

Dr. Bob Davidov

Автоматическая оптимизация Simulink моделей и регуляторов

Цель работы: Ознакомиться с основными методами пакета Simulink Response Optimization для автоматической оптимизации параметров моделей и регуляторов систем управления.

Задача работы: Освоить последовательность оптимизации систем управления в среде Simulink Response Optimization MATLAB.

Приборы и принадлежности: Персональный компьютер, интегрированная среда Матлаб R2012a с пакетом Simulink Design Optimization.

ВВЕДЕНИЕ

Для синтеза нелинейных системы управления трудно переоценить значение алгоритма поиска значений параметров обеспечивающих требуемое поведение систем. Такой алгоритм поддерживается модулем Response Optimization входящем в состав пакета Simulink Design Optimization среды МатЛАБ. Модуль оптимизирует линейные и нелинейные системы управления автоматической подстройкой заданных параметров модели по ее реакции. Автоматическая оптимизация повышает точность и быстродействие систем, сокращает время проектирования систем управления.

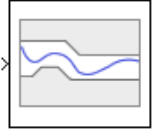
В этой работе на примере оптимизации модели показаны основные этапы работы с пакетом Simulink Response Optimization.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

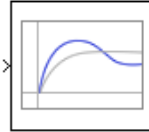
Simulink Response Optimization работает с линейными и нелинейными, дискретными и непрерывными моделями. Пакет выполняет оптимизацию модели в циклической последовательности. На каждом шаге он запускает модель, сравнивает переходный процесс выбранной переменной состояния модели с заданными ограничениями, показывает промежуточные результаты оптимизации, подстраивает параметры модели в соответствии с выбранным алгоритмом численной оптимизации и вновь запускает модель с уточненными параметрами и так до достижения заданной формы переменной состояния модели.

Перед началом оптимизации пользователь выбирает параметры модели которые необходимо подстраивать в процессе оптимизации, задает диапазон изменения параметров, выбирает метод оптимизации (градиентный метод, Монте Карло), назначает критерии оптимизации (например, величину перерегулирования или время переходного процесса) и их величины в виде коридора ограничений переходного процесса (например, см. Рис. 6).

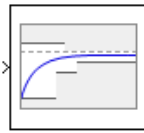
Для оптимизации во временной области можно расставить на графике отклика уровни – границы коридора в который должен попадать оптимизированный сигнал. В библиотеке **Simulink > Signal Design Optimization > Signal Constraints** имеются три блока задания коридоров:



В блоке **Check Custom Bounds** верхние (upper) и нижние (lower) границы (bounds) задаются матрицами амплитуд горизонтальных линий (например, [1.3 1.3; 1.12 1.12]) и соответствующих временных (в секундах) точек начала и концов линий (например, [0 8.5; 8.5 11.4]).



В блоке **Check Against Reference** коридор задается интервалом времени (например, `linspace(0,10)`), функцией эталонного переходного процесса (например, $1 - \exp(-\text{linspace}(0,10)/2)$), абсолютным и относительным отклонениями соответственно от оси и от графика функции.



В блоке **Check Step Response Characteristics** коридор рассчитывается после ввода в закладке **Bounds** основных показателей качества переходного процесса при типовом (ступенчатом) воздействии (Рис. 1.)

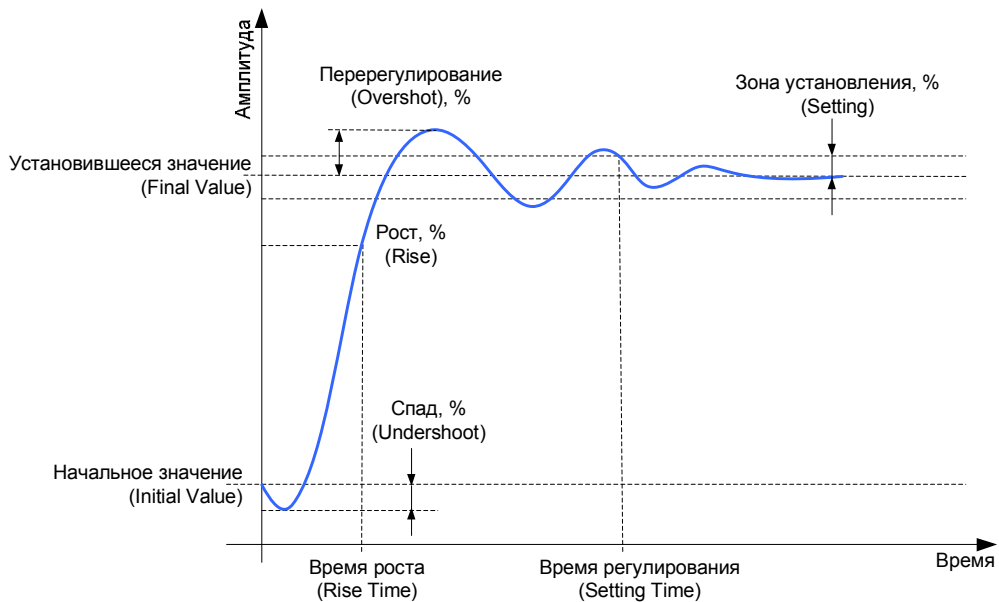





Рис. 1. Основные показатели качества переходного процесса при типовом (ступенчатом) воздействии задаваемые в блоке **Check Step Response Characteristics** для расчета коридора отклика системы.

Во всех блоках **Signal Constraints** кнопкой **Show Plot** окна **Bound** открывается график с заданными границами коридора отклика модели. С помощью меню, мыши или горячих клавиш границы коридора можно перемещать, разворачивать, разбивать, укорачивать и

удлинять до требуемого размера. После установки приемлемых границ, кнопкой **Update block** необходимо зафиксировать новые границы в статусе исходных границ для поиска оптимального переходного процесса. При этом, ранее введенные значения границ на закладке **Bound** будут пересчитаны.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ

Для поиска оптимальных параметров модели при помощи модуля **Response Optimization** пакета **Simulink Design Optimization** следует.

1. В рабочей области (**workspace**) MATLAB задать начальные, наилучшие по предварительной оценке значения параметров модели которые необходимо оптимизировать.
2. Заменить соответствующие значения оптимизируемых параметров модели названиями переменных **workspace**
3. Подсоединить блок(и) **Constraint** ко всем откликам (переменным состояниям) модели формы которых должны соответствовать заданным ограничениям.
4. Задать ограничения - коридоры откликов.
5. Ввести в окно **Design Optimisation** > **Design Variables Set** параметры модели, которые необходимо оптимизировать и указать диапазон поиска параметров.
6. При необходимости ввести **Uncertain Variables Set** (Неточно определенные параметры).
7. Подать на вход модели воздействие (ступенчатое, импульсное, др.), для которого требуется получить желаемый переходной процесс в точках с **Constraint** блоками.
8. Командой **Evaluate Requirements**  построить переходные процессы для начальных значений параметров относительно коридора ограничений.
7. В меню  **Options** > **Optimization Options**
 - выбрать метод и алгоритм оптимизации,
 - задать допустимые отклонения параметров и функции оптимизации
 - задать максимальное количество итераций
8. Нажать кнопку  **Optimize** для запуска процесса оптимизации.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Построение модели системы управления.

1. Рассчитайте передаточную функцию системы управления стабилизацией маятника в верхнем положении.

В качестве примера оптимизации параметров рассмотрим модель стабилизации маятника в верхнем положении равновесия [1, стр. 141]. Пусть масса маятника (Рис. 2) сосредоточена в точке, трение и сопротивление среды отсутствуют, длина маятника L численно равна значению g – ускорения свободного падения. Малые отклонения маятника от верхнего положения равновесия описываются дифференциальным уравнением второго порядка

$$(p^2 - 1)y(t) = u(t),$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие.

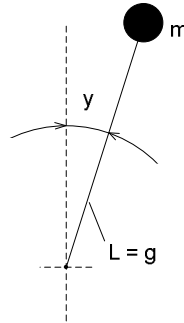


Рис. 2. Маятник. Верхнее положение маятника является примером неустойчивого состояния. Нижнее положение маятника нейтрально в смысле устойчивости – это так называемая колебательная граница устойчивости.

Поскольку порядок объекта равняется двум. То для решения уравнений системы необходим регулятор первого порядка с тремя коэффициентами.

$$(p + a_{0R}) u(t) = - (b_{1Rp} + b_{0R})y(t) \quad (1)$$

Передаточная функция разомкнутого контура стабилизации с расчетными коэффициентами регулятора имеет следующий вид.

$$W_p(s) = W(s)W_{R1}(s) = \frac{1}{s^2 - 1} \frac{15(s + 1)}{s + 7} \quad (2)$$

2. Постройте модель контура (2) стабилизации маятника в Simulink.

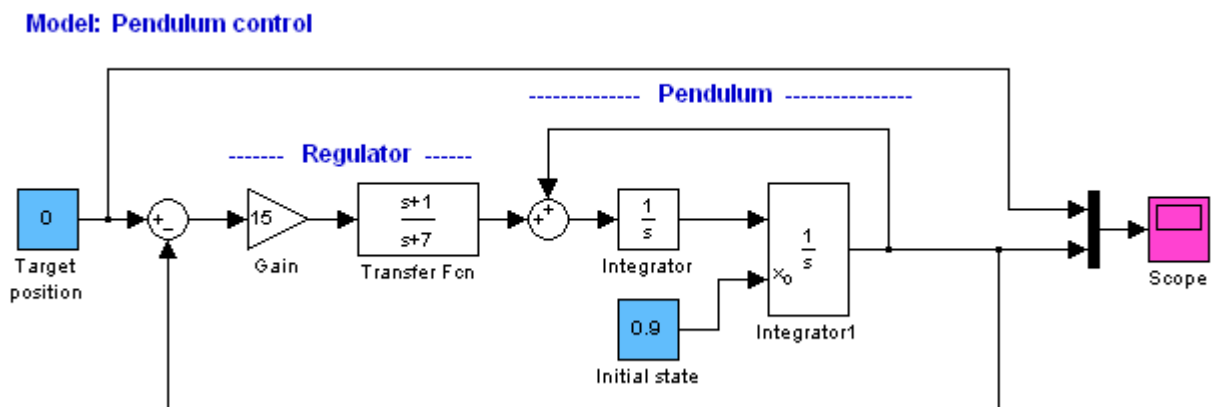


Рис. 3. Модель стабилизации маятника в верхнем положении.

3. Постройте график переходного процесса маятника в верхнее положение с начальной позиции 0.9.

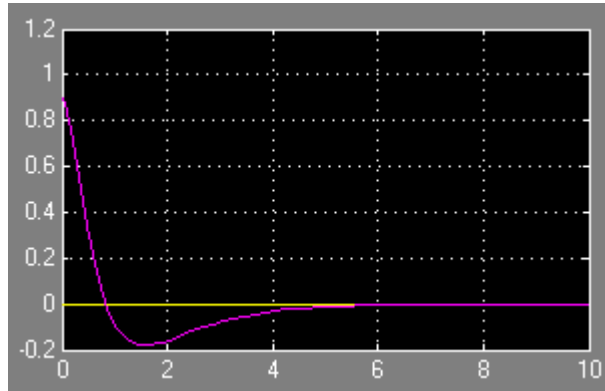


Рис. 4. Переходный процесс маятника $y(t)$, начальное положение $y_0 = 0.9$.

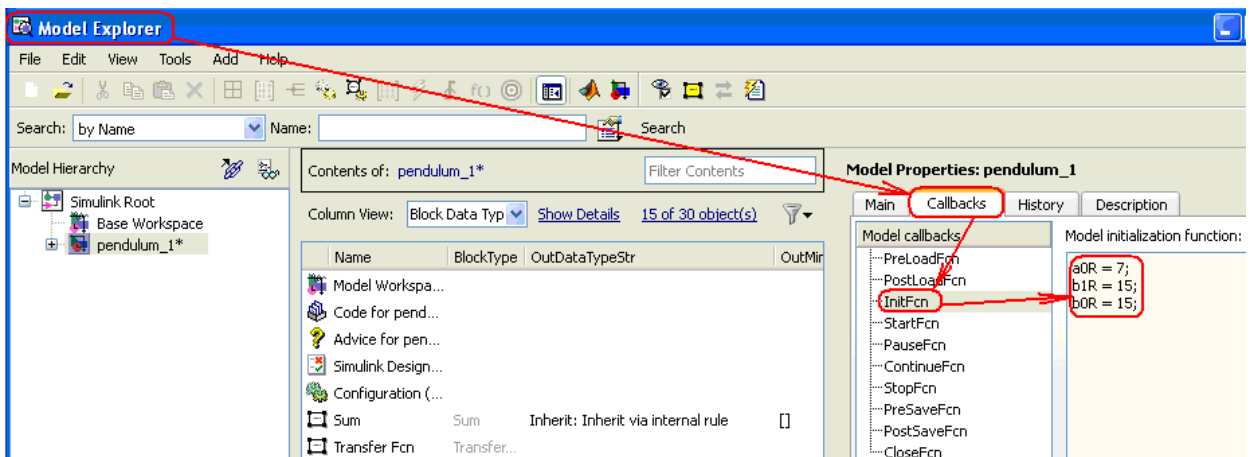
4. Замените числовые значения блоков параметров регулятора модели следующими переменными:

$$a0R = 7; b0R = 15; b1R = 15;$$



5. Откройте Explorer модели и введите начальные значения переменных регулятора в поле `InitFcn`. Или разместите переменные `a0R`, `b0R`, `b1R` с начальными значениями через командную строку в `workspace`.

Примечание. Команды поля `InitFcn` выполняются перед запуском модели. Выражения `a0R = 7; b0R = 15; b1R = 15` позволяют присвоить значения переменным и разместить их в области `workspace`.



6. Добавьте в модель блок, например, `Check Custom Bounds` из библиотеки `Simulink > Signal Design Optimization > Signal Constraints` и подключите его к выходу системы.

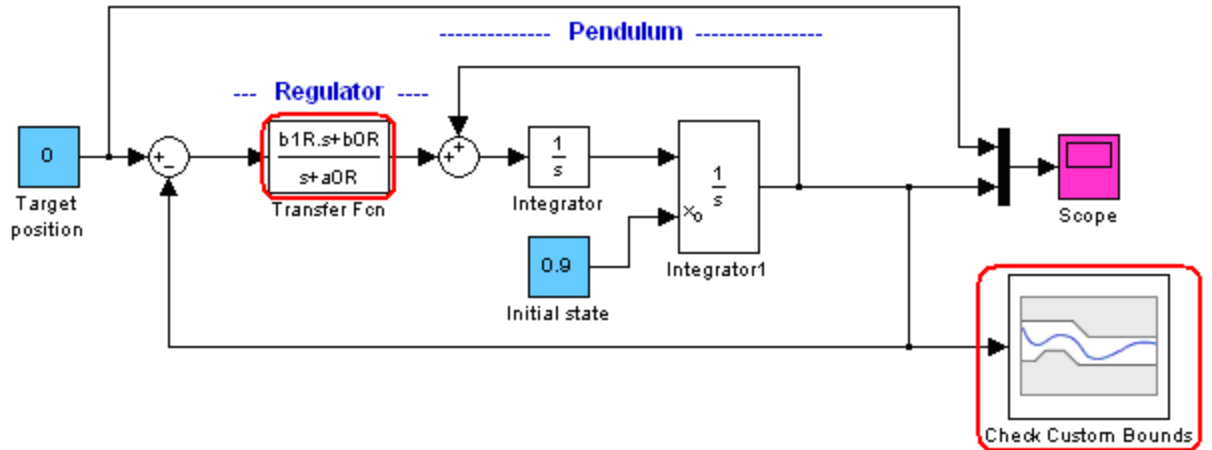


Рис. 5. Модель с **Constraint** блоком задания допустимого коридора движения переменной.

- Используя расчетные данные стабилизации маятника (Рис. 4) задайте допустимые границы коридора движения переменной. Постройте границы коридора введя команду **Show Plot** закладки **Bounds**.

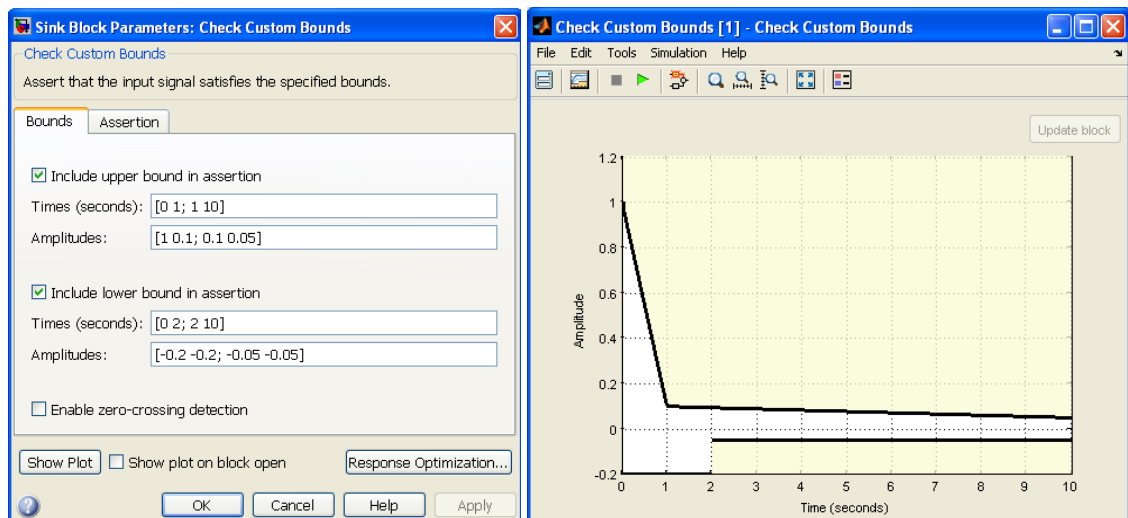
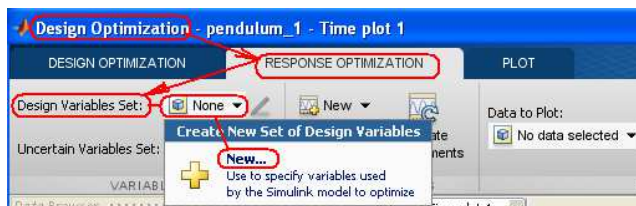
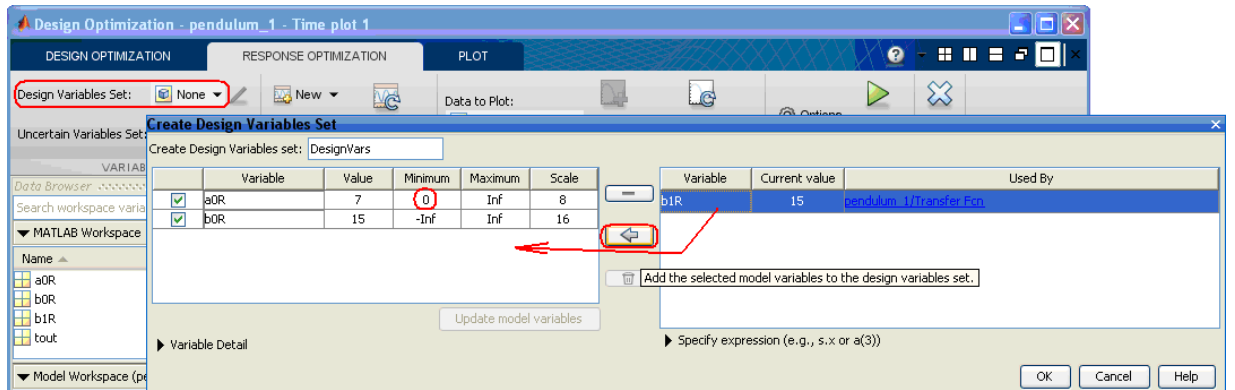



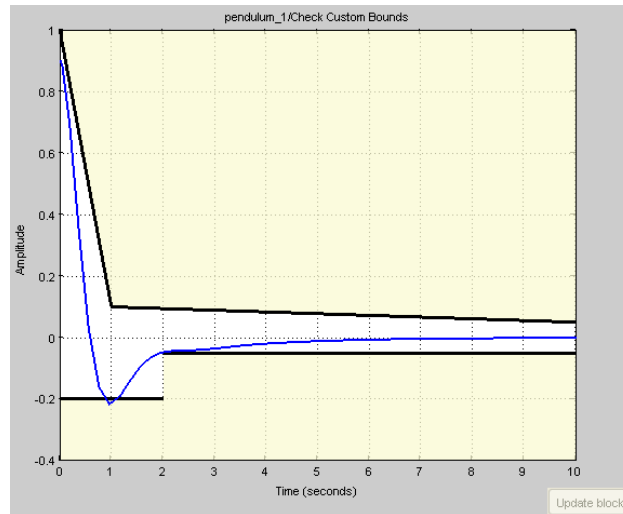
Рис. 6. Границы коридора для оптимального отклика системы.

- Нажмите клавишу **Response Optimization** закладки **Bounds**.
- Добавьте переменные регулятора в список **Design Variable Set** и задайте зону поиска переменных.

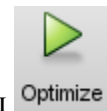




10. Командой **Add Plot**  постройте отклик модели при начальных параметрах. На графике видно расположение границ коридора относительно переходного процесса модели с расчетными параметрами.

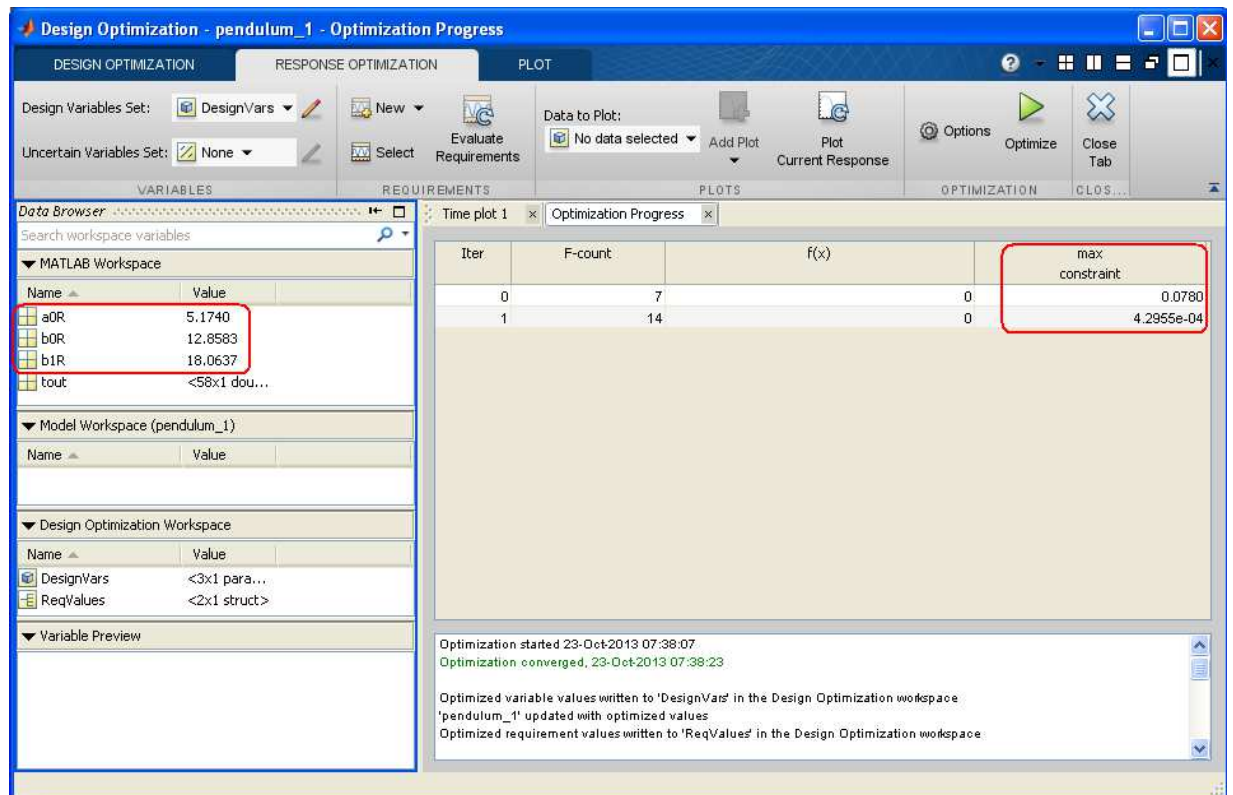


11. Выберите, в каком формате будете наблюдать прогресс оптимизации: в виде табличных данных или в виде изменяющегося графика переходного процесса (отклика системы).



12. Запустите процесс оптимизации параметров модели по реакции системы **Optimize**.

13. Наблюдайте значения переменных a0R; b0R; b1R после окончания оптимизации в окне **Design Optimization > MATLAB workspace** или непосредственно в **workspace**.



14. Для сравнения исходного переходного процесса (Рис. 4) и переходного процесса с оптимизированными параметрами постройте следующую модель.

Примечание. Поле **InitFcn** модели (см. П. 5) должно быть пустым.

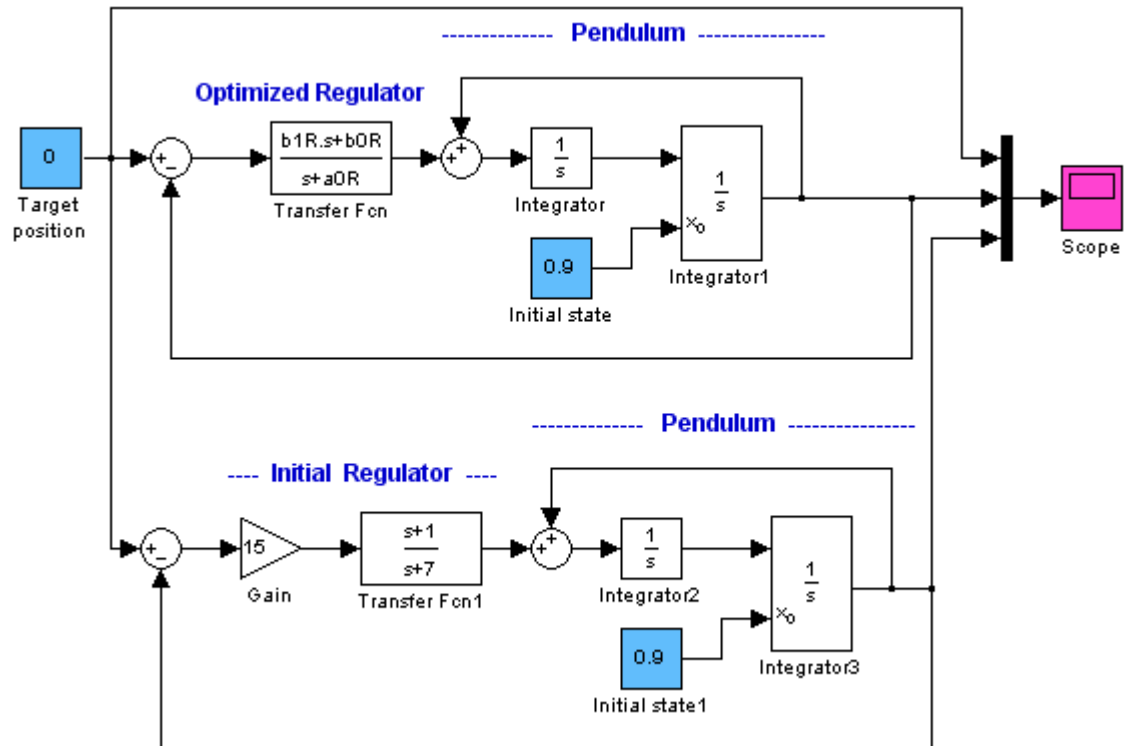
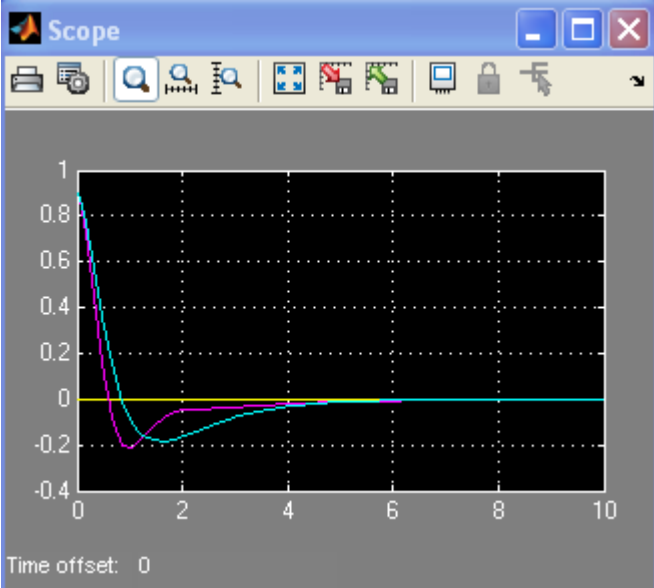
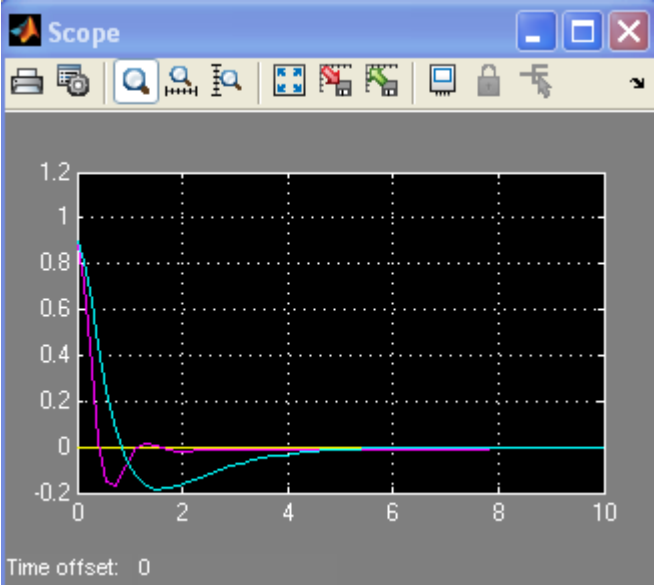
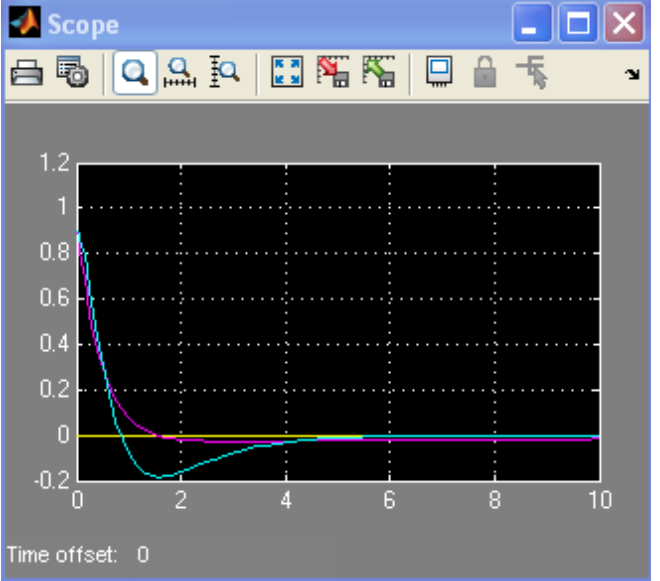


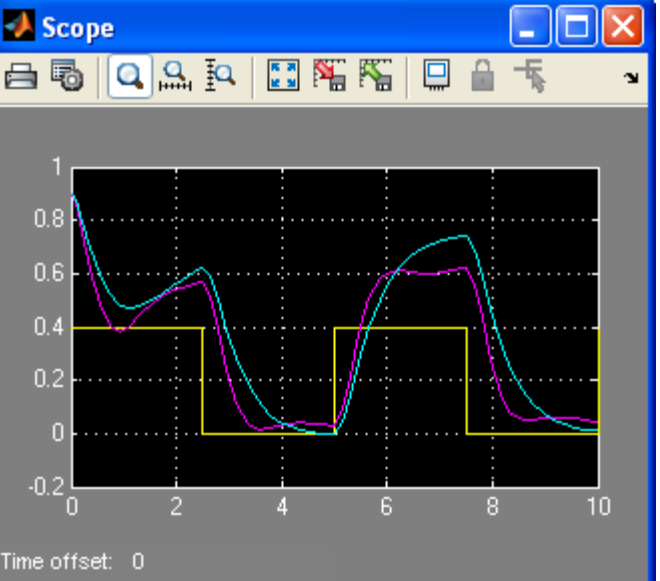
Рис. 7. Модель для сравнения исходного переходного процесса (реакции системы) и процесса после оптимизации.




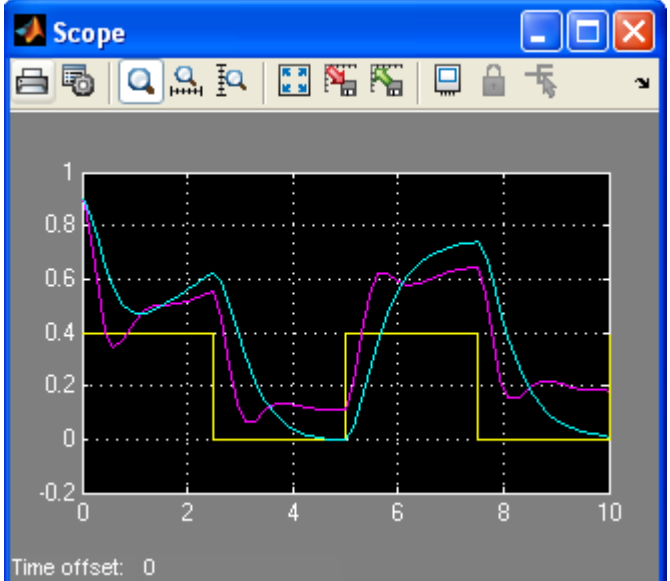



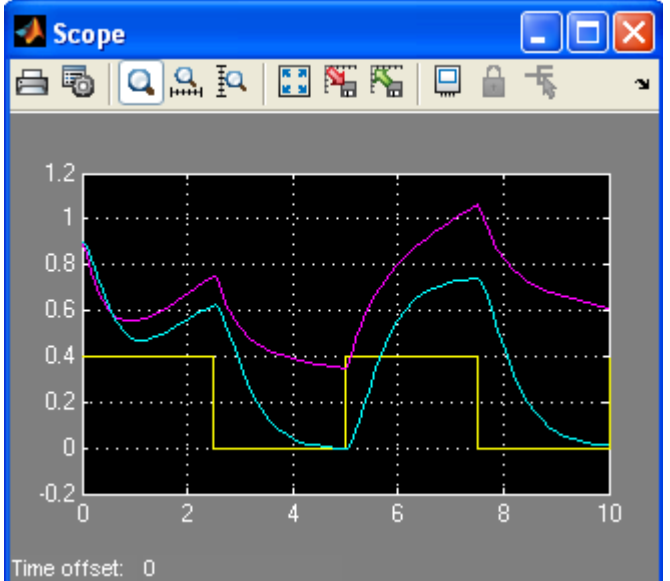
15. Запустите модель. Сравните исходный процесс и процесс после процедуры оптимизации.
16. Постройте табличную зависимость оптимизации системы управления стабилизацией маятника в верхнем положении от метода оптимизации ([Design Optimization > Options > Optimization method](#)).

Метод	Значения параметров	Переходный процесс						
Расчет [1, стр. 141]	$a_{0R} = 7$; $b_{0R} = 15$; $b_{1R} = 15$;	График расчетного процесса показан на рисунках таблицы бирюзовым цветом.						
Gradient descent (Градиентного спуска)	<table border="1" data-bbox="537 386 740 485"> <tr> <td>a_{0R}</td> <td>5.1740</td> </tr> <tr> <td>b_{0R}</td> <td>12.8583</td> </tr> <tr> <td>b_{1R}</td> <td>18.0637</td> </tr> </table>	a_{0R}	5.1740	b_{0R}	12.8583	b_{1R}	18.0637	 <p data-bbox="873 999 1094 1035">Розовый график</p>
a_{0R}	5.1740							
b_{0R}	12.8583							
b_{1R}	18.0637							
Pattern Search	<table border="1" data-bbox="537 1052 740 1150"> <tr> <td>a_{0R}</td> <td>5.3090</td> </tr> <tr> <td>b_{0R}</td> <td>8.4952</td> </tr> <tr> <td>b_{1R}</td> <td>31.2689</td> </tr> </table>	a_{0R}	5.3090	b_{0R}	8.4952	b_{1R}	31.2689	 <p data-bbox="873 1665 1094 1701">Розовый график</p>
a_{0R}	5.3090							
b_{0R}	8.4952							
b_{1R}	31.2689							

Simplex Search	<table border="0"> <tr><td>a0R</td><td>26.5710</td></tr> <tr><td>b0R</td><td>30.8319</td></tr> <tr><td>b1R</td><td>58.1489</td></tr> </table>	a0R	26.5710	b0R	30.8319	b1R	58.1489	 <p>Розовый график</p>
a0R	26.5710							
b0R	30.8319							
b1R	58.1489							

17. Сравните время расчета регулятора и реакцию исходного процесса с соответствующими результатами оптимизации пакета Simulink **Response Optimization**.
18. Для полученных наборов параметров регулятора постройте траектории движения маятника при переменном заданном воздействии в зоне верхней точки равновесия.

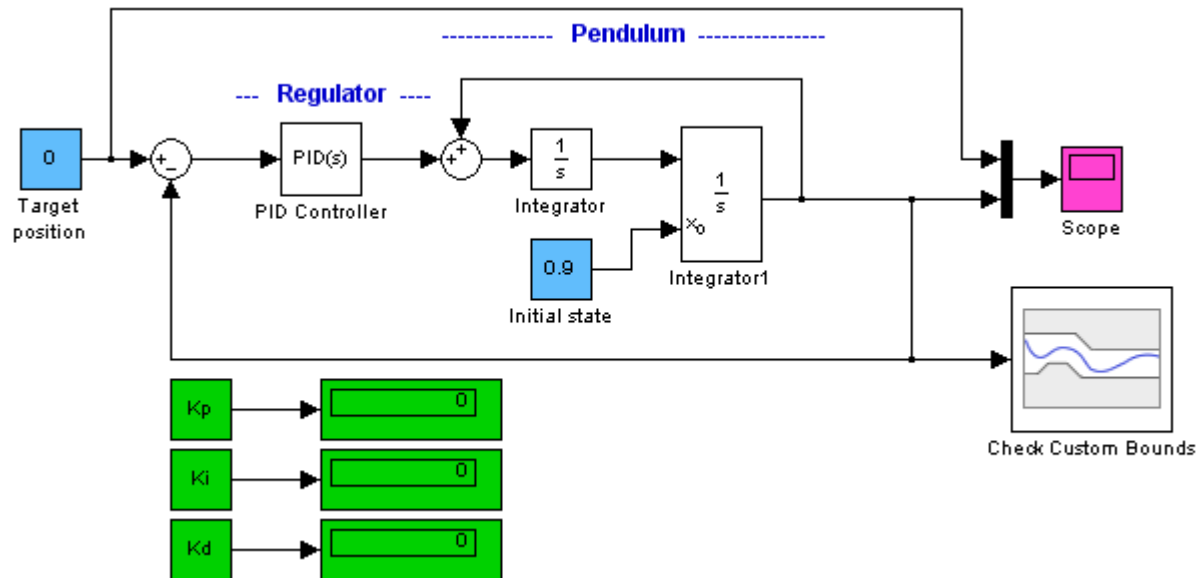
Метод	Значения параметров	Переходный процесс						
Pattern Search	<table border="0"> <tr><td>a0R</td><td>5.1740</td></tr> <tr><td>b0R</td><td>12.8583</td></tr> <tr><td>b1R</td><td>18.0637</td></tr> </table>	a0R	5.1740	b0R	12.8583	b1R	18.0637	 <p>Бирюзовый график – расчетные параметры Розовый график – оптимизированные параметры</p>
a0R	5.1740							
b0R	12.8583							
b1R	18.0637							

		Желтый график – заданные координаты
	<ul style="list-style-type: none">  a0R 5.3090  b0R 8.4952  b1R 31.2689 	
Simplex Search	<ul style="list-style-type: none">  a0R 26.5710  b0R 30.8319  b1R 58.1489 	

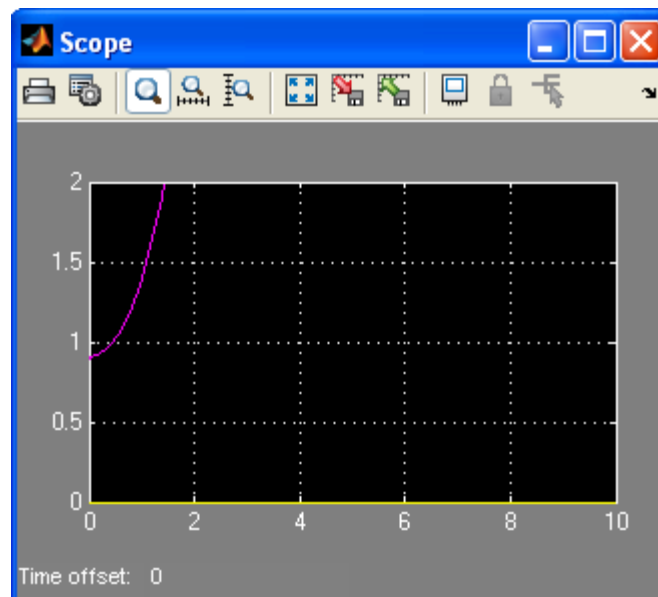
19. Убедитесь в том, что модель оптимальная при одном варианте изменения заданного воздействия, не всегда оптимальна при других вариантах заданного воздействия при одних и тех же значениях параметров модели..

Задание 2. Оптимизация параметров PID регулятора.

1. Постройте модель стабилизации маятника в верхнем положении с **Constraint** блоком и PID регулятором библиотеки Simulink > Continuous > PID controller.



2. Введите нулевые значения усиления пропорциональной K_p , дифференциальной K_d и интегральной K_i составляющих регулятора.
3. Запустите движение маятника из положения 0.9.
4. Убедитесь, что движение неустойчиво.



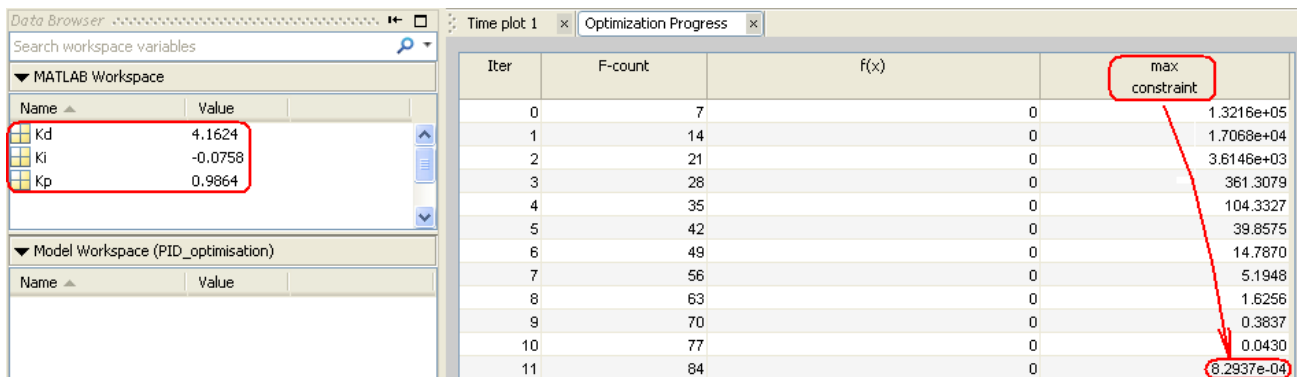
5. Задайте диапазон изменения параметров регулятора с границами коридора для оптимального отклика системы (см. Рис. 6).

Create Design Variables Set

Create Design Variables set:

	Variable	Value	Minimum	Maximum	Scale
<input checked="" type="checkbox"/>	Kd	0	-Inf	Inf	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Ki	0	-Inf	Inf	1
<input checked="" type="checkbox"/>	Kp	0	-Inf	Inf	1

- Запустите процесс поиска оптимальных параметров.
- Убедитесь в сходимости процесса оптимизации. Запишите значения параметров регулятора по окончании процесса.



- Запустите модель. Рассмотрите переходный процесс движения к положению равновесия.

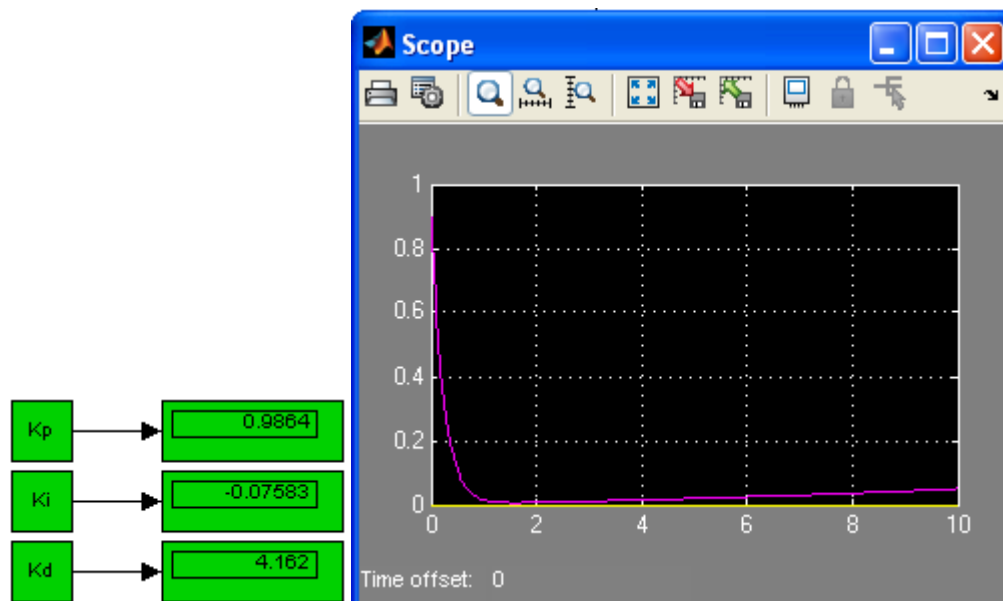
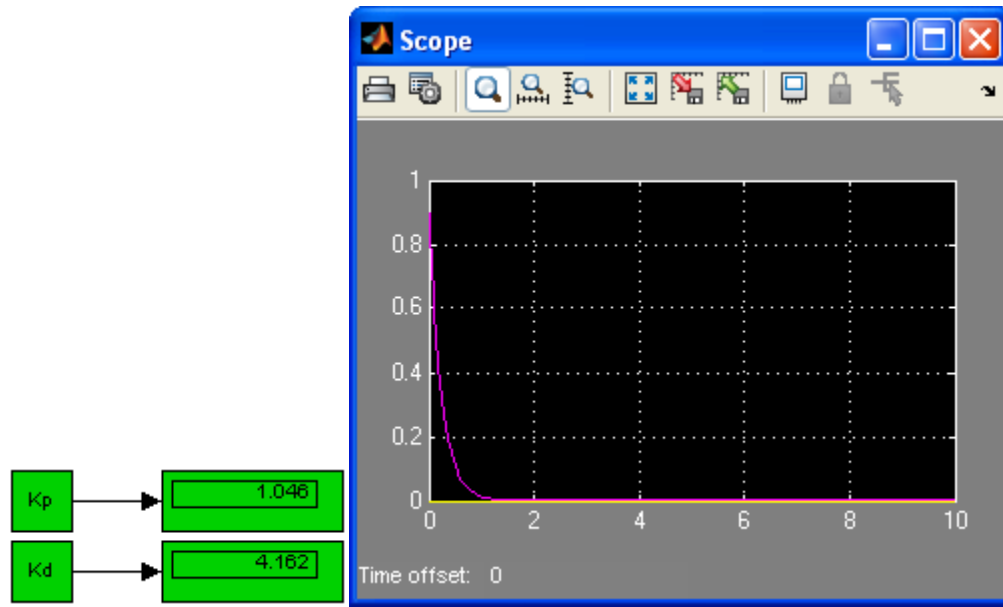


Рис. 8. Движение маятника при оптимизированных параметрах PID регулятора. После выхода в заданное нулевое положение без перерегулирования наблюдается уход маятника из положения равновесия.

- Уберите интегральную составляющую регулятора и повторите оптимизацию параметров и постройте переходный процесс.



10. Поверьте будет ли устойчив процесс стабилизации маятника с оптимизированными K_p и K_d параметрами при изменении заданных координат.

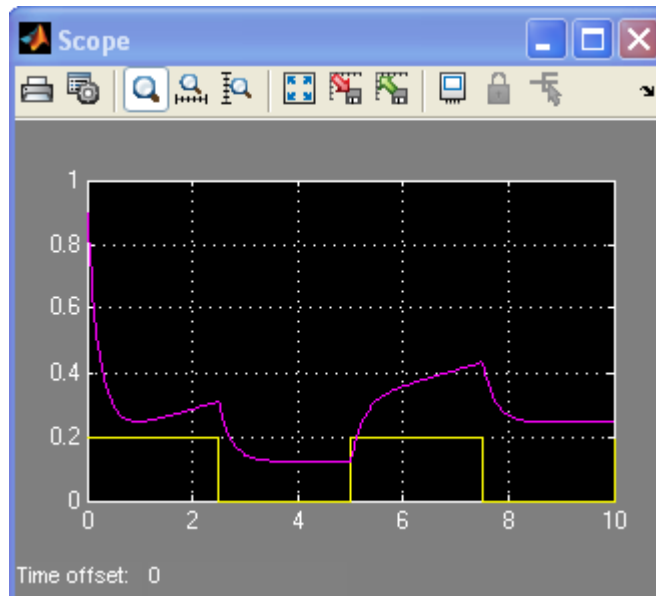


Рис. 9. Движение маятника при изменении заданного положения. Положение маятника (розовый график), заданное положение (желтый график).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие преимущества можно получить при использовании Simulink **Response Optimization** в разработке систем автоматического управления?
2. Как задается целевая функция в пакете Response Optimization?
3. Почему следует рассматривать поведение модели с оптимизированными параметрами при разных входных воздействиях?
4. Как можно настроить параметры PID регулятора Simulink модели?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.А. Алексеев, Д.Х. Имаев, Н.Н. Кузьмин, В.Б. Яковлев. Теория управления: Учеб./ СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 1999.
2. Институт цветных металлов и материаловедения СФУ.
http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F+%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2+%D0%B2+simulink&source=web&cd=3&ved=0CCkQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.icm.institute.sfu-kras.ru%2Fsites%2Ficm.institute.sfu-kras.ru%2Ffiles%2Ftab_rab_3_Response_Optimization.doc&ei=stXeTom3OsLN4QS_2YGdBw&usg=AFQjCNEpOeU_2xnqm913vebuE1Uo9b9ItQ&cad=rjt
3. Dr. Bob Davidov. Компьютерные технологии управления в технических системах
<http://portalnp.ru/author/bobdavidov>.