

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА
ПО ПРЯМЫМ ОЦЕНКАМ КАЧЕСТВА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
для студентов, обучающихся по направлениям
210100 «Электроника и наноэлектроника»
и 201000 «Биотехнические системы и технологии»

Составитель **М.В. Тригуб**

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 621.078

Оптимизация параметров ПИД-регулятора по прямым оценкам качества: метод. указания к выполнению лаб. работы для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и нанoeлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии» / сост. М.В. Тригуб; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 9 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры промышленной и медицинской электроники « 26 » марта 2012 года, протокол № 10.

Зав. кафедрой ПМЭ,
доктор технических наук,
профессор

_____ *Г.С. Евтушенко*

Рецензент

Кандидат технических наук
доцент кафедры ПМЭ ТПУ
А.Ф. Готов

© Составление. ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2014

© Тригуб М.В., составление, 2014

Цель работы. Целью лабораторной работы является изучение метода настройки ПИД - регулятора по прямым оценкам качества переходного процесса с использованием возможностей библиотеки Simulink Design Optimization на примере системы стабилизации давления крови.

8.1. Система стабилизации давления крови

Биотехнические системы (БТС) – это системы, в которых биологические и технические компоненты взаимодействуют для достижения единой цели. В зависимости от цели можно выделить БТС технической и медико-биологической ориентации. Первые предназначены для наилучшего согласования и использования возможностей человека в задачах управления техническими устройствами, вторые – для создания и поддержания определенных условий функционирования организма или отдельных его систем (органов). В устройствах медико-биологической ориентации можно выделить системы, восстанавливающие функции целостного организма и поддерживающие жизнедеятельность отдельных систем и органов. Примерами могут служить системы, предназначенные для коррекции/восстановления информационных потоков (протезирование зрения, слуха), системы управления органами (электростимуляторы, вспомогательные системы дыхания и т.д.), системы и аппараты, заменяющие органы человека (биопротезы, искусственная почка и др.).

В отдельный класс следует отнести системы, основанные на биологической обратной связи. В таких системах сигналы управления в организме преобразуются в некоторые образы, которые показываются пациенту для того, чтобы он самостоятельно корректировал работу тех или иных систем организма. Например, система восстановления нормальных двигательных навыков после нарушений в нервно-мышечном аппарате. В ней сигналы, полученные в результате мышечных сокращений (миограммы), отображаются на дисплей в виде образов и демонстрируются больному. Пациент наблюдает результат своих движений и стремится приблизить его к идеальному, тем самым восстанавливая двигательные функции.

В работе будет рассмотрена одна из систем медико-биологической направленности, предназначенные для поддержания нормального функционирования органов и систем организма, на примере медицинского аппарата, позволяющего стабилизировать артериальное давление (АД) за счет использования специального препарата. Схема, демонстрирующая работу БТС контроля АД, показана на рис. 8.1.

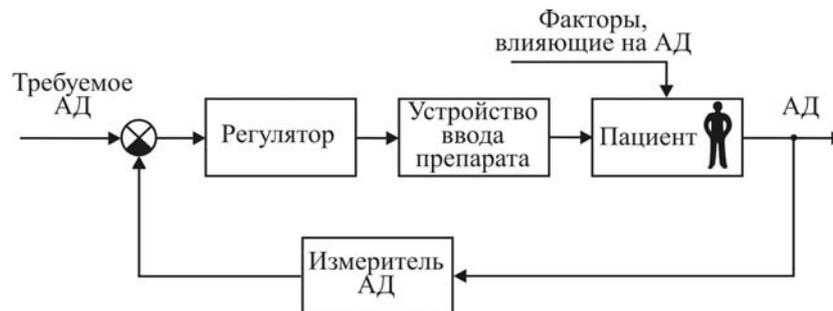


Рис. 8.1. Схема, поясняющая принцип действия БТС контроля АД

Регулируемой величиной является артериальное давление пациента, которое необходимо снизить до определенного уровня. Система предназначена именно для снижения артериального давления. Регулятор сравнивает текущее значение артериального давления с требуемым и формирует сигнал для управляющего устройства (устройство ввода препарата). Возмущениями являются все факторы, влияющие на артериальное давление пациента: проведение оперативного вмешательства, реакция на препараты, стресс и т.д. Артериальное давление зависит от минутного сердечного выброса и сосудистого сопротивления. Наиболее распространенным способом снижения артериального давления является использование сосудорасширяющих препаратов, например нитропрусида натрия. Данный препарат снижает тонус как артерий, так и вен за счет прямого миотропного действия. Расширения периферических артериальных сосудов уменьшает постнагрузку, снижает напряжение левого желудочка, снижает АД. За счет дилатации (расширения) периферических вен уменьшается преднагрузка на сердце, что приводит к улучшению системной и внутрисердечной гемодинамики, снижению давления в малом круге кровообращения. Существует два способа введения препарата: внутривенная инфузия требуемого количества препарата и непрерывное введение препарата в кровь. Первый метод позволяет быстро достигнуть желаемого эффекта, но не может применяться регулярно, т.к. возможно отравление. Эффект в этом случае сохраняется в течение инфузии и продолжается около 15 мин после окончания введения. Второй метод позволяет в течение длительного времени поддерживать АД на требуемом уровне не вызывая отравления. Для второго метода необходимо подбирать дозу и скорость введения препарата. Для аналитического описания действия препарата на артериальное давление при введении препарата вторым методом была разработана математическая модель. Она описывает зависимость АД пациента от скорости введения препарата:

$$\frac{\Delta P_d(s)}{I(s)} = \frac{K \cdot e^{-\tau_i s} \cdot (1 + \alpha \cdot e^{-\tau_c s})}{Ts + 1},$$

где $\Delta P_d(s)$ – изменение кровяного давления пациента, [мм.рт.ст.]; $I(s)$ – скорость вливания нитроприссида натрия, [мл/ч]; K – чувствительность пациента к препарату, [$\frac{\text{мм.рт.ст.}}{\text{мл/ч}}$]; α – безразмерная величина, характеризует рециркуляцию; τ_i – начальная транспортная задержка, [с]; τ_c – задержка рециркуляции транспорта, [с]; T – время задержки, [с]. Модель является линейной, с одним входом и одним выходом (SISO).

Основной трудностью при разработке регуляторов кровяного давления является значительное отклонение величин, определяющих зависимость давления от скорости вливания, для каждого пациента. Исходя из чувствительности к препарату, выделяют три группы пациентов: чувствительные, нечувствительные и номинальные. В табл. 8.1 приведены типовые значения, определенные для трех групп пациентов.

Таблица 8.1

Параметры пациентов

Параметр	Чувствительный	Номинальный	Нечувствительный
$K \cdot (1 + \alpha)$	-9	-1	-0.25
α	0	0.4	0.4
τ_i	20	30	60
τ_c	30	45	75
T	30	40	60

С точки зрения состояния пациента, к системе управления предъявляются следующие требования:

- время регулирования не более 600 с;
- перерегулирование не более 25%;
- отсутствие статической ошибки.

В подобных системах наибольшее распространение получили ПИД-регуляторы. Однако из-за достаточно сильного изменения параметров, определяющих зависимость артериального давления от скорости вливания препарата для каждого пациента, ПИД-регуляторов не всегда позволяет получить удовлетворительный результат. С развитием вычислительной техники все чаще стали применяться адаптивные регуляторы для систем такого плана. Так как подобные регуляторы в рамках курса не рассматриваются, в работе проводятся исследования системы с ПИД-регулятором.

8.2. Выполнение лабораторной работы

Методические указания

Основное внимание в лабораторной работе уделяется изучению возможностей настройки типовых регуляторов по прямым оценкам качества переходного процесса с использованием встроенных функций Simulink. Для оптимизации параметров регулятора предлагается использовать **Simulink Design Optimization**, подробное описание которого приведено в приложении. На рис. 8.2 показана операторно-структурная схема снижения артериального давления путем изменения скорости вливания препарата нитропрусида натрия. Возмущение представляет собой реакцию организма пациента на различные факторы (стресс, реакция на оперативное вмешательство, реакция на анестезию), которое описывается функцией с чистым запаздыванием.

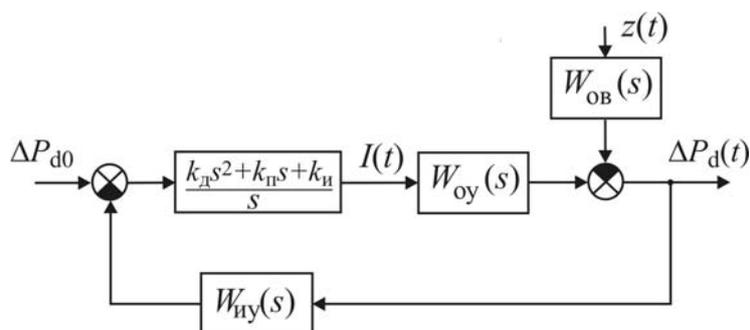


Рис. 8.2. Операторно-структурная схема САР

В нашем случае объект управления и возмущающее воздействие описываются следующими передаточными функциями:

$$W_{oy}(s) = \frac{K \cdot e^{-T_i s} \cdot (1 + \alpha \cdot e^{-T_c s})}{\tau s + 1}; \quad W_{ob}(s) = \frac{k_{ob} \cdot e^{-\beta \tau_i s}}{T s + 1},$$

где α – постоянный коэффициент ($0 < \alpha < 1$).

Передаточная функция измерительного устройства $W_{ny}(s) = k_{ny} = 1$.

На рис. 8.3 приведена схема моделирования. На выход схемы подключен Signal Constraint (оптимизатор). Для удобства в схему введены ключи (**Manual Switch**), позволяющие модифицировать схему, а также добавлены дисплеи (**Display**) для отображения переменных в регуляторе. При желании для каждого пункта можно сделать новую модель и провести ее исследование. Следует обратить внимание на то, что коэффициенты усиления регулятора заданы в виде переменных, которые определены в командном окне MATLAB/Simulink с учетом регистра. Более подробно описание приведено в **разделе 4**.

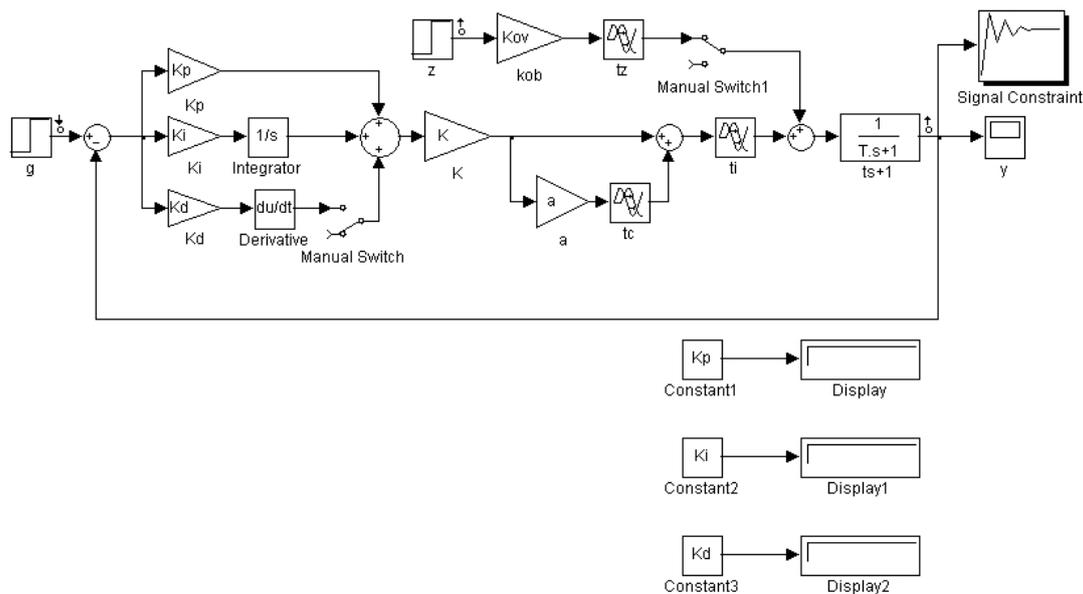


Рис. 8.3. Схема моделирования:

Программа

1. Составить в среде моделирования MATLAB/Simulink модель системы (см. рис. 8.3) с ПИД-регулятором.

Примечание. Параметры, характеризующие пациента, задаются преподавателем.

2. Задать желаемые параметры переходной функции в окне **Signal Constraint** исходя из требований к системе управления (согласно теоретическим рекомендациям).

3. Провести оптимизацию ПИД-регулятора в **Signal Constraint**. Пронаблюдать и зафиксировать нуль-полусную диаграмму и переходную функцию системы. Определить степень устойчивости, степень колебательности, время регулирования и перерегулирование системы.

4. Изменив коэффициенты регулятора (10–15%) в большую и меньшую стороны, пронаблюдать и зафиксировать нуль-полусные диаграммы и переходные функции системы. Определить показатели качества переходных процессов и сравнить их с полученными в пункте 3.

5. Установить значения коэффициентов регулятора, полученные в пункте 3. Пронаблюдать и зафиксировать переходную функцию системы относительно возмущающего воздействия. Определить показатели качества переходного процесса.

6. Провести оптимизацию ПИД-регулятора в **Signal Constraint**. Пронаблюдать и зафиксировать нуль-полусную диаграмму и переходную функцию системы. Определить степень устойчивости, степень колебательности, время регулирования и перерегулирование системы.

7. Изменив коэффициенты регулятора (10–15%) в большую и меньшую стороны, пронаблюдать и зафиксировать нуль-полусные диаграммы и переходные функции системы. Определить показатели качества переходных процессов и сравнить их с полученными в пункте 6.

8. Установить значения коэффициентов регулятора, полученные в пункте 6. Пронаблюдать и зафиксировать переходную функцию системы относительно возмущающего воздействия. Определить показатели качества переходного процесса. Сравнить с результатами, полученными в пункте 5.

8.3. Контрольные вопросы и задания

1. Какие параметры определяют зависимость АД от скорости инфузии нитропруссид натрия?

2. Какие требования предъявляются к переходной функции системы стабилизации АД с использованием нитропруссид натрия?

3. Как влияет возмущающее воздействие, рассмотренное в лабораторной работе, на качество переходного процесса в системе с ПИ и ПИД-регулятором?

4. Как влияет на запас устойчивости по амплитуде введение в регулятор дифференцирующего звена?

5. Предложите иные методы оптимизации ПИД-регулятора в схеме регулирования АД пациента.

Учебное издание

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ПО ПРЯМЫМ ОЦЕНКАМ КАЧЕСТВА

**Методические указания
к выполнению лабораторной работы**

Составитель

ТРИГУБ Максим Викторович

Авторская редакция

Подписано к печати . Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать Херох. Усл.печ.л. 0,52. Уч.-изд.л. 0,47.

Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru