

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ЦЕЛИ ЗАДАНИЯ

- 🕒 освоение создания нового проекта,
- 🕒 освоение интерфейса программы,
- 🕒 ознакомление с технологией имитационного моделирования, реализованной в программе AnyLogic.
- 🕒 задания данных внутри модели,
- 🕒 освоение создания графика,
- 🕒 освоение изменения параметров во время выполнения модели.

СТУДЕНТ ДОЛЖЕН ЗНАТЬ

- 🕒 понятия: модель, имитационное моделирование, накопитель, параметр, слайдер (бегунок).
- 🕒 основы одного из алгоритмических языков: Java, Pascal или Basic,

СТУДЕНТ ДОЛЖЕН УМЕТЬ

- 🕒 пользоваться операционной системой Windows,
- 🕒 ориентироваться в многооконном интерфейсе прикладных программ.
- 🕒 ориентироваться в интерфейсе программы AnyLogic.

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ

- 🕒 компьютер с установленной программой AnyLogic версии 7.3.4,
- 🕒 курс лабораторно-практических работ.

4.1. ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ ПО ВАРИАНТАМ

ВАРИАНТ 1 Модель физического маятника с ограничителем.

Тело единичной массы прикреплено к неподвижному кронштейну с помощью нерастяжимой и несжимаемой нити длиной l .

В этом задании необходимо построить модель динамической системы, в которой требуется учесть как непрерывные процессы (движение маятника), так и дискретные события (изменение структуры системы при встрече с ограничителем).

Маятник с ограничителем – это система, в которой происходят как непрерывное движение, так и дискретные события, изменяющие характер движения. Такая модель должна содержать уравнения, описывающие непрерывное движение, и стейтчарты, для описания дискретных событий.

Примем следующие предположения:

- объектом исследования является тело массой 1, принимаемое за материальную точку;
- движение тела подчиняется второму закону Ньютона;
- тело находится под действием трех сил: силы тяжести mg , реакции натяжения нити и силы сопротивления воздуха, пропорциональной квадрату скорости движения;
- тело совершает колебательные движения, так как сила

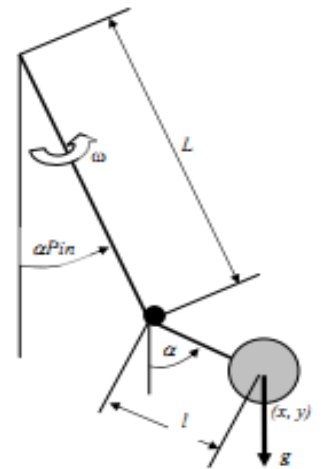


Рис. 1

тяжести mg уравновешивается вертикальной составляющей реакции натяжения нити;

- маятник, при соприкосновении нити с ограничителем начинает закручиваться вокруг ограничителя, т.е. в модели появляется второй центр вращения.

• поведение маятника описывается стейтchartом с двумя состояниями: в одном состоянии описывается непрерывное движение маятника без ограничения (состояние

Без_ограничения), в другом (состояние С_ограничением) – описывается движение вокруг ограничителя, причем в зависимости от состояния, в котором находится система,

$$\begin{aligned} V_{\text{огр}} &= V_{\text{нл_огр}} && \text{ИЛИ} \\ \omega_{\text{огр}} * l &= \omega_{\text{нл_огр}} * (l+1) && \\ &&& \text{ИЛИ} \\ \omega_{\text{огр}} &= \omega_{\text{нл_огр}} * (l+1) / l && \\ &&& \text{И} \\ \omega_{\text{нл_огр}} &= \omega_{\text{огр}} * l / (l+1), && \end{aligned}$$

переменные x , y и ω будут описываться различными уравнениями;

- маятник соприкасается с ограничителем, если он движется против часовой стрелки ($\omega > 0$) и его угол равен α_{Pin} или если он движется по часовой стрелке и его угол меньше, чем $-(2\pi - \alpha_{Pin})$;

- при соприкосновении с ограничителем и изменении длины нити маятника должна сохраняться его линейная скорость, значит, справедливо соотношение:

где: $V_{огр}$ и $V_{не_огр}$ – линейная скорость маятника при движении с ограничителем и без ограничителя, соответственно; $\omega_{огр}$ и $\omega_{неогр}$ – угловая скорость маятника при движении

с ограничителем и без ограничителя, соответственно.

1. Создайте логику модели - Математическую модель: С математической точки зрения имеем задачу Коши:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega; \quad \alpha(0) = \alpha_0; \quad \omega(0) = 0$$

Движение без ограничения:

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{g \cdot \sin(\alpha)}{l} - \mu \cdot \omega \cdot |\omega|; \quad x = l \cdot \sin(\alpha); \quad y = l \cdot \cos(\alpha)$$

Движение при ограничении:

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{g \cdot \sin(\alpha)}{L+l} - \mu \cdot \omega^2; \quad x = l \cdot \sin(\alpha) + L \cdot \sin(\alpha_{Pin}); \quad y = l \cdot \cos(\alpha) + L \cdot \cos(\alpha_{Pin})$$

здесь α - текущий угол отклонения маятника от вертикали, ω - его угловая скорость, μ - коэффициент сопротивления среды (будем считать, что сопротивление среды пропорционально квадрату угловой скорости)

2. Установите начальные значения параметров: модель должна содержать четыре переменные: x , y , α и ω , и шесть параметров: L , l , μ , α_{Pin} , g и α_0 . Нужно задать им начальные значения в соответствии с их физическим смыслом. Начальное значение угловой скорости ω равно 0. Начальное значение переменной α задается параметром с именем α_0 . Переменные x и y задают координаты центра масс маятника.

3. Снабдите диаграмму активного объекта текстовыми комментариями.

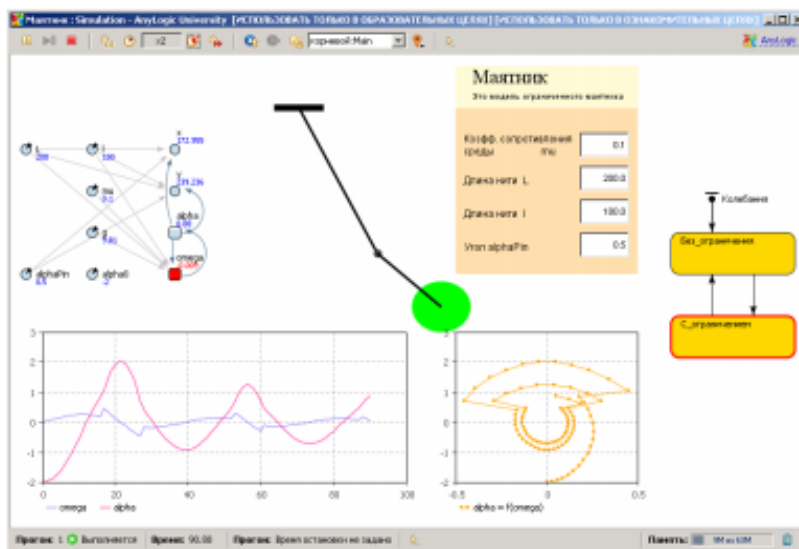
4. В нижней части диаграммы класса активного объекта разместите графики зависимости α и ω от времени, и фазовую диаграмму зависимости α от ω .

Рис. 2

5. Постройте презентацию маятника в виде изображения

круга на нити, такую, как на рисунке 2. Координаты (X, Y) ограничителя, который задается овалом, определены так:

$$X: L \cdot \sin(\alpha_{Pin}) \quad Y: L \cdot \cos(\alpha_{Pin})$$



6. Сделайте два специальных поля для ввода данных типа

Текстовое поле. В эти поля при работе модели нужно вводить новые значения параметров l и μ , изменяя их в процессе выполнения модели.

7. Запустите модель. Проведите эксперименты с установкой различных параметров модели и наблюдайте, как изменяется характер сердцебиения. Отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением α lp.

ВАРИАНТ 2 Построение функциональной модели калькулятора, вычисляющего функцию

Требуется построить функциональную модель калькулятора, вычисляющего функцию .
Примем следующие предположения:

- С помощью цифровых кнопок набирается значение « », которое отображается на «цифровом табло».
- Кнопкой Backspace можно последовательно убирать последние цифры.
- Нажатие кнопки « » приводит к стиранию с «цифрового табло» значение « » и подготовки его к вводу значения « », которое будет восприниматься как показатель степени.
- С помощью цифровых кнопок набирается значение « », которое отображается на «цифровом табло».
- Кнопкой Backspace можно последовательно убирать последние цифры.
- Нажатие кнопки «» появлению значения функции в цифровом табло.
- Нажатие кнопки C (Clear) очищает табло.

1. Создайте логику модели - нам понадобятся две переменных, четыре параметра, элементы управления, элементы презентации, а также фрагменты программы на языке Java, определяющие логику модели.

2. Установите начальные значения параметров: два параметра и , которые будут хранить «число», набираемое кнопками, т.е. строку цифр, позиция которых будет соответствовать их разрядам, типа String (строковый) с начальным значением «пустая строка», две переменных и типа int (целый) с начальным значением 0 и два параметра:

- параметр K типа int с начальным значением 0 – в нем будем сохранять количество введенных цифр;
- параметр S типа String с начальным значением “” – в нем будем сохранять строковое изображение числа, введенного на предыдущем шаге.

3. Снабдите диаграмму активного объекта элементами управления типа «текст» и «кнопка».

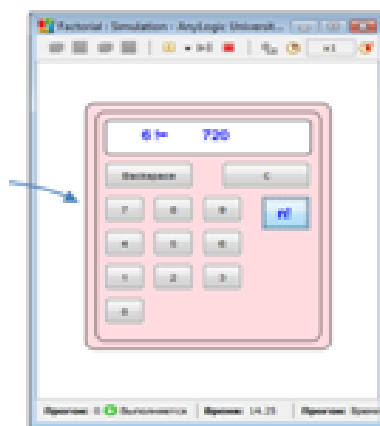
4. Вычисление функции осуществляйте с помощью цикла с параметром.

5. Постройте презентацию калькулятора в виде скругленного прямоугольника с кнопками и экраном, такую, как на рисунке 1.

7. Напишите фрагменты кодов для всех созданных кнопок на языке Java.

8. Запустите модель. Проведите эксперименты с набором различных чисел (x и), а также их частичным или полным стиранием, и наблюдайте, как изменяется значение функции.

Отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением alp. Рис. 1



ВАРИАНТ 3 Построение модели сердца

Рассматривается простейшая математическая модель, описывающая процессы, похожие на биение сердца. Эта модель описана двумя дифференциальными уравнениями первого порядка:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{(x - x^3 - b)}{\varepsilon}, \quad \frac{db}{dt} = x - x_0,$$

где: x – радиус сердца, x0 – его начальное значение, b – переменная, а ε – параметр eps.

В этой модели требуется исследовать характер зависимостей переменных x и b от времени при разных значениях параметра eps, а также построить фазовую диаграмму зависимости радиуса x от переменной b.

1. Создайте логику модели - Математическую модель.

2. Установите начальные значения параметров: В нашей модели должны присутствовать две переменные состояния – x и b , и два параметра – x_0 и eps , где x_0 - начальное значение x . Начальное значение переменной b зададим константой 0. Пусть $x_0 = 0.5$, $\text{eps} = 0.01$.
3. Снабдите диаграмму активного объекта текстовыми комментариями.
4. Измените период обновления данных на 0,1 в поле Период на странице свойств Дополнительного класса активного объекта.
5. Постройте графики зависимостей переменных b и x от времени и фазовую диаграмму b от x . Временной диапазон укажите равным 10.
6. Постройте презентацию сердца в виде изображения овала, радиус которого будет меняться, такую, как на рисунке 1.
7. Сделайте слайдер для параметра eps , установив ограничения от 0,01 до 0,5, и для параметра x_0 , установив ограничения от 0 до 1.
8. Запустите модель. Проведите эксперименты с установкой различных параметров модели (x_0 и eps) и наблюдайте, как изменяется характер сердцебиения. Отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением `alp`.

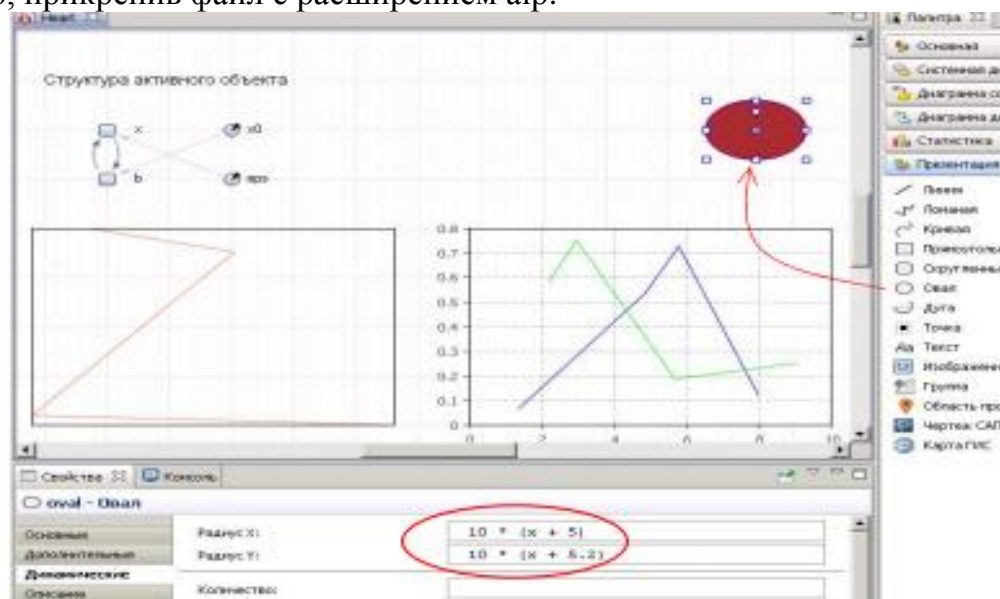


Рис. 1

ВАРИАНТ 4 Дискретная модель электронных часов

Требуется построить дискретно-событийную модель электронных часов, работающих от импульсного генератора.

Примем следующие предположения:

- генератор посылает часам сигнал с интервалом в 1 секунду ("тик");
- каждый разряд секунд считает число пришедших на его вход "тиков" по модулю 60 и передает на свой выход сигнал переполнения после прихода на его вход каждого шестидесятого сигнала;
- аналогичным образом работает разряд минут;
- разряд часов считает число пришедших на его вход "сигналов" по модулю 24 и после прихода на его вход каждого 24-го сигнала обнуляется сам и обнуляет счетчики минут и секунд;
- на презентации значение часов, минут и секунд должно отображаться в соответствующем поле в виде двухзначного числа, записанного арабскими цифрами;
- если значение меньше 10, то первой цифрой должен быть 0;
- при превышении разряда часов все поля должны высвечивать два нуля ровно на 1 секунду, пока не изменится значение разряда секунд на 1.

1. Создайте логику модели - вам понадобятся три переменных, пять параметров, элемент событие, три диаграммы состояний (стрейчарта), элементы презентации, а также фрагменты программы на языке Java, определяющие логику модели.
2. Установите начальные значения параметров: три переменные , и , которые будут хранить «число» секунд, минут и часов, переведенное в строку из 2-х цифр, типа String (строковый) с начальным значением «пустая строка»; три параметра: , и с начальным значением 0 типа int (целый) и пять параметров: , , , и типа boolean с начальным значением false.
3. Снабдите диаграмму активного объекта элементами управления типа «текст» для названий и комментариев.
4. Постройте презентацию электронных часов в виде скругленного прямоугольника с тремя экранами, такую, как на рисунке 1.
5. Напишите фрагменты кодов для всех элементов диаграмм состояний на языке Java.
6. Запустите модель. Проведите эксперимент. Отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением alp.



Рис. 1

ВАРИАНТ 5 Построение функциональной модели калькулятора, вычисляющего функцию $y = x^z$

Требуется построить функциональную модель калькулятора, вычисляющего функцию $y = x^z$.
Примем следующие предположения:

- С помощью цифровых кнопок набирается значение « x », которое отображается на «цифровом табло».
- Кнопкой Backspace можно последовательно убирать последние цифры.
- Нажатие кнопки « $\frac{1}{x}$ » приводит к стиранию с «цифрового табло» значение « x » и подготовки его к вводу значения « z », которое будет восприниматься как знаменатель показателя степени.
- С помощью цифровых кнопок набирается значение « z », которое отображается на «цифровом табло».
- Кнопкой Backspace можно последовательно убирать последние цифры.
- Нажатие кнопки « $=$ » появлению значения функции $y = x^z$ в цифровом табло.
- Нажатие кнопки C (Clear) очищает табло.

1. Создайте логику модели - нам понадобятся две переменных, четыре параметра, элементы управления, элементы презентации, а также фрагменты программы на языке Java, определяющие логику модели.
2. Установите начальные значения параметров: два параметра и , которые будут хранить «число», набираемое кнопками, т.е. строку цифр, позиция которых будет соответствовать их разрядам, типа String (строковый) с начальным значением «пустая строка»; две переменных: типа double (вещественный двойной точности) с начальным значением 0 и типа int (целый) с начальным значением 1 и два параметра:
 - параметр K типа int с начальным значением 0 – в нем будем сохранять количество введенных цифр;

- параметр S типа `String` с начальным значением “” – в нем будем сохранять строковое изображение числа, введенного на предыдущем шаге.

3. Снабдите диаграмму активного объекта элементами управления типа «текст» и «кнопка».

4. Вычисление функции осуществляйте с помощью арифметических операций языка Java .

5. Постройте презентацию калькулятора в виде скругленного прямоугольника с кнопками и экраном, такую, как на рисунке 1.

7. Напишите фрагменты кодов для всех созданных кнопок на языке Java.

8. Запустите модель. Проведите эксперименты с набором различных чисел (x и y), а также их частичным или полным стиранием, и наблюдайте, как изменяется значение функции.

Отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением `alp`.

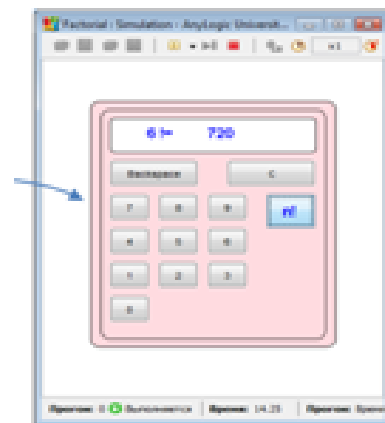


Рис. 1

ВАРИАНТ 6 Модель физического маятника.

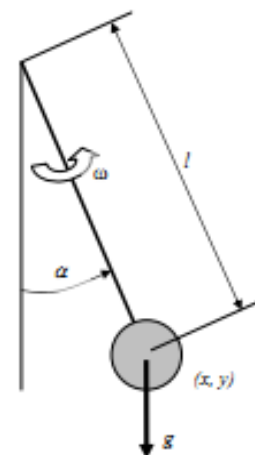
Тело единичной массы прикреплено к неподвижному кронштейну с помощью нерастяжимой и несжимаемой нити длиной l .

Требуется исследовать колебательные движения тела.

Примем следующие предположения:

Рис. 1

- объектом исследования является тело массой 1 , принимаемое за материальную точку;
- движение тела подчиняется второму закону Ньютона;
- тело находится под действием трех сил: силы тяжести mg , реакции натяжения нити и силы сопротивления воздуха, пропорциональной квадрату скорости движения;
- тело совершает колебательные движения, так как сила тяжести mg уравновешивается вертикальной составляющей реакции натяжения нити;



1. Создайте логику модели - Математическую модель: С математической точки зрения имеем задачу Коши:

$$\begin{aligned} \frac{d\alpha}{dt} &= \omega; & \frac{d\omega}{dt} &= -\frac{g \cdot \sin(\alpha)}{l} - \mu \cdot \omega \cdot |\omega|; & \alpha(0) &= \alpha_0; \\ x &= l \cdot \sin(\alpha); & y &= l \cdot \cos(\alpha); & \omega(0) &= 0 \end{aligned}$$

здесь α - текущий угол отклонения маятника от вертикали, ω - его угловая скорость, μ - коэффициент сопротивления среды (будем считать, что сопротивление среды пропорционально квадрату угловой скорости)

2. Установите начальные значения параметров: Четыре параметра l , m , g и α_0 так же необходимо создать на диаграмме класса и задать им начальные значения в соответствии с их физическим смыслом. Начальное значение угловой скорости ω равно 0 . Начальное значение переменной α задается параметром с именем α_0 . Переменные x и y задают координаты центра масс маятника.

3. Снабдите диаграмму активного объекта текстовыми комментариями.

4. В нижней части диаграммы класса активного объекта разместите графики зависимости α и ω от времени, и фазовую диаграмму зависимости α от ω .

5. Постройте презентацию маятника в виде изображения круга на нити, такую, как на рисунке 2.

6. Сделайте два специальных поля для ввода данных: Текстовое поле, более известное как поле редактора или editBox. В эти поля при работе модели нужно вводить новые значения параметров l и m , изменяя их в процессе выполнения модели.

7. Запустите модель. Проведите эксперименты с установкой различных параметров модели (x_0 и ϵ) и наблюдайте, как изменяется характер сердцебиения. Отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением alp .

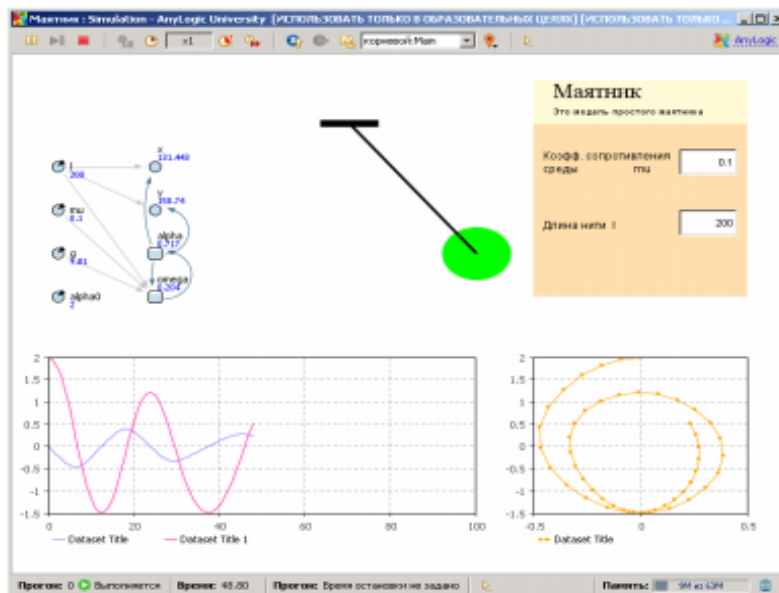


Рис. 2

ВАРИАНТ 7. Динамическое моделирование процесса управления

Существует несколько базовых принципов управления, предполагающих наличие определенных элементов и связей, объединенных в систему (рис. 1).

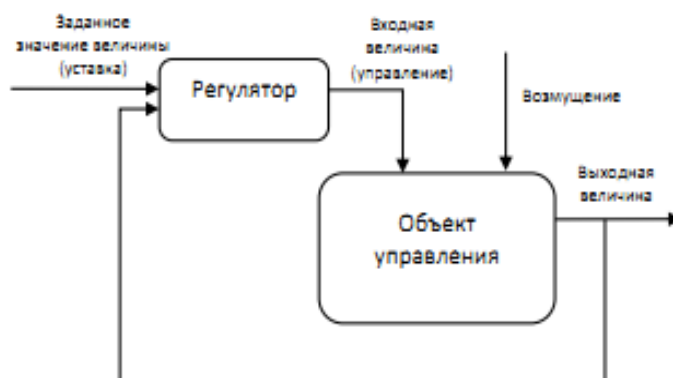


Рис. 1. Схема системы управления

Выходная величина типичного объекта управления описывается уравнением:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1}{a} \cdot (k \cdot u - z - h),$$

где a – коэффициент пропорциональности, определяемый параметрами объекта управления; k – коэффициент усиления объекта по управлению; z – изменяющееся внешнее воздействие (возмущение).

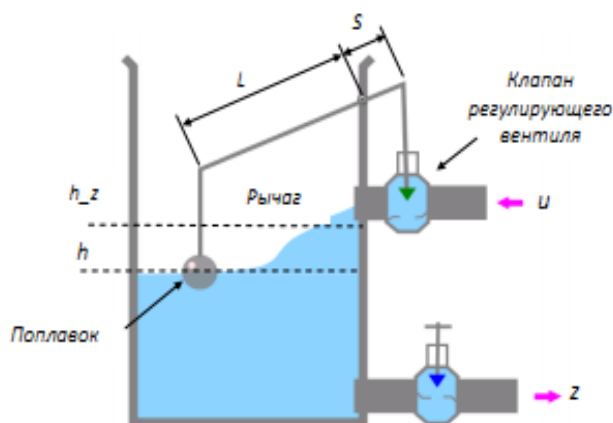
Регулятор можно строить разными способами:

- с пропорциональным законом управления (П-регулятор);
- с интегральным законом управления (И-регулятор);
- с пропорционально-дифференциальным законом управления (ПД-регулятор);
- с пропорционально-интегральным законом управления (ПИ-регулятор);
- с пропорционально-интегрально-дифференциальным законом управления (ПИД-регулятор).

Требуется построить модель системы регулирования уровня жидкости в емкости с пропорционально-интегральным законом управления (рис. 2).

Входную величину (управление) определим следующим образом:

$$u = u_i + k_p \cdot (h_z - h),$$



где h_z – заданное значение уровня; u – управление, которое состоит из интегральной и пропорциональной части; u_i – интегральная составляющая управления; k_p – коэффициент при пропорциональной составляющей управления.

Рис. 2. Система регулирования уровня в емкости

Интегральная составляющая управления может быть задана:

$$\frac{du_i}{dt} = k_i \cdot (h_z - h),$$

где k_i – коэффициент при интегральной составляющей управления.

Для создания модели выполните следующие шаги:

1. Создайте логику модели - Математическую модель.
2. Установите начальные значения параметров: $a = 10$; $k = 1$; $k_p = 0.5$; $k_i = 0.5$; $z = 80$; $h_z = 300$. В накопителе h вычисляется выходная величина – уровень наполнения емкости. Установите его начальное значение: 80.
3. Внесите в модель элемент Временной график. Настройте его свойства для показа графика накопителя h .
4. Постройте анимационную модель системы такую, как на рисунке 2. Для этого необходимо связать поведение воды, рычага и поплавка с значением накопителя h .
5. Запустите эксперимент и отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением `alp`.

ВАРИАНТ 8 Построение функциональной модели калькулятора, вычисляющего квадратный корень

Требуется построить функциональную модель калькулятора, вычисляющего квадратный корень.

Примем следующие предположения:

- С помощью цифровых кнопок набирается значение «n», которое отображается на «цифровом табло».
- Кнопкой Backspace можно последовательно убирать последние цифры.
- Нажатие кнопки « $\sqrt{\quad}$ » приводит к появлению значения квадратного корня из n в цифровом табло.
- Нажатие кнопки C (Clear) очищает табло.

Нам понадобятся одна переменная, три параметра, элементы управления, элементы презентации, а также фрагменты программы на языке Java, определяющие логику модели

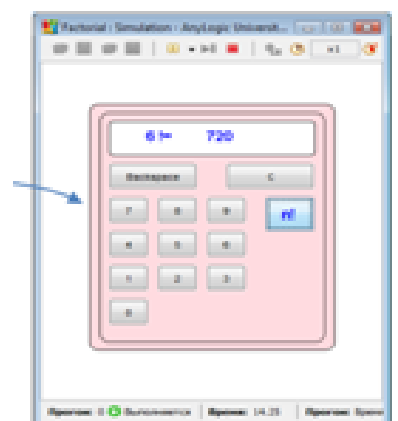
1. Создайте логику модели - нам понадобятся одна динамическая переменная, три параметра, элементы управления, элементы презентации, а также фрагменты программы на языке Java, определяющие логику модели.
2. Установите начальные значения параметров: параметра K , который будет хранить «число», набираемое кнопками, т.е. строку цифр, позиция которых будет соответствовать их разрядам, типа String (строковый) с начальным значением «пустая строка», две переменных n и S типа double (вещественный двойной точности) с начальным значением 0 и два параметра:

- параметр K типа int с начальным значением 0 – в нем будем сохранять количество введенных цифр;
- параметр S типа String с начальным значением “” – в нем будем сохранять строковое изображение числа, введенного на предыдущем шаге.

3. Снабдите диаграмму активного объекта элементами управления типа «текст» и «кнопка».
4. Вычисление функции осуществляйте с помощью встроенной математической функции.

Рис. 1

5. Постройте презентацию калькулятора в виде скругленного



прямоугольника с кнопками и экраном, такую, как на рисунке 1.

6. Напишите фрагменты кодов для всех созданных кнопок на языке Java.

7. Запустите модель. Проведите эксперименты с набором различных чисел, а также их частичным или полным стиранием, и наблюдайте, как изменяется значение функции. Отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением alp.

ВАРИАНТ 9 Дискретная модель электронного календаря

Требуется построить дискретно-событийную модель электронного календаря, работающего от импульсного генератора.

Примем следующие предположения:

- генератор посылает часам сигнал с интервалом в 1 сутки (в модели 1 сутки должны равняться единице модельного времени);
- каждый разряд дней считает число пришедших на его вход "сигналов" по модулю 30 (если число месяцев равно 4, 6, 9 или 11), 29 (если число месяцев равно 2 и текущий год минус 2016 кратно 4, иначе 28), иначе - 31 и передает на свой выход сигнал переполнения после прихода на его вход каждого сигнала, превышающего указанное число, а сам выставляется в 1;
- каждый разряд месяцев считает число пришедших на его вход "сигналов" по модулю 12, передает на свой выход сигнал переполнения после прихода на его вход каждого тринадцатого сигнала и выставляется равным 1;
- разряд годов считает число пришедших на его вход "сигналов", переполнение этого разряда не предусмотрено;
- на презентации значение дней должно отображаться в соответствующем поле в виде двухзначного числа, записанного арабскими цифрами, причем если значение меньше 10, то первой цифрой должен быть 0;
- на презентации значение месяцев должно отображаться в соответствующем поле в виде словесного наименования месяца (например, если число месяцев равно 1 – «января», если число месяцев равно 2 – «февраля» и т.д.);
- на презентации значение лет должно отображаться в соответствующем поле в виде четырехзначного числа, записанного арабскими цифрами, к которому через пробел добавляется слово «год».

1. Создайте логику модели - вам понадобятся три переменных, семь параметров, элемент событие и 3 элемента – текстовое поле, три диаграммы состояний (стрейчарта), элементы презентации, а также фрагменты программы на языке Java, определяющие логику модели.

2. Установите начальные значения параметров: три переменные, и, которые будут хранить «число» дней, наименование месяца и «число» лет, переведенное в строку, типа String (строковый) с начальным значением «пустая строка»; три параметра: , с начальным значением 0 и с начальным значением 2016 типа int (целый) и четыре параметра: , , и типа boolean с начальным значением false.

3. Снабдите диаграмму активного объекта элементами управления типа «текст» для названий и комментариев.

4. Постройте презентацию электронного календаря в виде, аналогичном показанному на рисунке 1.

5. Напишите фрагменты кодов для всех элементов диаграмм состояний на языке Java.

6. Добавьте на презентацию три элемента типа «текстовое поле» для вывода числа дней наименования месяца и числа лет и обеспечьте возможность ввода в эти поля числа дней, названия месяца и года с клавиатуры.



Рис. 1

7. Запустите модель. Проведите эксперимент. Отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением alr.

ВАРИАНТ 10 Модель с распределенными параметрами

Существует область задач, когда параметры системы изменяются по времени и пространственным координатам. Для таких систем создаются модели с распределенными параметрами. Они строятся на основе систем дифференциальных уравнений в частных производных. В основе этого подхода лежат численные методы. Для пространственных координат и времени выбираются значения шагов изменения. Затем строится конечно-разностная схема, которая связывает параметры в систему уравнений.

Толстая однородная пластина разделяет две среды с разными температурами (рис. 1). Требуется построить модель распределения температуры для внутренних точек пластины.

1. Создайте логику модели - Математическая модель данной системы – уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; \quad x_0 \leq x \leq x_k; \quad t > 0; \quad a > 0,$$

где u – температура; x – пространственная координата; a – коэффициент теплопроводности пластины; t – время.

Уравнение описывает распределение температуры как функции двух переменных (времени и координаты) по толщине бесконечной плоской пластины.

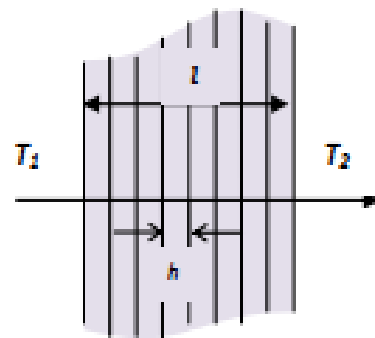


Рис. 1. Пластина, разделяющая две среды

2. Установите начальные значения параметров. Будем полагать, что в начальный момент времени температура пластины по всей толщине одинакова. Начальное условие: $u(x, t = 0) = T_0$. Граничные условия $u(x_0, t) = T_1$; $u(x_k, t) = T_2$ (значения начальной и конечной температур не изменяются во времени).

3. Для построения модели в AnyLogic задайте выражения накопителя u в разных сечениях пластины (рис. 2).

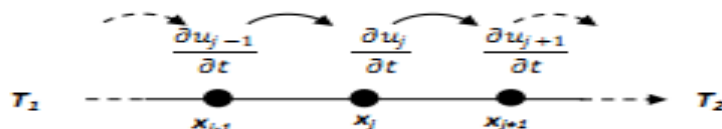


Рис. 2. Фрагмент разностной схемы модели

Частная производная второго порядка (правая часть уравнения теплопроводности) приближенно может быть выражена через значения функции u в точке j и в двух соседних точках $j-1$ и $j+1$:

$$\frac{\partial^2 u(j)}{\partial x^2} \approx \frac{1}{h} [u_{j+1}(t) - 2u_j(t) + u_{j-1}(t)].$$

Таких уравнений будет столько, сколько сечений было выделено в пластине.

4. Постройте модель для пяти сечений. Для этого введите в модель четыре параметра. Для температуры среды T_1 (по левую сторону пластины): u_0 , значение по умолчанию 200. Для T_2 : u_6 – значение 0. Для коэффициента теплопроводности введем параметр a со значением 0.5. Параметр h_Sq (квадрат шага сетки) примем равным единице.

5. Задайте форму уравнения накопителя u_1 для температуры первого слоя пластины:

$$a \cdot (u_2 - 2 \cdot u_1 + u_0) / h_Sq.$$

В качестве начального значения T_0 выберите 20. Аналогично введите в модель еще четыре накопителя.

6. Для объединения всех элементов в систему уравнений установите связи (рис. 3).

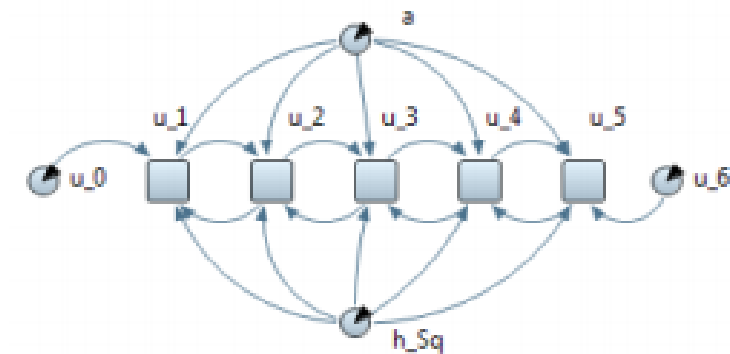


Рис. 3

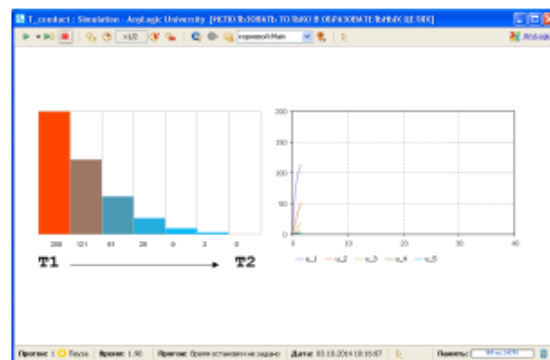


Рис. 4

7. Внесите в модель Временной график и добавьте в него пять элементов данных для отображения значений температур в соответствующих накопителях.
8. Постройте анимационную модель изменения температуры в слоях пластины, как на рис. 4.
9. В соответствии с математической моделью запустите эксперимент, демонстрирующий рост температуры и передачу тепла от более нагретых областей к более холодным, и отправьте модель на проверку преподавателю, прикрепив файл с расширением alr.