

Рис. 3. Граф-дерево (дендрограмма) кластерного анализа наземных целей

Библиографические ссылки

1. Козлов В. В. Современное состояние исследований комбинированного внешнего воздействия на объекты технических систем : монография. – Пермь : ПВИ ВВ МВД, 2007. – 139 с.

2. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 362.

3. Там же.

4. Там же.

5. Там же.

Получено 05.05.2016

УДК 519.87

А. Н. Павлов, кандидат технических наук, доцент, Пермский военный институт внутренних войск МВД России
А. Н. Гладков, кандидат технических наук, Пермский военный институт внутренних войск МВД России
А. Ю. Камышан, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

В эпоху военно-технической революции вопросы управления техническими системами ВВ МВД России выдвинулись на первый план. Если раньше боевая мощь противодействующих сторон наращивалась за счет увеличения ударной силы оружия, то теперь при наличии современного оружия боевая мощь государства в значительной степени определяется качеством автоматического управления этим оружием. Логика развития военного дела требует привести в соответствие средства и способы управления с возросшими возможностями войск и боевой техники. Особенно важная роль в решении этой проблемы принадлежит автоматизации и управлению техническими системами, основой которой является техническая кибернетика и вычислительная техника.

Для управления рабочими процессами в объектах бронетанковой техники применяется большое количество автоматически и полуавтоматически дейст-

вующих аппаратов и машин. Эти устройства весьма разнообразны по назначению, принципу действия и конструкции. В них сочетаются механические, электрические, гидравлические и другие элементы, составляющие сложный комплекс взаимодействующих звеньев системы.

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем [1, 2]. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать, проводить так называемые вычислительные эксперименты в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий или могут дать непредсказуемый результат.

Логичность и предсказуемость компьютерных моделей позволяет выявить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта-оригинала (или целого класса объектов), в частности, исследо-

вать отклик моделируемой физической системы на изменения ее параметров и начальных условий.

В реальных объектах управления всегда существуют причины, отклоняющие управляемую величину от требуемого закона ее изменения [3, 4].

Эти причины называют возмущающими воздействиями (или возмущениями) и обозначают F , а функции, описывающие их изменение во времени, – $F(t)$. Возмущающие воздействия весьма многообразны. Большую часть их составляют возмущения окружающей среды. К ним, например, относятся изменения температуры и давления атмосферы, порывы ветра и т. д. Часть возмущений обусловлена деформациями элементов объекта. Возможны возмущения, вызванные различными отказами и неисправностями, а также боевыми повреждениями и боевым применением (стрельба из оружия и т. д.). Обычно среди всех возмущений, действующих на объект управления, можно выделить одно или несколько возмущений, наиболее сильно влияющих на управляемую величину. Такие возмущения называются основными.

Для осуществления управления объект снабжается управляющим органом, воздействуя на который можно изменять управляемую величину. Воздействие на управляющий орган называется управляющим воздействием и в дальнейшем будет обозначаться E , а функция, описывающая его изменение во времени, – $E(t)$.

Возмущающими действиями на ствол орудия автоматической пушки 2А42 являются:

$F_1(t)$ – движение ствола по инерции;

$F_2(t)$ – колебание ствола при стрельбе;

$F_3(t)$ – трение движущихся деталей механизма (маховика исполнительного привода о башню).

Входным сигналом, подаваемым с системы наведения, является электрическая постоянная времени $T_3(t)$, которая определяет инерционность намагничивания якоря двигателя и равняется отношению индуктивности якоря двигателя к сопротивлению его обмотки:

$$T_3 = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}},$$

где $T_3(t)$ – электрическая постоянная времени; $L_{\text{я}}$ – индуктивность якоря; $R_{\text{я}}$ – сопротивление обмотки.

Выходной сигнал, подаваемый с датчика ствола на сумматор главной обратной связи (сигнал ошибки $E(t)$) $\varepsilon(t)$ – сумматор обратной связи, вычитает из сигнала T_3 электрической постоянной времени данные с возмущающих сигналов $F_1(t) - F_2(t) - F_3(t)$.

Сигнал ошибки поступает на пропорциональное, интегральное и дифференциальное звенья ПИД-регулятора [5, 6].

Точность управления объектом (точность автоматизированной системы) может быть охарактеризована разностью фактического и требуемого выходных сигналов:

$$\varepsilon(t) = T_3(t) - F_1(t) - F_2(t) - F_3(t).$$

Для управления рабочими процессами в объектах бронетанковой техники применяется большое количество автоматически и полуавтоматически действующих аппаратов и машин. Эти устройства весьма разнообразны по назначению, принципу действия и конструкции. В них сочетаются электрические, гидравлические и другие элементы, составляющие сложный комплекс взаимодействующих звеньев системы.

В зависимости от выполняемых функций автоматизированные системы подразделяются на автоматы управления, производящие автоматические включения, выключения или переключения машин и механизмов; в нашем случае этим механизмом являются два двигателя, работающие в разных плоскостях. Один служит для поворота башни в горизонтальной плоскости, другой – для работы 30-мм пушки 2А42 в вертикальной плоскости.

Для разработки математической модели автоматизированной системы управления стволом артиллерийского орудия воспользуемся имитационной моделью, созданной в среде Simulink MATLAB [7]. Это позволит нам решить задачу по определению параметров системы управления стволом артиллерийского орудия. Для построения имитационной модели подходит именно эта среда, так как она является средой, позволяющей решать системы уравнений с использованием матриц.

Для определения параметров имитационной модели необходимо разработать структурную схему модели САУ. Разработанная структурная схема модели САУ представлена на рис. 1. Для определения оптимальных параметров ПИД-регулятора необходимо провести численные эксперименты на разработанной имитационной модели САУ.

Проведем анализ переходного процесса. Механическая постоянная времени T_m зависит от момента инерции вала двигателя, редуктора, инерции исполнительного устройства. Подсчитать ее значение аналитическим способом обычно не представляется возможным. Поэтому ее измеряют экспериментально.

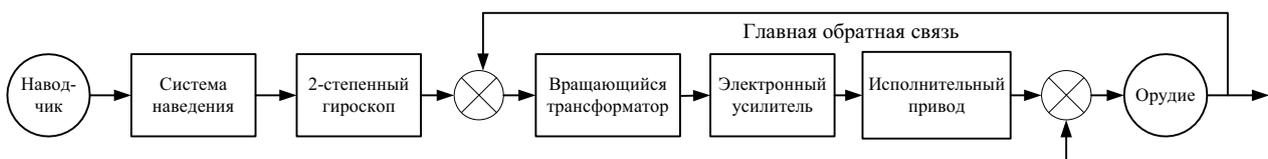


Рис. 1. Структурная схема САУ стволом орудия

По графику переходного процесса можно определить, во-первых, скорость холостого хода $V_{x.x}$, а вторых, – время регулирования t_p . Время регулирования определяется временем окончания переходного процесса (время, когда кривая переходного процесса отличается меньше чем на 1 % от установившегося значения).

Также в данной модели САУ производилось изменение параметров апериодического звена.

Известно, что время апериодического переходного процесса в пять раз длиннее его постоянной времени:

$$t_p = 5T,$$

где t_p – время регулирования; T – постоянная времени.

Отсюда для нашего случая получаем:

$$T_m = \frac{t_p}{5},$$

где T_m – механическая постоянная времени – время момента вращения якоря (и маховика изменения угла наклона ствола).

В нашем случае время регулирования t_p , судя по графику, равно 1,5 сек. Тогда механическая постоянная ПИД-регулятора обеспечивает заданную скорость на исполнительном механизме (двигателе), не зависящую от действующей на него постоянной или медленно изменяющейся нагрузки.

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор. ПИД-регулятор состоит, соответственно, из пропорционального (K_p), интегрального (K_i/s) и дифференциального (K_d/s) звена, у каждого из них свой коэффициент усиления.

Не сложно заметить, что ПИД-регулятор характеризуется тремя коэффициентами: K_p , K_i и K_d [8, 9, 10]. Для расчета этих коэффициентов необходимо знать параметры объекта управления, в данном случае двигателя.

K_p – пропорциональное звено;

K_i – интегральное звено;

K_d – дифференциальное звено.

Механическая постоянная времени $T_m = 1,5/5 = 0,3$ сек.

Таким образом, построив график переходного процесса, мы находим механическую постоянную времени T_m .

При создании различных устройств автоматики нередко стоит задача обеспечения заданной скорости вращения вала двигателя, не зависящей от действующей нагрузки.

Не сложно заметить, что скорость вращения вала двигателя зависит не только от напряжения на двигателе, но и внешних, неизвестных, воздействий на двигатель, таких как переменная сила трения, изменяющаяся нагрузка, температура, качество смазки и др. факторы. Поэтому задача обеспечения заданной скорости вращения вала двигателя сводится к задаче формирования такого напряжения на двигателе, которое бы обеспечивало заданную скорость вращения

двигателя, не зависящую от воздействия внешних случайных факторов. Решение этой задачи без теории автоматического управления невозможно. Решение задачи состоит в расчете и реализации ПИД-регулятора по скорости.

С точки зрения теории автоматического управления двигатель постоянного тока приближенно описывается двумя апериодическими звеньями с электрической постоянной времени T_e и механической постоянной времени T_m [11, 12]. Общий коэффициент усиления двигателя $K_{дв}$. На самом деле структурная схема двигателя намного сложнее, но нам это в данном случае не так важно.

Коэффициент усиления двигателя $K_{дв}$ определяет пропорциональность между скоростью вращения вала двигателя на холостых оборотах и поданным на вход напряжением. Проще говоря, коэффициент равен отношению скорости холостого хода $V_{x.x}$ и номинального напряжения двигателя U_n :

$$K_{дв} = \frac{V_{x.x}}{U_n},$$

где $V_{x.x}$ – скорость холостого хода; U_n – номинальное напряжение двигателя; $K_{дв}$ – скорость вращения (маховика).

Напряжение на двигателе в микропроцессорной технике задается в условных единицах напряжения, а скорость снимается в условных единицах скорости.

Если для формирования напряжения на двигателе используется 7-битный ШИМ, то для расчета $K_{дв}$ величина номинального напряжения равна 128 условных единиц напряжения.

Скорость холостого хода $V_{x.x}$, заданную в паспортных данных двигателя, следует пересчитать в условные единицы скорости $V_{x.x}$, определяемые способом реализации датчика скорости.

Как известно, аналоговый сигнал сопровождается большим количеством помех, тогда как цифровой их успешно отфильтровывает и способен восстанавливать исходные данные.

Кроме того, непрерывный аналоговый сигнал часто несет в себе много лишней информации, что впоследствии может привести его к избыточности.

Еще одна важная характеристика сигнала – безопасность. В этом отношении аналоговый демонстрирует полную незащищенность перед влияниями или вторжениями других сигналов. Цифровой шифруется посредством присвоения ему кода из радиоимпульсов, так что любое вмешательство исключено, что делает систему управления и боевую технику в целом наиболее боеспособной и устойчивой к каким-либо помехам.

В разработанной структурной схеме имитационной модели САУ артиллерийским орудием установлены аналого-цифровой преобразователь и ПИД-регулятор на главную обратную связь (рис. 2).

ПИД-регулятор (рис. 3) позволяет обеспечить достаточно высокую точность при управлении стволом артиллерийского орудия.

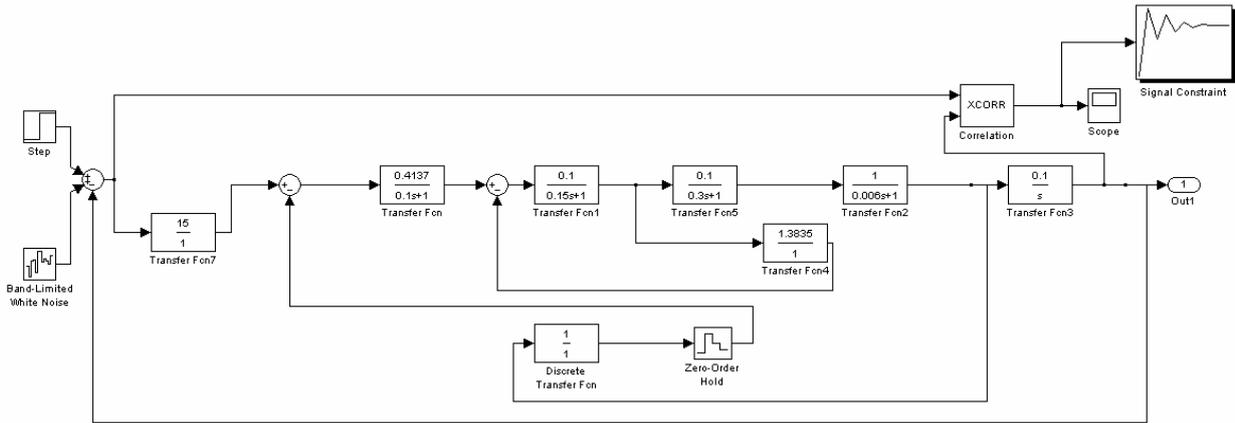


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели САУ

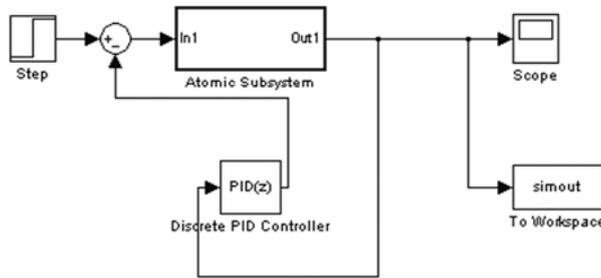


Рис. 3. Имитационная модель САУ с цифровым ПИД-регулятором

В нашем случае ПИД-регулятор является суммой трех составляющих:

- пропорциональной;
- интегральной;
- дифференциальной.

Пропорциональная составляющая зависит от расогласования и отвечает за реакцию на мгновенную ошибку регулирования.

Дифференциальная составляющая зависит от скорости изменения параметра, вызывающего реакцию регулятора на резкое изменение изменяемого параметра, возникшее в результате внешнего возмущающего воздействия, например, движения ствола по инерции вверх-вниз.

Отталкиваясь от метода Куна настройки ПИД-регулятора «Т-суммы», за счет перерегулирования и главной обратной связи мы можем определить, какой переходный процесс в системе нас бы устроил. Нас вполне устраивает апериодический переходный процесс в системе. Именно так система должна реагировать на изменение скорости и нагрузки.

Желаемая постоянная времени переходного процесса $T_{ж}$ будет примерно равна T_m , т. е. передаточная функция желаемой системы $W_{ж}(s)$

$$W_{ж}(s) = \frac{1}{T_{ж} + 1}$$

Приравняем передаточную функцию замкнутой системы к передаточной функции желаемой системы:

$$W_{ж}(s) = W_3(s);$$

$$\frac{1}{T_{ж}s + 1} = \frac{W_p(s)W_{дв}(s)}{1 + W_p(s)W_{дв}(s)}$$

Путем простых математических преобразований, выразим отсюда выражение для передаточной функции регулятора $W_p(s)$:

$$W_p(s) = \frac{1}{T_{ж}s W_{дв}(s)}$$

Введем коэффициенты:

$$C_1 = \frac{T_m + T_3}{T_{ж} K_{дв}}; C_2 = \frac{1}{T_{ж} K_{дв}}; C_3 = \frac{T_m T_3}{T_{ж} K_{дв}}$$

Получаем

$$W_p(s) = C_1 + C_2 \frac{1}{s} + C_3 s$$

Не сложно заметить, что мы получили просто коэффициент C_1 , коэффициент перед интегральным звеном C_2 и коэффициент перед дифференцирующим звеном C_3 , т. е. мы получили классическую структуру ПИД-регулятора с параметрами $K_{п} = C_1$, $K_{и} = C_2$ и $K_{д} = C_3$:

$$K_{п} = \frac{T_m + T_3}{T_{ж} K_{дв}}; K_{и} = \frac{1}{T_{ж} K_{дв}}; K_{д} = \frac{T_m T_3}{T_{ж} K_{дв}}$$

Далее с использованием программного обеспечения MATLAB мы можем преобразовать данные сигналы через ПИД-регулятор с параметрами $K_p = C_1$, $K_i = C_2$ и $K_d = C_3$.

На выходе мы получаем передаточную характеристику ПИД-регулятора:

$$W_p(s) = -0,3405 - 0,1714 \frac{1}{s} - 0,4354s.$$

Рассчитаем ПИД-регулятор с аperiodическим звеном.

В качестве исходных данных принимаем:

$$T_p = 7 \text{ с}; K_p = -59,035; K_i = 0,721; K_d = -2,487; T_j = 5 \text{ с}.$$

Определяем коэффициент пропорциональности K_p :

$$K_p = (T_m + T_3) / (T_j K_{дв}) = (1,4 + 0,14) / (T_j K_{дв});$$

$$T_m = t_p / 5 = 7 / 5 = 1,4;$$

$$T_3 = T_m / 10 = 0,14.$$

Тогда коэффициент усиления двигателя будет равен:

$$K_{дв} = (T_m + T_3) / (T_j K_p) = 1,54 / (-59,035 \cdot 5) = -0,0052;$$

$$K_i = 1 / (T_j K_{дв}) = 1 / (-59,035 \cdot 5) = -0,026;$$

$$K_d = T_m \cdot T_3 / (T_j K_{дв}) = 1,4 \cdot 0,14 / (5 \cdot (-0,0052)) = -7,538;$$

$$K_p = (1,4 + 0,14) / (5 \cdot (-0,0052)) = -59,23.$$

Передаточная характеристика ПИД-регулятора будет определяться по уравнению

$$W_p(s) = -59,23 - 0,026 \frac{1}{s} - 7,538s.$$

Получено 11.05.2016

Вывод

Проведенные численные эксперименты на созданной имитационной модели позволили определить передаточную характеристику ПИД-регулятора, который может быть использован для управления электрическим двигателем при наведении ствола артиллерийского орудия на цель.

Библиографические ссылки

1. Дьяконов В. П. Simulink 4 : Спец. справочник. – СПб. : Питер, 2002. – 528 с.
2. Морозов В. К. Моделирование информационных и динамических систем : учеб. пособие. – М. : Академия, 2011. – 384 с.
3. Советов Б. Я. Моделирование систем : учебник для бакалавров. – М. : Юрайт, 2012. – 343 с.
4. Рыкин О. Р., Чечурин Л. С. Теория автоматического управления. Основы анализа и синтеза линейных динамических систем : Лабораторный практикум в среде Матлаб 6.5. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004. – 78 с.
5. Егунов Н. Д. Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник для вузов : в 3 т. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.
6. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М. : Наука, 1978. – 400 с.
7. Колесов Ю. Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 224 с.
8. Колмогоров А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа. – М. : Наука, 1976. – 544 с.
9. Красовский А. А. Справочник по теории автоматического управления. – М. : Наука, 1981. – 277 с.
10. Бенькович Е. С. Практическое моделирование динамических систем. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.

УДК 629.7.023:620.178.3

Р. В. Мормуль, НПО «Искра», Пермь

А. Н. Павлов, кандидат технических наук, доцент, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

А. Н. Гладков, кандидат технических наук, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫХОДНОГО БЛОКА РДТТ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Решение систем дифференциальных уравнений встречается во многих инженерных и научных задачах. В большинстве случаев алгоритмы решения подобных задач можно эффективно распараллелить для обработки на кластерном компьютере. В качестве примеров можно упомянуть такие задачи, как молекулярные модели сплошных сред в статистической физике, инженерные расчеты по распределению нагрузок в сложных конструкциях, (например, расчеты движения летательных аппа-

ратов, рабочие процессы в ракетных и авиационных двигателях), газодинамика сплошных сред (особенно если исследуется многокомпонентная среда), электродинамика и др. [1].

Однако следует учитывать, что параллельность задачи определяется не только ее физическим смыслом, но и выбранным численным алгоритмом. Например, всем известный метод прогонки практически не поддается распараллеливанию. Если единственный или предпочтительный метод решения