2,5$ ; синяя кривая –  $a_2 = 3$  и черная кривая  $a_2 = 3,5$

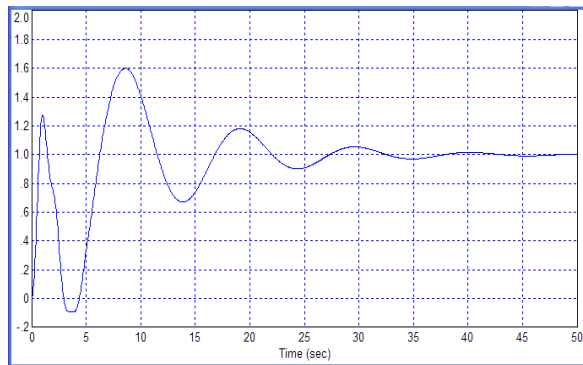


Рис. 8. Переходные процессы в системе с тем же объектом в соответствии со статьей [3]

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложена модификация регулятора с обводным каналом, которая успешно применена для синтеза управления объектом, известным как сложный объект, управление которым представляет сложную задачу вследствие обратного перерегулирования. В результате применения предложенного регулятора обратное перерегулирование устранено. Метод исследован математическим моделированием.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ, проект 2014/138, название проекта: «Новые структуры, модели и алгоритмы для прорывных методов управления техническими системами на основе наукоемких результатов интеллектуальной деятельности».

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д.С. Саленко, Н.А. Малышкин, Л.В. Димитров. О создании банка моделей объектов для сопоставления методов проектирования

- регуляторов: скалярный случай. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 2 (12). С. 40–53.
- [2] Nusret Tan, Derek P. Atherton. Design of PI and PID controllers. International Journal of Systems Science. Vol.37, No. 8, June 2006. p. 543–554.
- [3] Д.С. Саленко, Н.А. Малышкин. Особенности численной оптимизации в программе VisSim ПИД-регулятора с высшими производными. Автоматика и программная инженерия. 2015. № 4 (14). С. 72–82.
- [4] V.A. Zhmud, V.M. Semibalamut, A.A.Voevoda, R.Yu. Ishimtsev. The use of by-pass High-Frequency channel in feedback control systems. // Proceedings of the 17th IASTED International Conference “Applied Simulation and Modeling” (ASM 2008). June 23-25, 2008. Corfu, Greece. P.234 – 238.
- [5] Ишимцев Р.Ю., Воевода А.А., Жмудь В.А. Обводной канал для САУ скалярных и многомерных объектов: сравнение с упредителем Смита // Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск. 2008. 2(52). С.11-22.
- [6] В.А. Жмудь, В.М. Семибаламут, Р.Ю. Ишимцев. Регулятор для системы с обратной связью. Патент РФ RU 2368933 С1. G05B 11/14. Опубл.27.09.09. Бюл. № 27. Заявка № 2008110243, Правообладатель: Институт лазерной физики СО РАН.
- [7] Calculation of robust PID-controller / G. A. Frantsuzova, N. S. Zemtsov, L. Hubka, O. Modrlak // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014) - 2014. – Vol. 1. – P. 675-678. – ISBN 978-1-4799-6019-4, ISBN 978-5-7782-2506-0.
- [8] Vostrikov A.S., Frantsuzova G.A. Synthesis of PID controllers for nonlinear nonstationary plants // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2015. – Vol. 51, iss. 5. – P. 471-477.
- [9] Zemtsov N. S., Frantsuzova G.A. Design of PID-Controller for a Once-Through Boile //Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie, 2015, Vol. 16, no. 9, pp. 631–636. DOI: 10.17587/mau.16.631-636
- [10] В.А. Жмудь. Система с обратной связью. Патент на изобретение № 2540461. Заявка № 2013145173, приоритет от 08.10.2013. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РФ 19 декабря 2014 г. Срок действия патента истекает 08.10.2033. Правообладатель ФГБОУ ВПО НГТУ. МПК G01R 23/02, 3/36. Бюлл. № 4.
- [11] В.А. Жмудь. Система с обратной связью. Патент на изобретение № 2541684. Заявка № 2013146115, приоритет от 15.10.2013. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РФ 15 января 2015 г. Срок действия патента истекает 25.10.2033. Правообладатель ФГБОУ ВПО НГТУ. МПК G01R 23/02, 3/36. Бюлл. № 5.
- [12] В.А. Жмудь. Система с обратной связью. Патент на изобретение № 2566339. Приоритет от 08.10.2013. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РФ 20 октября 2015 г. Бюлл. № 29. Срок действия патента истекает 08.10.2033. Правообладатель ФГБОУ ВПО НГТУ. МПК G01R 23/02, 3/36.
- [13] В.А. Жмудь. Система с обратной связью. Патент на изобретение № 2584925. Приоритет от 05.03.15. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РФ 27.04.16. Бюллетень № 14. Срок действия патента истекает 05.03.35. Правообладатель ФГБОУ ВПО НГТУ. МПК G01R 23/02, G01P 3/36.
- [14] В.А. Жмудь, 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.

- [15] В.А. Жмудь, В.М. Семибаламут. Регулятор для систем с обратной связью. Патент РФ RU 76719 U1. G01R 23/02, G01P 3/36. Опубл.27.09.08. Бюл. № 27. Заявка № 2008108410/22 от 04.03.2008, правообладатель: Институт лазерной физики СО РАН.



**Lubomir Vankov Dimitrov** – Dean of engineering faculty of the Technical University of Sofia, Doctor, Professor, Bulgaria, the author of over 200 scientific articles. Research interests: mechatronics, automation, microelectronic modules and their application (MEMS).  
E-mail: [lubomir\\_dimitrov@tu-sofia.bg](mailto:lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg)



**Вадим Аркадьевич Жмудь** – заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук.  
E-mail: [oao\\_nips@bk.ru](mailto:oao_nips@bk.ru)



**Виталий Геннадьевич Трубин** – зав. лаб. кафедры Автоматики НГТУ, директор ООО «КБ Автоматика».  
E-mail: [trubin@ngs.ru](mailto:trubin@ngs.ru)

## Using of Bypass Channel for Feedback Control of Oscillating Object which is Known as a Complex One

V.A. ZHMUD, L.V. DIMITROV, V.G. TRUBIN

*Abstract* – The paper gives the result of the controller design for complex unstable control object. The calculation is performed by numerical optimization using control structure comprising a bypass channel. The idea of the bypass channel develops the idea of the Smith Predictor, but, unlike the predictor, model is calculated by the more flexible algorithm, moreover, this method does not require the presence of pure delay link in the object model. This makes the bypass channel more flexible and more efficient than a Smith predictor. The object model is taken from a list of well-known models, representing the complexity due to the strong tendency to fluctuations. Earlier attempts to calculate proper controller for this object were unsatisfactory. This paper shows the efficiency of the bypass channel to the said task. The results are confirmed by simulation.

*Key words:* feedback control, control, simulation, bypass channel, Smith predictor

## REFERENCES

- [1] D.S. Salenko, N.A. Malishkin, L.V. Dimitrov. About the Creation of the Bank of Objects Models for the Comparison of Methods for the Design of Controllers:

- Scalar Case. *Automatics & software Engineering*. 2015. N 2(12). P. 40–53. URL: [www.jurnal.nips.ru](http://www.jurnal.nips.ru).
- [2] Nusret Tan, Derek P. Atherton. Design of PI and PID controllers. *International Journal of Systems Science*. Vol.37, No. 8, June 2006. p. 543–554.
- [3] Features of numerical optimization of PID-regulator with higher derivatives in program VisSim D.S. Salenko, N.A. Malishkin *Automatics & software Engineering*. 2015. N 4(14). P. 72–82. URL: [www.jurnal.nips.ru](http://www.jurnal.nips.ru).
- [4] V. A. Zhmud, V.M. Semibalamut, A.A.Voevoda, R.Yu. Ishimtsev. The use of by-pass High-Frequency channel in feedback control systems. // Proceedings of the 17th IASTED International Conference “Applied Simulation and Modeling” (ASM 2008). June 23-25, 2008. Corfu, Greece. P.234 – 238.
- [5] Ishimcev R.Ju., Voevoda A.A., Zhmud V.A. Obvodnoj kanal dlja SAU skaljarnyh i mnogomernyh ob#ektov: sravnenie s upreditelem Smita // Sbornik nauchnyh trudov NGTU. Novosibirsk. 2008. 2(52). S.11-22.
- [6] V. A. Zhmud, V.M. Semibalamut, R.Y. Ishimtsev. The controller for the system with feedback. Russian Federation Patent RU 2368933 C1. G05B 11/14. Opubl.27.09.09. Bull. № 27. The application number 2008110243, Copyright: Institute of Laser Physics SB RAS.
- [7] Calculation of robust PID-controller / G. A. Frantsuzova, N. S. Zemtsov, L. Hubka, O. Modrlak // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014) - 2014. – Vol. 1. – P. 675-678. – ISBN 978-1-4799-6019-4, ISBN 978-5-7782-2506-0.
- [8] Vostrikov A.S., Frantsuzova G.A. Synthesis of PID controllers for nonlinear nonstationary plants // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – 2015. – Vol. 51, iss. 5. – P. 471-477.
- [9] Zemtsov N. S., Frantsuzova G.A. Design of PID-Controller for a Once-Through Boile // *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, Vol. 16, no. 9, pp. 631—636. DOI: 10.17587/mau.16.631-636
- [10] V.A. Zhmud. Feedback system. The patent for the invention № 2540461. Application number 2013145173, priority from 08.10.2013. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation December 19, 2014 term of the patent expires on 10/08/2033. Rightholder VPO NSTU. IPC G05B 13/02.
- [11] V.A. Zhmud. Feedback system. The patent for the invention № 2541684. Application number 2013146115, priority from 10.15.2013. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation January 15, 2015 term of the patent expires on 10/25/2033. Rightholder VPO NSTU. IPC G05B 13/02.
- [12] V.A. Zhmud. System with feedback. Russian Federation Patent N 2566339. MPK G01R 23/02, 3/36. Priority from 08.10.13. Published 20.10.15. Bulletin № 29.
- [13] V.A. Zhmud, A.N. Zavorin. Molel structure for System with feedback optimization. Russian Federation Patent N 2554291. MPK G01R 23/02, G01P 3/36. Priority from 01.04.14. Published 27.06.15. Bulletin № 18.
- [14] V.A. Zhmud. System with feedback. Russian Federation Patent N 2584925. MPK G01R 23/02, G01P 3/36. Priority from 05.03.15. Published 27.04.16. Bulletin № 14.
- [15] V.A. Zhmud, V.M. Semibalamut. Controller for systems with feedback. Russian Federation Patent RU 76719 U1. G01R 23/02, G01P 3/36. Opubl.27.09.08. Bull. № 27. Application № 2008108410/22 from 04.03.2008, the right holder: In-Institute for Laser Physics.