

Управление объектом с линейно нарастающим запаздыванием

В.А. Жмудь
ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

Аннотация – Управление объектом в контуре с отрицательной обратной связью применяется во всех отраслях техники. Обратная связь обеспечивает устранение ошибки, порождаемой неконтролируемым внешним возмущением, прикладываемым к объекту управления. В частности, точное наведение антенны спутника на приемопередатчик позволяет сконцентрировать энергию его передатчика в узконаправленном пучке, что дает существенную экономию излучаемой энергии в режиме передачи и резко повышает чувствительность в режиме приема. Точное наведение этой антенны может быть сделано лишь с использованием обратной связи. Могут быть использованы два варианта автоподстройки, с включением канала передачи в контур и без такого включения. Недостаток варианта с включением канала в контур состоит в непрерывном увеличении величины запаздывания в контуре управления, что может привести к потере устойчивости управления. Недостаток варианта без включения канала в контур состоит в том, что излучающая антенна может настраиваться лишь в направлении источника сигнала, которое может не совпадать строго с корректным направлением на приемник сигнала. Поэтому первый вариант предпочтителен с позиции надежности двусторонней связи, но он требует учета нарастания запаздывания, особенно, в случае удаления спутника от центра связи. Система автоподстройки может быть рассчитана изначально на наихудший случай, то есть на максимальное запаздывание в канале связи. В этом случае в системе всегда ошибка управления будет максимальной. Может оказаться, что на начальном этапе работы помеха выше, поэтому требуется большая эффективность работы обратной связи. Поэтому целесообразно использовать все возможности контура обратной связи, то есть на этапе, когда запаздывание не велико, обеспечивать большую точность подстройки в системе, а по мере возрастания запаздывания уменьшать точность в системе с целью сохранения в ней устойчивости. В данной работе на примере модели с линейно нарастающим запаздыванием исследуется возможность проектирования регулятора с адаптивными свойствами. Такая система обеспечивает сохранение статической точности и устойчивости при

возрастании запаздывания за счет некоторой потери динамической точности. Теория метода подтверждена моделированием. Простые пути моделирования в программе *VisSim* не позволили подтвердить работоспособность метода, но использование некоторых приемов при моделировании позволило получить достоверные результаты, подтверждающие эффективность предложенного метода.

Ключевые слова: управление объектом, объект с запаздыванием, системы с обратной связью, динамическая точность, статическая точность, устойчивость системы

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании системы с отрицательной обратной связью математическая модель объекта чрезвычайно важна. Знание модели позволяет обеспечить устойчивость и требуемую точность системы. Если модель содержит звено чистого запаздывания, это накладывает на регулятор определенные ограничения, поскольку устойчивое управление может быть обеспечено только в относительно узкой полосе частот.

Одна из сфер применения систем с обратной связью – управление настройкой антенны на максимум излучения передатчика. Если система настраивается на максимум сигнала в контуре, который включает прохождение этого сигнала в обе стороны, то по мере удаления объекта, такого как спутник, от центра связи запаздывание этого сигнала увеличивается, что может привести к потере устойчивости в системе.

В данной задаче объект управления следует рассматривать как объект, в котором запаздывание возрастает по мере функционирования этого объекта. Один из вариантов обеспечения устойчивости состоит в расчете на наихудший случай, то есть на наибольшую величину запаздывания. Энергетически этот вариант не самый лучший, поскольку в такой системе ошибка управления всегда будет максимальной, тогда как в адаптивной системе ошибка может изменяться в соответствии с возможностями системы. А именно, пока запаздывание мало, система может обладать более высокой точностью управления, а по мере роста запаздывания в системе ошибка может возрастать, что неизбежно при этих условиях.

В данной статье подобный подход к синтезу системы исследуется методом математического моделирования [1–8]. Моделирование

осуществляется в программе *VisSim*.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим объект управления, математическая модель задана в виде произведения линейной передаточной функции и звена запаздывания. При этом в звене запаздывания величина запаздывания линейно нарастает по мере функционирования объекта. Верхнее значение величины запаздывания ограничено, либо задача управления решается на ограниченном отрезке времени.

К решению данной задачи может быть применен подход, основанный на принципе **робастного** управления, либо подход, основанный на принципе **адаптивного** управления.

В первом случае регулятор рассчитывается для наихудшего значения запаздывания, и система всегда остается устойчивой, хотя и наихудшей из возможной.

Во втором случае используется знание о значении запаздывания, и система изменяет свои параметры за счет изменения коэффициентов регулятора. При таком подходе система может обладать лучшими показателями, пока небольшая величина запаздывания позволяет это обеспечить. По мере роста запаздывания в системе должны изменяться параметры регулятора для того, чтобы обеспечить устойчивость и требуемую статическую точность, пожертвовав для этого динамической точностью. Таким образом, система может потерять со временем быстродействие, но на начальном этапе своего функционирования она реализует максимально возможное быстродействие с использованием всех имеющихся возможностей, предоставляемых текущей моделью объекта.

В качестве примера рассмотрим объект с передаточной функцией следующего вида:

$$W(s) = \frac{\exp\{-\tau(t)s\}}{s+1}. \quad (1)$$

Здесь $\tau(t) = k_0 t$ – изменяющееся во времени запаздывание, в данном случае – линейно нарастающее со скоростью $k_0 = 0.01$. Параметр s – аргумент преобразования Лапласа, t – время с начала переходного процесса.

Целью управления является равенство выходной величины $x(t)$ величине задания $v(t)$. Для отражения динамики изменения погрешности в системе будем использовать задание гармонического вида $v(t) = v_0 \sin w_0 t$. Поскольку система линейная, для ее изучения можно без потери общности положим амплитуду входного сигнала равной единице $v_0 = 1$. Выбор различных значений частоты позволяет оценить частотные свойства системы и зависимость динамической ошибки от частоты этого сигнала. При подавлении возмущения ошибка будет идентичной, поскольку система линейна и в ней имеется лишь один контур обратной связи. Рассматривается функционирование системы на интервале, равном 500 с. Требуется найти наилучшую настройку ПИ-регулятора.

2. ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Управление объектом с запаздыванием может осуществляться в контуре с отрицательной обратной связью, обобщенный вид которого показан на *Рис. 1*.

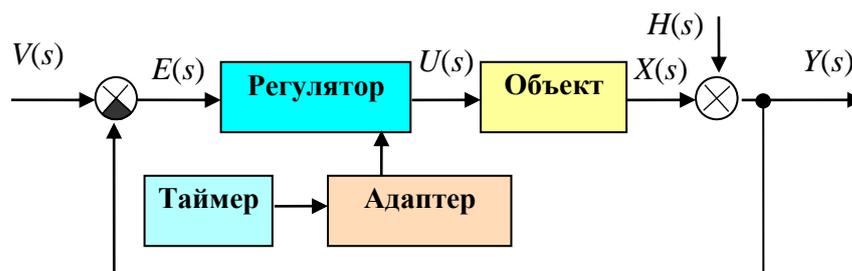


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы с обратной связью: $V(s)$, $E(s)$, $U(s)$, $X(s)$, $H(s)$, $Y(s)$ – традиционные переменные в операторной форме в системе с обратной связью задание, ошибка, управляющий сигнал, состояние, возмущение, выходная величина

Особенностью системы с обратной связью является то, что её устойчивость и точность обеспечиваются правильно рассчитанным последовательным регулятором, включенным на входе объекта. Ошибка в расчете регулятора или недостаточно правильный учет особенностей модели объекта приводит в лучшем случае к потере точности, а в худшем, но наиболее вероятном случае даже к нарушению устойчивости системы, то есть к ее полной

неработоспособности.

Среди регуляторов наиболее распространенным является регулятор с пропорциональным, интегрирующим и дифференцирующим каналами, то есть ПИД-регулятор. Однако при наличии большого запаздывания в модели объекта дифференцирование недостаточно эффективно, поэтому можно ограничиться рассмотрением ПИ-регулятора, содержащего только пропорциональный и интегрирующий

тракты. Интегрирующий тракт при этом обеспечивает отсутствие статической ошибки, с этой целью коэффициент этого тракта должен быть таким, чтобы интегрирующая обратная связь в целом была отрицательной. Пропорциональный тракт обеспечивает уменьшение динамической ошибки.

Методы расчета коэффициентов регулятора подразделяются на численные и аналитические. Применение аналитического метода для объекта с запаздыванием затруднительно, а в случае изменяющегося во времени запаздывания, практически невозможно. Поэтому следует предпочесть численный метод, среди которых наиболее эффективен метод численной

оптимизации в процессе математического моделирования (имитации), например, с использованием программы *VisSim*.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕГУЛЯТОРА

На *Рис. 2* показана структура для моделирования и оптимизации системы, а на *Рис. 3* – внутренняя структура блока «Объект». Частота колебаний задания составляет $\omega_0 = 0.03$, при этом период колебаний приблизительно составляет около $T = 2\pi/\omega_0 \approx 209$ с.

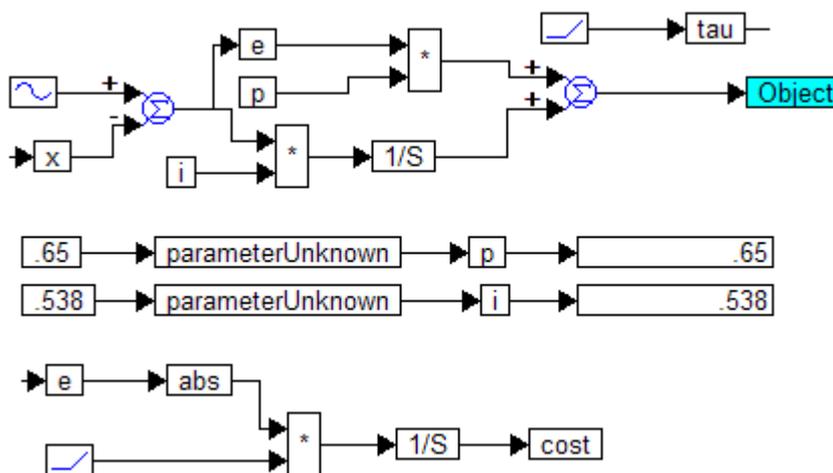


Рис. 2. Структурная схема для моделирования и оптимизации системы с линейно нарастающим запаздыванием

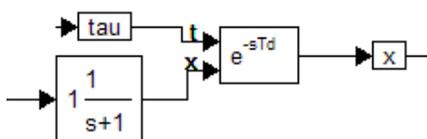


Рис. 3. Внутренняя структура объекта из структурной схемы по *Рис. 2*

При оптимизации использована стоимостная функция следующего вида:

$$\Psi(\Theta) = \int_0^{\Theta} |e(t)| t dt. \quad (2)$$

Здесь Θ – время моделирования переходного процесса, в данном случае $\Theta = 500$ с.

Попытка расчета регулятора методом оптимизации регулятора при заданных условиях не приводит к положительному результату. Однако программа корректно моделирует действие системы с переменным запаздыванием, при условии, что запаздывание кратно шагу интегрирования Δt и не отрицательно $\tau(t) > 0$. То есть аргумент экспоненты в соотношении (1) должен быть отрицательным, поэтому необходимо положительное значение величины запаздывания.

Для отыскания оптимальной настройки

регулятора целесообразно задать постоянное значение величины запаздывания. Можно задать среднее значение этой величины на всем интервале моделирования, а также конечное значение, которое является также и наибольшим. Интуитивно понятно, что наибольшее значение запаздывания даст робастную систему, то есть систему, устойчивую во всем диапазоне значений $\tau(t)$ на интервале моделирования. Использование среднего значения не гарантирует устойчивости системы на всем интервале, но для первой половины интервала это среднее значение одновременно является также и максимальным, поэтому результат дает устойчивое управление на первой половине исследуемого интервала. Графики полученных переходных процессов на *Рис. 4* полностью подтверждают это предположение. При использовании максимального на интервале запаздывания получены значения коэффициентов пропорционального и интегрального трактов регулятора: $k_p = 0,31$, $k_i = 0,068$. Переходный процесс при использовании такого регулятора устойчивый, ошибка управления составляет около 50 %, как показано красной линией на *Рис. 4*.

При использовании среднего значения запаздывания, полученные коэффициенты регулятора равны, соответственно, $k_p = 0,65$,

$k_i = 0,538$. При этом на первой половине переходного процесса ошибка управления заметно ниже, и составляет около 10 %, однако во второй половине переходного процесса устойчивость нарушается, ошибка управления быстро нарастает и намного превышает 100 %, что следует признать недопустимым. Соответствующий график ошибки показан на Рис. 4 синей линией.

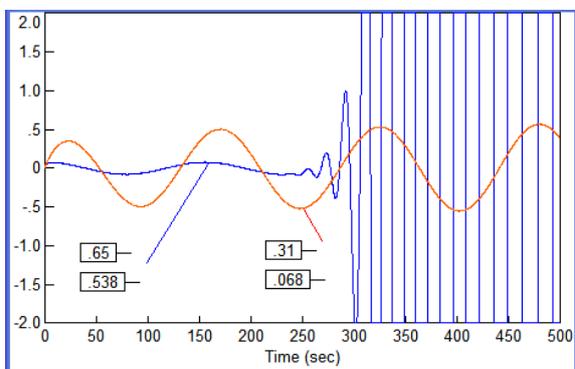


Рис. 4. Ошибка управления при отработке гармонического сигнала единичной амплитуды: красная линия – с настройками регулятора $k_p = 0,31$, $k_i = 0,068$; синяя линия – настройками регулятора $k_p = 0,65$, $k_i = 0,538$

Целесообразно попытаться объединить достоинства обоих регуляторов в системе, а именно, обеспечить малую ошибку в первой половине процесса и сохранить устойчивость и относительно небольшую ошибку во второй половине процесса. Одним из вариантов решения поставленной задачи является переключение коэффициентов, причем не ровно по достижении половины исследуемого процесса, а несколько заблаговременно, например, не при $t = 250$ с, а при $t = 200$ с. На Рис. 5 показан график изменения соответствующих коэффициентов. В результате система всегда остается устойчивой, ошибка управления изменяется так, как показано на Рис. 6.

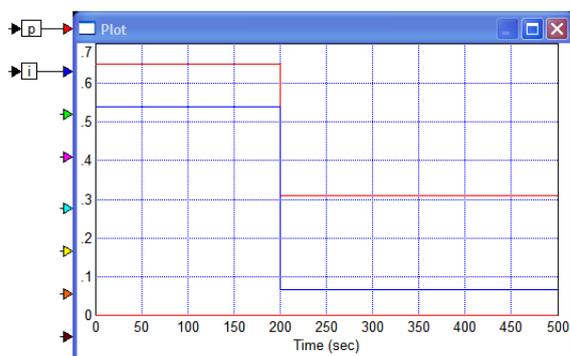


Рис. 5. График изменения коэффициентов регулятора в ходе управления

На Рис. 7 показан вид выходного сигнала системы (и объекта) в этом случае. Величина большой ошибки в этом случае проявляется не в

искажении амплитуды выходного сигнала, а в задержке его фазы. Изменение ошибки в системе, как показано на Рис. 6, намного более привлекательно, чем любой из вариантов, показанных на Рис. 4. Ошибка в каждой из двух половин процесса соответствует наилучшему варианту из двух возможных.

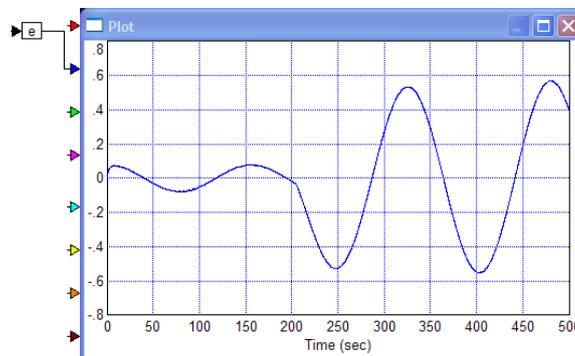


Рис. 6. Изменение ошибки управления

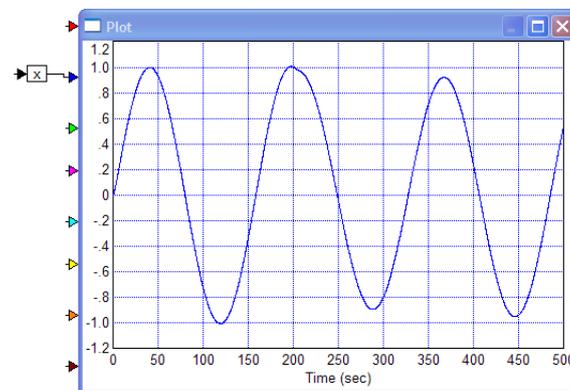


Рис. 7. Вид выходного сигнала в системе с переключающимися коэффициентами регулятора

Для сравнения осуществим переключение коэффициентов ровно на середине процесса, в момент $t = 250$ с. Система в этом случае остается устойчивой. Для наглядности на Рис. 8 и 9 показаны аналогичные сигналы в системе при увеличенной и уменьшенной частоте помехи.

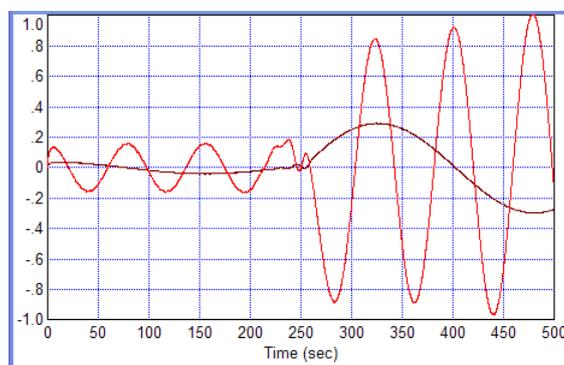


Рис. 8. Ошибка управления при отработке сигналов вдвое большей (красная линия) и вдвое меньшей частоты (черная линия), чем на Рис. 6

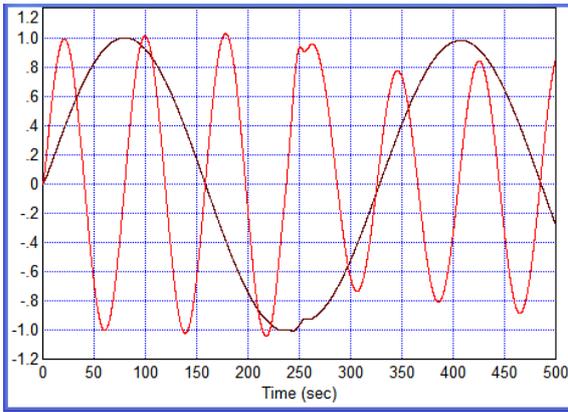


Рис. 9. Выходной сигнал при обработке сигналов вдвое большей (красная линия) и вдвое меньшей частоты (черная линия), чем на Рис. 6

Видно, что при уменьшении частоты ошибка уменьшается, а при увеличении частоты ошибка увеличивается (см. Рис. 8), и при этом в первой половине переходного процесса ошибка заметно меньше, чем во второй половине процесса. При этом система не теряет устойчивости.

4. ДАЛЬНЕЙШАЯ МОДИФИКАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА

Вследствие успешности использования регулятора с изменяющимися коэффициентами целесообразно развить эту идею с использованием плавного изменения этих коэффициентов. Например, можно использовать кусочно-линейные функции. К сожалению, программа *VisSim* не во всех случаях корректно моделирует указанное техническое решение. Например, если использовать для переноса сигнала наименованные шины, моделирование происходит некорректно. Если же формируемые сигналы завести на соответствующие входы перемножителей, как показано на Рис. 10, моделирование осуществляется вполне корректно. В структуре, показанной на Рис. 10, коэффициенты регулятора изменяются по зависимости, показанной на Рис. 11. При этом ошибка управления изменяется так, как показано на Рис. 12, а выходной сигнал изменяется, как показано на Рис. 13.

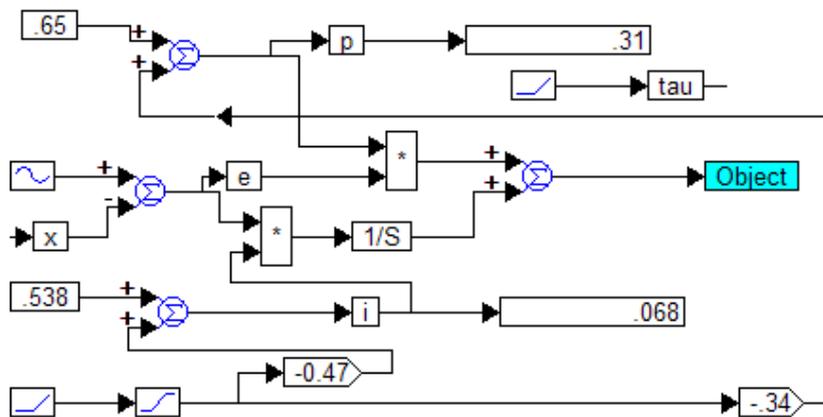


Рис. 10. Схема моделирования работы системы при плавном изменении коэффициентов регулятора

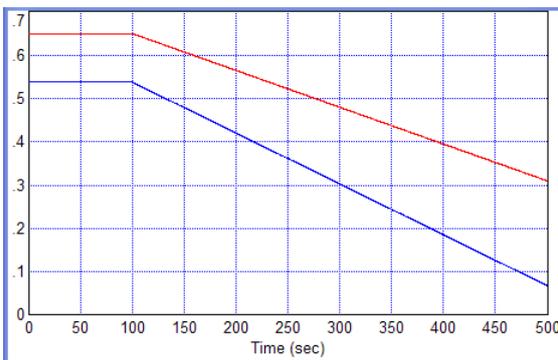


Рис. 11. Изменение коэффициентов регулятора в структуре, показанной на Рис. 8

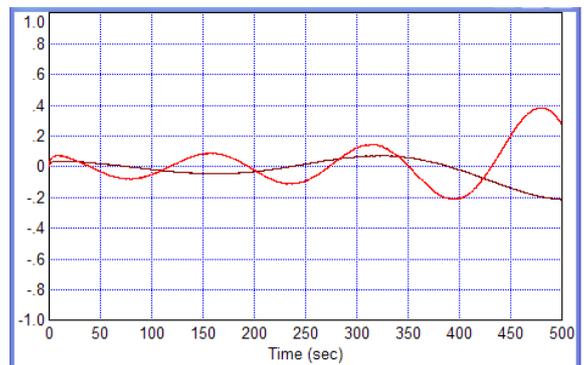


Рис. 12. Изменение ошибки в системе, показанной на Рис. 8

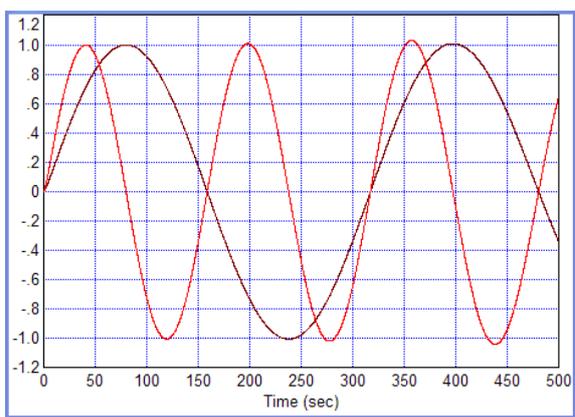


Рис. 13. Изменение выходного сигнала в системе, показанной на Рис. 8

5. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Для демонстрации актуальности предложенного метода рассмотрим условную схему радиосвязи между центром управления полетом (ЦУП) и космическим аппаратом (КА). На Рис. 14 показана крайне упрощенная схема такой связи. На этом рисунке объединены три различных момента времени, при которых космический аппарат находится в трех различных местоположениях. Для простоты положение ЦУП принято неизменным, что, разумеется, не соответствует реальному положению дел, но для демонстрации актуальности проблемы такое предположение вполне допустимо.

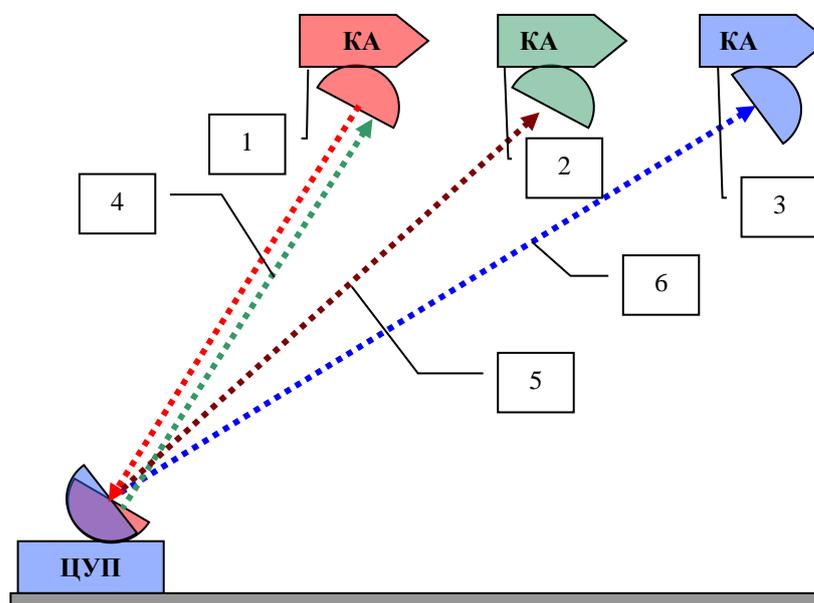


Рис. 14. Упрощенная схема радиосвязи центра управления полётом (ЦУП) с космическим аппаратом (КА): 1, 2 и 3 – последовательные местоположения КА; 3, 4, 5 – направления на эти местоположения из местоположения ЦУП

Аналогично может действовать и система управления ориентацией антенны на КА. Так обстоят дела при полетах КА на околоземных орбитах.

Ситуация кардинально изменяется при отправке космических аппаратов к другим

Предположим, что ЦУП неподвижен, а КА движется равномерно прямолинейно, пребывая последовательно в местоположениях, отмеченных метками с номерами 1, 2 и 3. Метки с номерами 4, 5 и 6 отмечены векторы, указывающие истинное направление от антенны ЦУП к антенне КА в моменты, соответствующие последовательно изменяемым местоположениям КА.

Сначала предположим, что время прохождения радиосигнала от ЦУП к КА и обратно пренебрежимо мало в сравнении с временем, за которое КА может существенно изменить свое местоположение. В этом случае антенну ЦУП следует направлять в том направлении, из которого приходит сигнал от КА. Аналогично, антенну КА следует направлять в том направлении, из которого приходит сигнал от ЦУП. При этом контур управления антенны может использовать сигнал только от собственной антенны, и не ожидать отклика от удаленного объекта. В частности, для правильной ориентации антенны на ЦУП достаточно обеспечить, чтобы приемная и передающая антенны ориентировались всегда в одном и том же направлении, например, за счет механической или автоматической связи. При этом приемная антенна должна управляться автономно, а передающая – в зависимости от приемной антенны. Далее достаточно направить приемную антенну на максимум сигнала от КА.

планетам Солнечной системы. За время, пока радиосигнал движется от КА к ЦУП, КА может передвинуться на существенное расстояние, что приведет к возникновению несоответствия между истинным направлением на КА и направлением, которое можно определить по максимуму

принимаемого сигнала. Предположим, что за время пока сигнал от КА достиг ЦУП, КА переместился из положения 1 в положение 2, как показано на *Рис. 14*. В этот момент ЦУП определил бы направление на КА, которое показано вектором, отмеченным указателем 4. Иными словами, на приемной стороне местоположением КА воспринимается то местоположение, в котором КА был в момент отправки того сигнала, который принят в данный момент. Если сигнал связи будет отправлен в направлении вектора 4, то он не достигнет цели. Даже если сигнал будет отправлен в направлении 5, то есть в направлении истинного местоположения КА, то такое действие тоже не будет отвечать целям оптимизации связи. Наилучшее направление радиосигнала соответствует вектору с меткой 6. То есть сигнал следует направить не туда, где КА был во время отправки им принятого в данный момент сигнала и не туда, где он находится в момент отправки ответного сигнала, а туда, где КА окажется в тот момент, когда сигнал достигнет траектории КА.

Похожая задача решается, например, при артиллерийской стрельбе по движущейся мишени. Но в этом случае скорость движения снаряда намного меньше скорости света, поэтому артиллеристы имеют достоверную информацию об истинном положении цели, а также могут определить направление и скорость движения цели, из чего можно, зная скорость полета снаряда и расстояние до цели, вычислить задержку, требуемую для полета снаряда. Скорость цели, умноженная на это время, даст прогноз перемещения цели. Угловая скорость цели, умноженная на это время, даст в первом приближении оценку углового перемещения цели. Относительная простота этой задачи состоит в том, что положение цели определяется методами радиолокации или оптическими, то есть со скоростью света, которая многократно превышает скорость полета снаряда. Поэтому методы определения положения можно считать безошибочными в сравнении с ошибками, возникающими за счет конечной скорости полета снарядов.

Трудность же рассматриваемой задачи с космическим аппаратом состоит в том, что инструментарий для определения истинного положения цели совпадает с инструментарием для связи с целью. Положение цели определяется методом радиосвязи, и определение положения необходимо также для радиосвязи. Поэтому истинное направление на цель и предсказание направления на цель могут быть определены лишь с правильным использованием привлекаемых теоретических методов корректировки. То есть направление передающей антенны следует сознательно рассогласовывать в сравнении с направлением приемной антенны. Такой метод, по-видимому, наиболее эффективен, но маловероятно, чтобы он был применен

сознательно. Причина этого состоит в том, что при полетах в пределах околоземной орбиты такое сознательное искажение направления антенны не требуется, поэтому такие алгоритмы не отрабатываются в ЦУП при большинстве практических задач. При реализации программ исследования относительно дальнего космоса (полеты к Венере, Марсу и так далее) можно ожидать, что этот алгоритм управления антеннами необходим, однако, проблема в том, что не только КА, но и ЦУП вместе с планетой Земля движется. Следовательно, расчет траектории более сложен, и его теория зависит от выбранной концепции полевой (волновой) связи. Выбор теории относительности в этом случае был бы не правильным, а выбор какой-либо иной теории невозможен вследствие консервативности астрофизических представлений (в данном случае под консервативностью мы понимаем невосприимчивость в обоснованной критике теории относительности).

«Соломоновым решением» было бы использование системы двойной оптимизации направления обеих антенн в контуре, который включает распространение сигнала как от ЦУП к КА, так и от КА к ЦУП. С этой целью можно осуществить настройку обеих антенн на такое направление, при котором будет наиболее эффективен прием сигналов, как космическим аппаратом, так и центром управления полетов. В этом случае в контуре управления будет присутствовать запаздывание, которое равно времени движения сигнала от ЦУП к КА и обратно от КА к ЦУП. Это запаздывание будет расти по мере удаления КА от ЦУП. Этим помимо прочих причин объясняется интерес к проблеме управления объектом с увеличивающимся запаздыванием в его модели.

В данной статье моделированием показано, что при нарастании запаздывания, например, по линейному закону, система с отрицательной обратной связью теряет устойчивость по мере достижения критической величины запаздывания. Преодоление этой проблемы в рамках ограниченного времени эксперимента может быть обеспечено двумя путями: созданием робастного регулятора и созданием регулятора, изменяющего свои параметры во времени. Второй путь позволяет снизить погрешность на всем интервале действия системы, поскольку при робастном регуляторе либо на начальном этапе ошибка слишком велика в сравнении с возможностями системы, либо на конечном этапе ошибка слишком велика вследствие потери устойчивости системой.

Предложенный метод, подкрепленный моделированием, может найти практическое применение, например, при управлении ориентацией антенны передающего устройства космического спутника, а также при ориентации антенны наземного центра связи. Указанные результаты могут оказаться полезными и в других

сферах применения систем автоматического управления с отрицательной обратной связью.

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», проект № 471.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жмудь В. А. Моделирование, исследование и оптимизация замкнутых систем автоматического управления. Монография. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2012. – 335 с.
- [2] Жмудь В.А., Заворин А.Н. Структура модели для оптимизации системы с обратной связью. Патент РФ RU 2554291 С1. Оpubл. 27.06.2015. Бюлл. № 18.
- [3] 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.
- [4] Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators. Zhmud, V., Yadrishnikov, O., Poloshchuk, A., Zavorin, A. 2012. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.
- [5] The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program VisSim 5.0/6. Zhmud, V., Liapidevskiy, A., Prokhorenko, E. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. PP. 27–32.
- [6] V. Zhmud, O. 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/>
- [7] V. Zhmud, A. Polishchuk, 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.
- [8] Zhmud V.A., 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> и <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>



Вадим Аркадьевич Жмудь – заведующий кафедрой Автоматики НГТУ, профессор, доктор технических наук.
E-mail: oa0_nips@bk.ru

Control of Object with Linearly Increasing Delay

V.A. Zhmud

Abstract - Management object in the loop with negative feedback is used in all branches of engineering. Feedback provides error correction, generated by uncontrollable external perturbation applied to the control object. In particular, the current antenna pointing at the satellite transceiver enables it to concentrate the energy beam is a highly directional transmitter, which gives substantial savings in the energy radiated in transmission mode and dramatically increases sensitivity in reception mode. Precise guidance of the antenna can only be done using feedback. It can be used two variants locked, with the inclusion of the channel transmission circuit and without its inclusion. A disadvantage with the embodiment of the circuit switching channel is a continuous increase of the amount of delay in the control loop, which may lead to loss of stability of control. The disadvantage of the variant without the inclusion of the channel in the loop is that the radiating antenna can be adjusted only in the direction of the signal source, which may not be strictly correct direction to the signal receiver. Therefore, the first embodiment is preferable from the standpoint of the reliability of two-way communication, but it requires taking account of growth retardation, particularly in the case of removal from the satellite communications center. The system can be locked originally designed for the worst case, that is, the maximum delay of the communication channel. In this case, the system always control error will be maximum. It may be that at the initial stage of the interference is higher, so it takes a lot of work efficiency of feedback. Therefore, it is advisable to use all the features of the feedback loop, i.e. at the stage when the delay is not large, to ensure greater precision in adjustment of the system, and with increasing retardation reduce the accuracy of the system in order to maintain stability in it. In this paper, on the model of linearly increasing lag investigate the possibility of designing a regulator with adaptive properties. This system ensures that the static accuracy and stability with increasing delay due to some loss of dynamic accuracy. Theory of modeling method is fixed. The simple way of modeling the program VisSim not allowed to confirm the performance of the method, but the use of certain techniques in modeling allowed us to obtain reliable results, confirming the effectiveness of the proposed method.

Key words: management of the facility, subject to delay, feedback system, the dynamic accuracy static accuracy, system stability

REFERENCES

- [1] Zhmud V. A. Modelirovanie, issledovanie i optimizacija zamknytyh sistem avtomaticheskogo upravlenija. Monografija. Novosibirsk, Izd-vo NGTU,

2012. – 335 s. (Zhud V.A. Simulation study and optimization of locked systems of automatic control. Monograph. Novosibirsk, Publishing House of the NSTU, 2012. - 335 p.)
- [2] Zhud V.A., Zavorin A.N. Struktura modeli dlja optimizacii sistemy s obratnoj svjaz'ju. Patent RF RU 2554291 C1. Opubl. 27.06.2015. Bjull. № 18.
- [3] V. A. Zhud. 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.
- [4] Modern key technologies in automatics: Structures and numerical optimization of regulators. Zhud, V., Yadrishnikov, O., Poloshchuk, A., Zavorin, A. 2012. Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012.
- [5] The design of the feedback systems by means of the modeling and optimization in the program VisSim 5.0/6. Zhud, V., Liapidevskiy, A., Prokhorenko, E. 2010. Proceedings of the IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control. PP. 27–32.
- [6] V. Zhud, O. 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/>
- [7] V. Zhud, A. Polishchuk, 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.
- [8] Zhud V.A., Zavorin A.N. Metodi di ottimizzazione del controllo numerico su una modelli troncati. Italian Science Review, 2014, № 4(13). P. 686-689. Available at URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/april/Zhud.pdf> and <http://www.ias-journal.org/archives/april-2014>