

Лабораторная работа № 0-2

Разработка простых моделей динамических систем

В этом разделе мы создадим несколько простейших моделей, которые дадут первое представление о возможностях изучаемой инструментальной системы и методах создания моделей с помощью AnyLogic.

1 Модель сердечных сокращений

Мы начнем с построения очень простой модели биения сердца. Рис.1 показывает окна редактора этой модели.

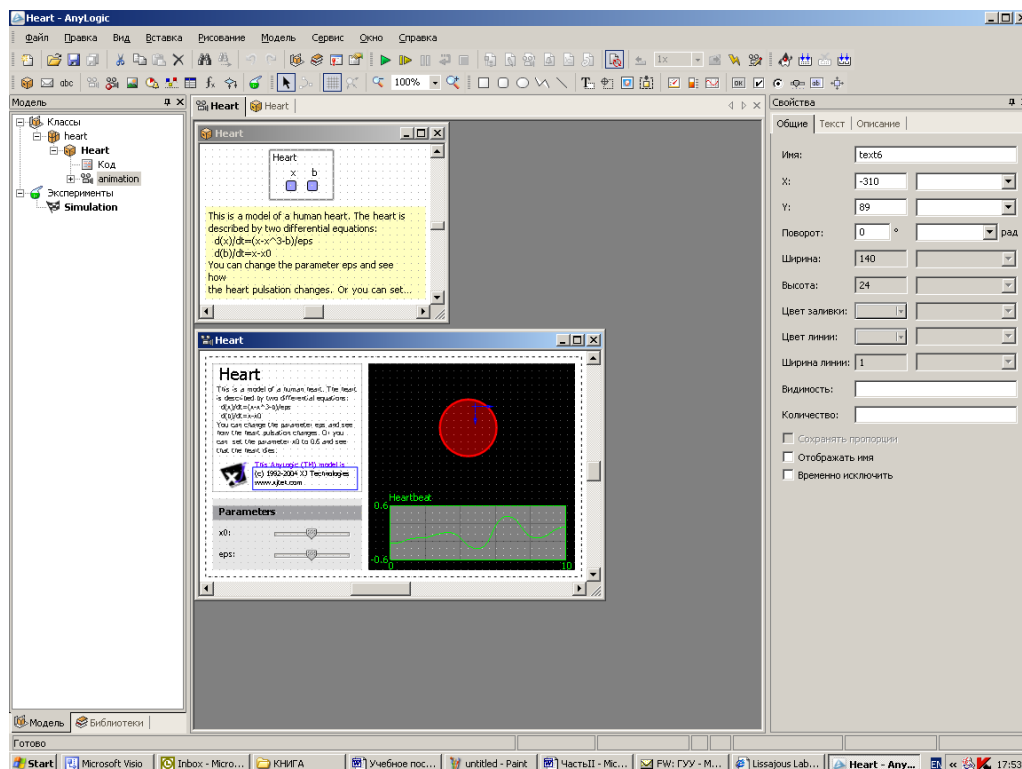


Рис.1. Окно редактора модели сердечных сокращений

В окне редактора можно видеть четыре окна: окно классов, окно свойств, окно структуры и окно анимации. Наша первая задача – построить эту модель самостоятельно.


Постановка задачи

Математическая модель динамики сокращения сердечной мышцы задается нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка: $\frac{dx}{dt} = (x - x^3 - b) / \text{eps}$, где x представляет

радиус сердца, а параметр b сам является переменной, определяемой дифференциальным уравнением: $db/dt = x - x_0$. Это одна из простейших моделей такой динамики.

Задачей данного упражнения является построение этой простой модели, позволяющей получить временные зависимости переменных x и b от времени, а также фазовую диаграмму изменения радиуса x от значения b . Очевидно, что все эти величины вещественные (с плавающей точкой). Для построения модели необходимо задать начальные значения переменных x и b , а также значение параметра eps .

Создание нового проекта

Для хранения ваших проектов необходимо создать новую папку. Создайте, например, папку `C:\my Models`. После этого для построения нового проекта в вашей папке кликните кнопку *Создать*  или выберите в основном меню *Файл | Создать*. В появившемся диалоговом окне установите нужную рабочую папку, в ней наберите *Heart* как имя нового файла, в котором будет храниться ваш новый проект, и кликните ОК. Новый проект под названием *Heart* будет создан, и на экране вы увидите следующее:

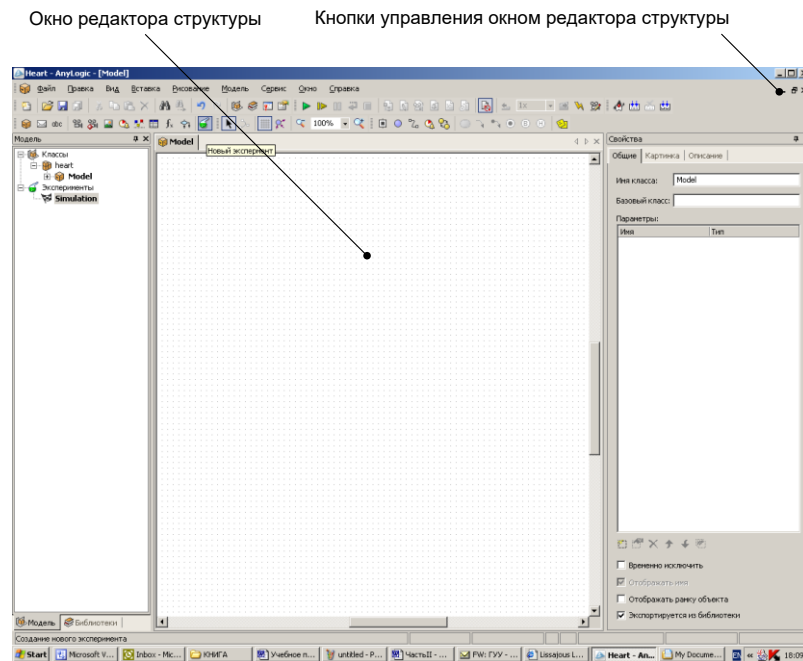



Рис 3. Новый проект

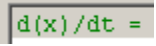
Открытое окно редактора нового проекта содержит три окна. Как уже говорилось, в окне классов (слева) автоматически строится дерево всех объектов проекта, которые вы будете определять по ходу построения модели. Для нового проекта в нем уже создан корневой класс активного объекта с именем *Model*, а для проведения экспериментов с будущей моделью уже создан один эксперимент с именем *Simulation* у корневого класса *Эксперименты*. Центральное окно – окно графического редактора структуры для создания структуры активного объекта, представляющего модель. С помощью кнопок управления этим окном, которые находятся вверху справа, можно уменьшить, свернуть или закрыть это окно. Уменьшите размер окна редактора структуры объекта *Model*, щелкнув по соответствующей кнопке справа вверху.

Двойным щелчком мыши на имени класса активного объекта в окне классов (в данном случае *Model*) можно открыть окно редактора структуры этого объекта, если оно закрыто.

Окно справа на рис.3 – это окно свойств выделенного элемента модели. В данном случае это окно показывает свойства класса корневого объекта с именем *Model*, если окно его структуры активно. В окне свойств можно редактировать свойства соответствующих объектов. Изменим имя корневого объекта нашей модели, назвав его *Heart*. Для этого в поле *Имя класса* вкладки *Общие* окна *Свойства* активного корневого объекта введите *Heart* вместо *Model*. В окне классов имя корневого объекта сразу изменится.

Построение модели

Наша задача – построение модели, в которой присутствуют две переменные, x и b , и два параметра – x_0 и ϵ , где x_0 – начальное значение x . Начальное значение переменной b зададим непосредственно константой. Для введения первой переменной x кликните мышкой на кнопке переменной  панели инструментов, после чего кликните мышкой на поле окна редактора структуры объекта *Heart*. Справа вместо окна свойств объекта *Heart* появится окно свойств переменной (именно эта переменная сейчас выделена), в котором в поле имени (*Имя*) вместо предопределенного имени *var* введите имя x (рис.4). При выделенной пиктограмме переменной ее имя можно перемещать по полю окна структуры.

Эта переменная x должна определяться дифференциальным уравнением $dx/dt = (x-x^3-b)/\epsilon$ с начальным значением x , равным x_0 и с параметром ϵ . В AnyLogic можно подобные зависимости определять именно в таком виде, в виде дифференциальных уравнений. Для того, чтобы переменную x определить так, в поле *Вид* окна ее свойств выберите вариант *Интеграл или накопитель* и определите x в этом поле в строке ниже уже установленного  как $(x-x*x*x-b)/\epsilon$ (рис.4). Вместо возведения в степень лучше использовать умножение. Заметьте, что переменная, определенная как *Интеграл или накопитель*, в поле структуры модели изображается следующей пиктограммой: фиолетовым прямоугольником со скругленными углами (рис.4).

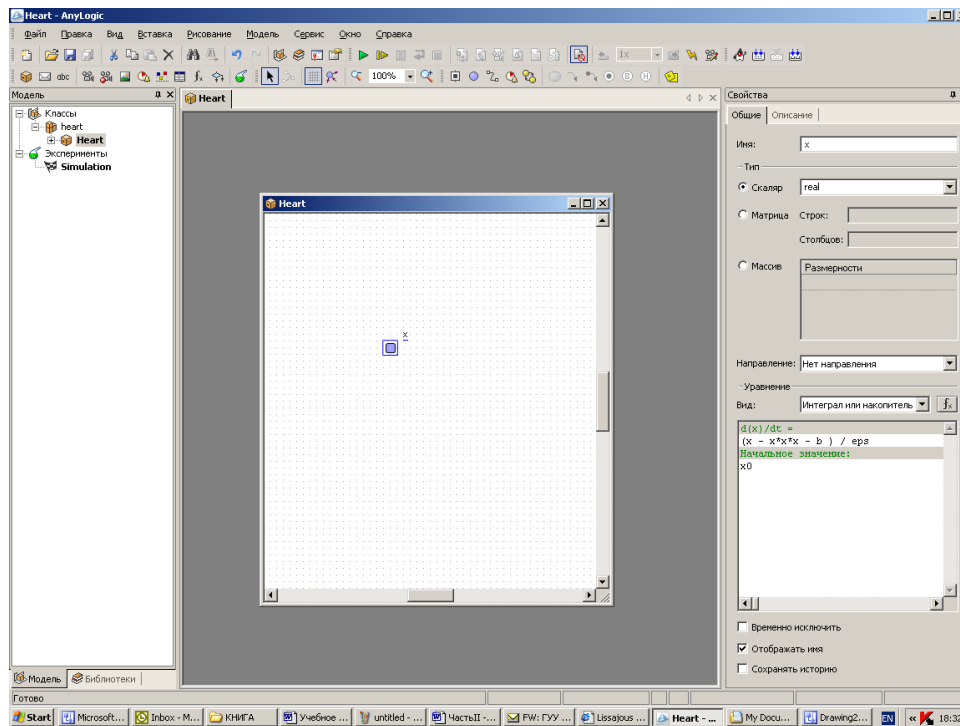




Рис. 4. Введение переменной в активный объект

В поле начального значения (*Initial value*) запишите x_0 .

Вторая переменная b определяется формулой $d(b)/dt = x - x^3 - b$. Действия по ее введению в модель очевидны. Пусть начальное значение переменной b равно 0. В поле *Начальное значение* при задании начального значения b величину 0 можно не записывать: если поле значения пусто, по умолчанию это значение считается нулевым.

Переменные активного объекта *Heart* можно поместить внутрь прямоугольника, который отмечает границы этого объекта. Для того, чтобы прямоугольник появился, в окне свойств объекта Model внизу нужно кликнуть на флажке *Отображать рамку объекта*. Обычно границы активного объекта в окне редактора нужны для того, чтобы помещать на них графические изображения интерфейстных объектов для связи с другими активными объектами. Поскольку в нашей модели объект *Heart* не взаимодействует ни с какими другими объектами, такие границы можно не показывать (оставить скрытыми).

В поле окон редактора можно помещать текстовые комментарии. Для того, чтобы поместить такой комментарий в поле структуры активного объекта *Heart*, кликните на кнопке текст () панели инструментов и затем, кликнув в какое-нибудь место этого окна, нарисуйте прямоугольник, в котором можно записать произвольный текст-комментарий, никак не влияющий на работу модели. Размеры и место расположения этого комментария можно менять с помощью мыши. Введите, например, комментарий “*Структура активного объекта*”. Редактировать комментарий можно в поле *Текст* окна свойств этого объекта.

Для проверки правильности синтаксиса (формальных правил) построения модели в каждый момент при ее построении можно использовать кнопку *Построить*  панели инструментов. Если кликнуть на этой кнопке, то в появившемся окне *Вывод* будет выведена информация об ошибке. В нашем примере при компиляции модели в программу на языке Java обнаружили ошибки: нами не определены параметры x_0 и era .

Для завершения построения модели их нужно задать. Пусть $x_0=0.5$, $eps=0.01$. Параметры эти являются параметрами активного объекта *Heart*, поэтому они вводятся в окне свойств этого объекта. Для задания x_0 сделайте активным окно редактора структуры объекта *Heart*. Появится окно *Свойства* свойств этого объекта. В этом окне для задания параметров следует дважды кликнуть левой кнопкой мыши в любом месте поля с именем *Параметры*. Появится дополнительное окно с именем *Параметры* для определения нового параметра. У этого нового параметра уже предопределено имя *param*, тип *real* и пустое поле значения *По умолчанию* (следовательно, по умолчанию это будет вещественная переменная и ее значение будет нулевым).

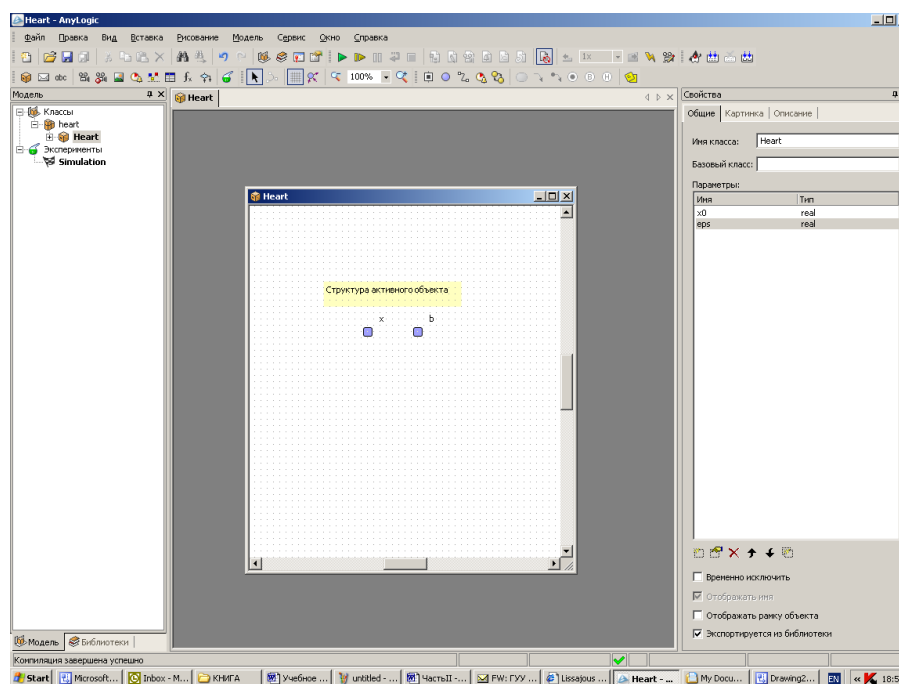



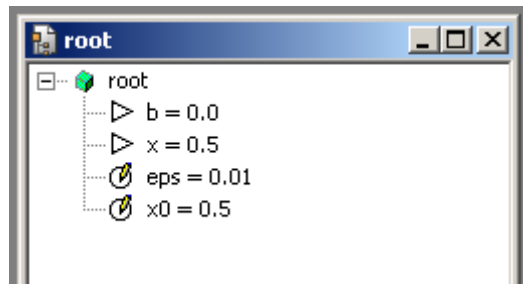
Рис.5. Переменные и параметры модели "Heart"

Замените имя параметра на x_0 , в поле значения установите 0.5, а тип оставьте *real*. Остальные поля также оставьте без изменения. При нажатии кнопки ОК этого окна в поле *Параметры* окна свойств нашего активного объекта *Heart* появится строка *Имя: x_0 Тип: real*. Переменная eps задается так же. Снова выполните проверку синтаксиса – нажмите кнопку *Build*. В результате на экране вы получите следующее (рис.5):

Зеленая галочка внизу в окне редактора свидетельствует о том, что синтаксис модели правильный. Построение модели закончено. Вы можете сравнить свою модель с моделью *Heart1*, помещенной в папку *Первые модели*.

Запуск модели

Кликнув на кнопке  запуска выполнения модели по шагам, после компиляции в окне наблюдения (*viewer*) увидим открытым только окно *root* переменных и параметров с начальными их значениями:




(Предопределенное имя *root* дано единственному экземпляру корневого класса с именем *Heart*). Запуск модели (▶) приведет к тому, что переменные в этом окне начнут изменяться в соответствии с определенными для них уравнениями. Системы дифференциальных и алгебраических уравнений, определенные в проектах AnyLogic, при выполнении модели решаются одним из встроенных численных методов. Сам метод и необходимая точность решения выбираются системой автоматически, если пользователь не изменит предварительные установки в окне свойств объекта **Simulation**. Выполнение модели закончится, когда счетчик модельного времени достигнет 100 (это условие остановки эксперимента также может быть изменено в окне свойств объекта **Simulations**).

Проведите несколько экспериментов с различными скоростями выполнения данной модели, используя кнопки останова, рестарта, запуска.

Графики

Одним из преимуществ AnyLogic является возможность наглядного представления поведения модели, в частности, представления изменения во времени всех ее переменных.

Введем графики изменения переменных x и b . После рестарта модели (↺), оставаясь в окне наблюдения выберите в главном меню команду Вид|Новая диаграмма или кликните кнопку  на панели инструментов. В поле окна появившегося графика перетащите из окна *root* переменную x , нажав на этой переменной левой кнопкой мыши. Во второй график перетащите переменную b , а в третий – обе переменные поочередно. Запустите модель на выполнение. В окнах будут рисоваться графики соответствующих переменных от времени.

Настройка параметров графика производится с помощью окна свойств графика, вызываемого командой *Параметры диаграммы* из контекстного меню данного графика. Контекстное меню графика, как и любого объекта модели AnyLogic, вызывается кликом правой клавишей мыши, помещенной на этом объекте. Поэкспериментируйте с установкой цвета графиков, возможностью установки опции отображения каждого набота данных на своем графике, размерами отображаемого окна данных, с возможностью отображения фазовой диаграммы, когда по обоим осям графика откладываются значения переменных, и т.п. Для построения фазовой диаграммы, в контекстном меню графика с двумя переменными в окне, появившемся при выполнении команды *Содержимое диаграммы* из контекстного меню, следует выбрать те переменные, которые должны откладываться по осям.

Заметьте, что переменные и параметры нашей модели в окне *Содержимое диаграммы* имеют имена вида: <имя объекта>.<имя переменной в этом объекте>. Например, на переменную x здесь ссылаются как *root.x*.. Это стандартный прием объектно-ориентированной разработки,

позволяющий в различных объектах иметь переменные с одинаковыми именами. Переменные x , b и параметры $x0$ и eps определены в корневом объекте со стандартным именем *root*, поэтому они имеют здесь соответствующие ссылки.

Построенную к данному этапу модель можно сравнить с эталонной моделью *HeartBeating2* в папке Первые модели. Проведите серию экспериментов с моделью, перезапуская ее с различными параметрами.

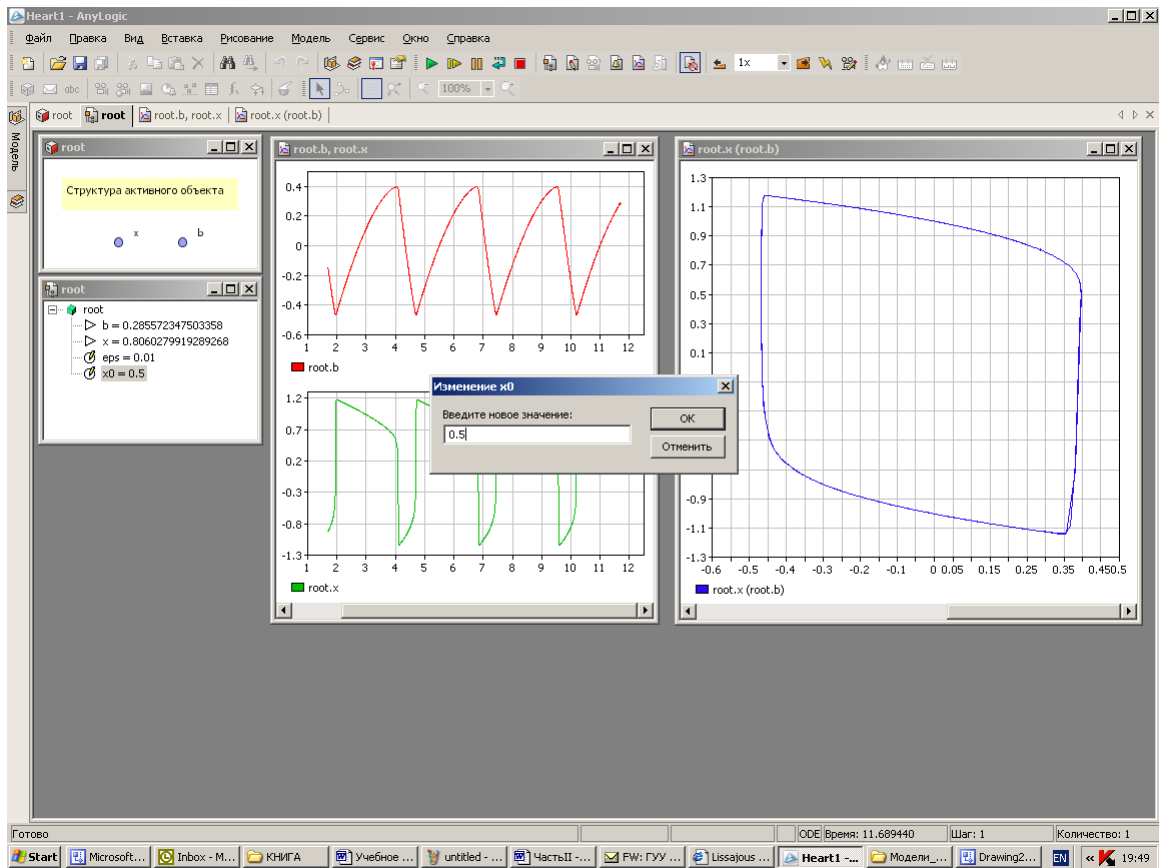




Рис. Графики модели 'Heart'

Изменять параметры, как уже говорилось, можно в окне этого параметра, появляющемся в результате двойного клика на нем в окне *root* или при выборе команды *Изменить* контекстного меню данного параметра (рис.).

Эксперименты

Вернитесь в редактор, разрушив скомпилированную модель (кнопкой ). Кликнув на объекте **Simulation** окна классов проекта, в окне *Properties* вы можете увидеть (и изменить при необходимости) начальные установки компьютерного имитационного эксперимента, который можно выполнить с построенной моделью. Во вкладке *Общие* этого окна можно выбрать общие установки - вариант выполнения модели либо в виртуальном времени, либо в реальном времени (с заданным соотношением модельного и реального времени), а также изменить именно для этого эксперимента параметры модели. Во вкладке *Дополнительные* установки можно установить условие прекращения выполнения модели, выбрать численный

метод решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений и требования к нему. По умолчанию метод будет выбираться автоматически на основе анализа системы уравнений.

Пользователь может сгенерировать несколько экспериментов различных типов, которые можно выполнить с одной и той же моделью. Кликните на кнопке  панели инструментов или выберите команду *Новый эксперимент* в контекстном меню объекта *Эксперименты*. В появившемся окне можно выбрать любой из доступных типов экспериментов: *Простой эксперимент*, *Оптимизационный эксперимент*, *Эксперимент для оценки рисков* и т.п. Более подробно вопросы проведения различных типов экспериментов мы рассмотрим позже.

Анимация модели

Для лучшего понимания динамики модели и наблюдения развивающихся во времени процессов, в AnyLogic предусмотрена возможность построения анимированного изображения, состоящего из динамических графических элементов. Графические элементы здесь называются динамическими, поскольку все их параметры: видимость, цвет и т.п. можно сделать зависимыми от переменных и параметров модели, которые меняются со временем при выполнении модели.

Вернитесь в редактор, разрушив скомпилированную модель, и кликнув правой кнопкой мыши на классе *Heart* в окне классов, выберите в появившемся контекстном меню этого класса левой кнопкой мыши команду *Новая анимация*. После клика на кнопку ОК в появившемся окне, в окне редактора появится окно анимации (рис. 7). Заметьте, что этот объект появился с именем *animation* в дереве классов как составная часть класса *Heart*. Если окно анимации будет закрыто, открыть его можно двойным щелчком мыши по этому имени в окне классов.

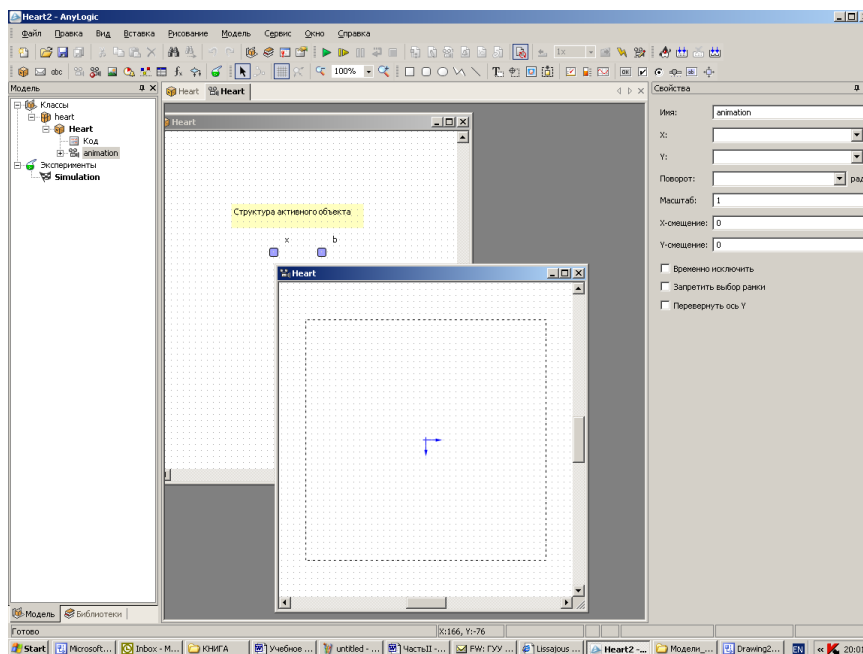


Рис.7. Окно анимации

Окно анимации представляет собой плоскость с системой координат X Y , с шагом нанесенной сетки 10 пикселей. Начало координат и их направления отмечены голубыми

стрелками в центре поля; эти стрелки не будут видны при анимации. Заметьте, что ось Y направлена вниз. Штриховой прямоугольник на поле показывает ту часть поля анимации, которая будет видима при работе модели. Размещение поля анимации относительно начала координат так же, как и его размеры, можно изменять. Выделите его границу - штриховую линию, кликнув на ней левой кнопкой мыши, и в появившемся окне свойств этого элемента установите следующие значения координат: $X=-300$ и $Y=-200$. Это координаты левого верхнего угла поля анимации относительно его начала координат. Ширину и высоту установите равными 600 и 400 соответственно. Этому же положению и размеров можно добиться манипуляциями со штриховым прямоугольником как с обычным графическим объектом (изменением его размеров и положения) с помощью мыши.


Объекты в поле анимации

Создание объектов в поле анимации выполняется с помощью следующих кнопок панели инструментов, которые становятся активными при активном окне анимации:



Первые пять кнопок — это кнопки построения геометрических фигур (двух видов прямоугольников, овала и, следовательно, окружностей, ломаной и отрезка прямой), далее четыре вспомогательные кнопки (начиная с кнопки текста T), две кнопки индикаторов, кнопка графика и шесть кнопок для создания в окне анимации кнопок управления для взаимодействия пользователя с моделью в процессе выполнения модели.

Будем строить анимацию динамики работы сердечной мышцы как изображения круга (овала), радиус которого будет меняться. Этот радиус имеет значение переменной x модели.

Во-первых, построим изображение овала. Для этого, кликнув правой кнопкой на панели инструментов по кнопке 'Овал' , нарисуем в любом месте поля анимации какой-нибудь овал. Справа появится окно 'Свойства' этого овала. Свойства уже установлены по умолчанию, и мы можем их редактировать. По умолчанию имя этого объекта будет *oval*, координаты X и Y соответствуют месту, куда мы поместили овал в поле анимации, а ширина и высота соответствуют тому, что мы нарисовали.

Статические и динамические значения характеристик графических объектов анимации

Если мы запустим модель на выполнение, мы увидим, что в окне анимации этот овал находится неподвижно именно в том месте, которое определено его заданными координатами, и с установленными размерами. Для того, чтобы отобразить в окне анимации динамику модели, в AnyLogic принята следующая концепция: Каждая характеристика графического элемента, помещенного в окно анимации, имеет два значения — статическое и динамическое. Статическое определяет характеристику (координату, поворот, цвет и т.п.) объекта в окне анимации в статике, в процессе редактирования. Динамическое значение определяет значение этой характеристики в процессе выполнения модели и может быть связано с любой переменной (или параметром) модели и даже любой функцией от них.

Поэтому обычно характеристика графического объекта имеет два поля в окне свойств объекта: левое поле для статического значения, правое – для динамического значения (рис. 8). Если динамическое значение не определено, в динамике характеристика этого графического объекта сохраняет свое статическое значение. Например, выделив штриховую границу поля анимации, заметьте, что в окне ее свойств правые поля характеристик задать нельзя. Это и понятно: размеры и координаты поля анимации не могут изменяться при выполнении модели.

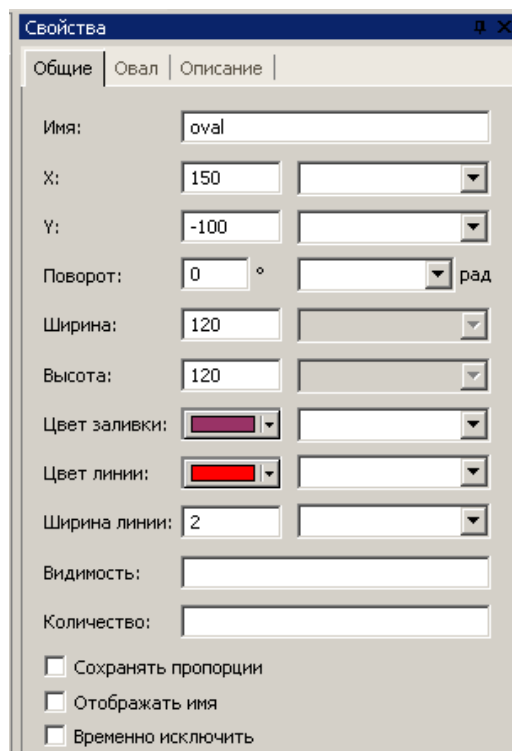


Рис.8. Окно свойств овала в окне анимации

Снова выделим овал, который будет представлять динамику бьющегося сердца (кликнув на нем мышкой). Статические параметры его в процессе выполнения модели зададим так. В появившемся окне свойств овала в левых полях установим координаты центра X и Y равными 150 и –100 соответственно, ширину и высоту по 120, цвет заливки установим бордовым, цвет линии границы установим красным; ширину линии границы установим 2 (рис.8).

Динамические характеристики овала должны отражать “жизнь” этого объекта в процессе выполнения модели. Изменение объема сердца будем представлять меняющимся радиусом. Радиус для овала задается в окне его свойств во вкладке *Овал*. Определим радиусы овала как меняющиеся в зависимости от переменной x так, как показано на рис.9.

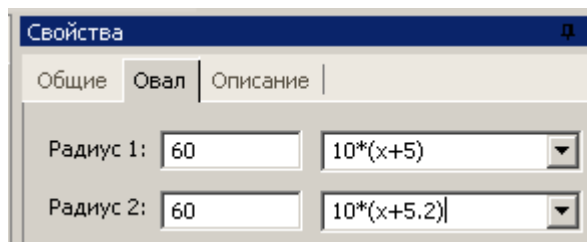



Рис. 9. Динамические параметры овала


Запустите модель. Проведите эксперименты с установкой различных коэффициентов между реальным и модельным временем. Кроме того, можно изменять параметры модели (χ_0 и $\epsilon\tau_s$) и наблюдать, как изменяется характер сердцебиения.

Графики и слайдеры в анимации


В этой модели интересно наблюдать влияние параметров на поведение графика. Введем график непосредственно в поле анимации. Кликнув на кнопке *Индикатор-диаграмма*  панели инструментов, поместите график в поле анимации, и изменяя мышкой положение и размеры этого графического объекта, добейтесь, чтобы в открывшемся окне свойств этого нового объекта во вкладке *Общие* установились статические параметры $X=20$, $Y=50$, *Ширина* =260, *Высота* =100. Эти же значения могут быть установлены непосредственно в соответствующих полях (статических значений параметров).

Для того, чтобы связать график с переменными модели, откройте вкладку *Индикатор-диаграмма* окна свойств этого графика и установите в поле *Отображает:* имя x , в поле *Размер окна* значение 10, в полях *Минимум* и *Максимум* значения -1.5 и 1.5. Цвет графика (*Цвет индикации*) и надписей у координатных линий (*Цвет шкалы*) выберите наиболее предпочтительными. Запустите модель на выполнение.

Иногда удобно, чтобы анимация была представлена на цветном фоне. Пусть этот фон для бьющегося сердца будет черным. Введите в поле анимации прямоугольник так, чтобы координаты X и Y его верхнего левого угла были 0, -200, а ширина и высота были бы 300 и 400. *Цвет заливки* выберите черный. Для того, чтобы эта фигура была фоном и не закрывала другие изображения, в контекстном меню этого объекта выполните команду *Перенести назад*.

Другую половину поля анимации залейте светлокоричневым фоном (введите прямоугольник и заполните его нужным цветом). На этом фоне введите кнопки управления. Кликните на кнопке *слайдер (ползунок)*  панели инструментов и поместите его в поле анимации с координатами $X=-270$, $Y=80$, с шириной и высотой (240, 20). Слайдеры используются для изменения параметров модели в процессе анимации. В поле *Переменная* вкладки *Ползунок* выберите в выпадающем меню из возможных переменных имя $\epsilon\tau_s$, а минимальное и максимальное значения, которые можно регулировать слайдером, установите 0 и 0.5. Запустите модель.

Текст в поле анимации

Двигая слайдер, можно наблюдать изменение характера пульса на графике. В окне *root*, содержащем переменные и параметры модели, можно видеть, как значение параметра $\epsilon\tau_s$ изменяется при движении слайдера. Конечно, имя параметра и его текущее значение удобно отобразить рядом со слайдером. Вернувшись в редактор, кликните при активном окне анимации кнопку  введения текста на панели инструментов и затем кликните у левого верхнего угла слайдера. В появившемся поле у слайдера наберите текст ' $\epsilon\tau_s =$ '. С этим текстом так же, как и с каждым элементом в редакторе AnyLogic, связано окно свойств. Во вкладке *Текст* этого окна у параметра *Текст* есть два поля – верхнее (для введения

‘статического’ текста) и нижнее (для введения ‘динамического’ текста, появляющегося в процессе выполнения модели). В верхнем уже появилась строка ‘*eps* =’, набранная в поле анимации. Здесь в окне ее можно изменить, дополнить и т.п. Но это поле показывает лишь статический текст, который при пустом нижнем поле будет статически отображаться в окне анимации при прогоне модели. Оставим этот текст без изменения, оставив поле динамических значений пустым.

Для представления значения этого параметра *eps* поместим рядом с текстом ‘*eps*=’ в поле анимации произвольный текст из нескольких символов, например, ‘123’. Выберем его цвет синим. Это также статический текст, в динамике он может отображать то, что записано в поле динамического значения этого текста. Поместим туда имя параметра *eps* (рис.10). В процессе выполнения модели на месте текста ‘123’ теперь будет отображаться численное значение параметра *eps*.

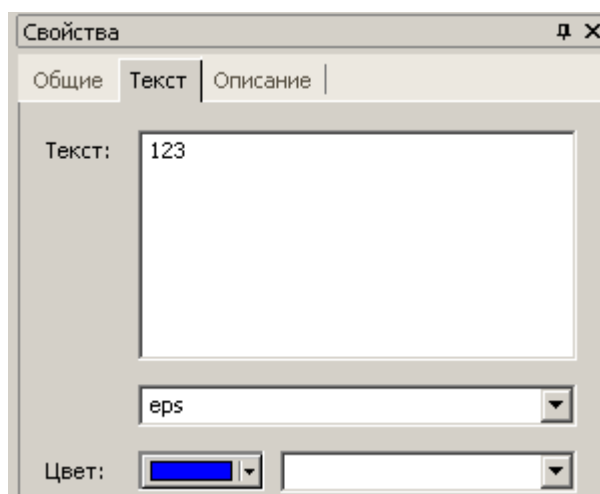


Рис.10. Задание текста в поле анимации

Запустите модель и убедитесь, что значения параметра *eps* при изменении его слайдером можно видеть непосредственно у слайдера. Постройте подобный слайдер также для параметра x_0 .

В верхнюю левую часть поля анимации введите поясняющий текст. В редакторе при активном окне анимации кликните мышкой на кнопке введения текста на панели инструментов и после этого кликните в поле анимации в верхнем левом углу. Установите в появившемся окне свойств текста координаты (X,Y) этого объекта (-280, -170) во вкладке *Общие*. В поле *Текст* вкладки *Текст* этого окна зададим статический текст ‘*Модель сердца*’, который будет отображаться в этом месте поля анимации. Нажав на кнопку *Выбрать* окна свойств текста, можем выбрать шрифт, стиль и размер этого текста. Выберем шрифт *Century Gothic*, стиль *Bold*, размер 22. Следующий текст, содержащий пояснение к модели, введем в поле статического текста с координатами (-290, -120) : ‘*Это простая модель динамики сердечных сокращений. Модель описывается двумя дифференциальными уравнениями: $dx/dt = (x-x^3-b)/eps$ и $db/dt = x-x_0$. Вы можете менять параметры и наблюдать изменение ритма и формы пульсаций. При значении $x_0 = 0.6$ сердце останавливается.*’. Все другие параметры текста оставим установленными по умолчанию. Для того, чтобы текст уместился в окне анимации по ширине, в нужных местах следует поставить перевод строки.