



---

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Брянский государственный технический университет

---

Утверждаю

Ректор университета

\_\_\_\_\_ О.Н. Федонин

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НЕПРЕРЫВНЫХ  
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОГРАММНОМ  
КОМПЛЕКСЕ ANYLOGIC**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы №8  
для студентов очной формы обучения  
по направлению подготовки  
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

**Брянск 2019**

**УДК 004.65**

Компьютерное моделирование. Построение моделей непрерывных динамических систем в программном комплексе Anylogic [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторной работы № 8 для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». – Брянск: БГТУ, 2019. – 11 с.

Разработала  
А.А.Трубакова,  
ст.преп.

Рекомендовано кафедрой «Информатика и программное обеспечение»  
БГТУ (протокол № 4 от 24.12.2018г.)

**Методические указания публикуются в авторской редакции**

## **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Целью работы является ознакомление со средой имитационного моделирования AnyLogic и основными принципами построения моделей непрерывных динамических систем на примере модели развития эпидемии заболевания.

Продолжительность работы – 2 часа.

## **2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Изучение основных возможностей и принципов работы в разделе системной динамики среды AnyLogic.
2. Изучение модели развития эпидемии.
3. Построение модели развития эпидемии в среде AnyLogic.
4. Самостоятельное построение имитационной модели развития эпидемии с дополнительными условиями.
5. Тестирование выполнения эксперимента при различных условиях воздействия на модель развития эпидемии.

## **3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **1.1. Раздел системной динамики среды AnyLogic**

Одним из важных приложений методов имитационного моделирования является прогнозирование распространения эпидемических заболеваний. В этой области находят применение системно-динамический.

Системно-динамические (СД) модели распространения эпидемических заболеваний имеют взаимодополняющие свойства, в связи с чем, задача совместного использования этих классов моделей для прогнозирования динамики эпидемических систем является актуальной и требует всестороннего сравнения их характеристик и свойств. С её помощью можно

наглядно продемонстрировать распространение эпидемии, что, в конечном счёте, может помочь спасти человеческие жизни.

Для построения имитационных моделей системно-динамических систем используются переменные четырех типов: время, фонд, поток и конвертор.

Переменная «время» является первичной для имитационной модели динамической системы: ее значение генерируется системным таймером и изменяется дискретно, т.е., начиная с некоторого начального значения, время за каждый такт увеличивается на заранее заданную величину, которая служит единицей модельного времени. Число тактов и единица времени являются параметрами «прогона» модели и определяются заранее.

Переменная типа «поток» равна объему (количеству) продукта, который поступает или извлекается из соответствующего фонда в единицу модельного времени. Значение этой переменной может изменяться в зависимости от внешних воздействий на нее. В частности, поток можно представить, как функцию от значений других потоков и фондов. Простейший пример цикла с обратной связью образует входящий поток, величина которого зависит от значения фонда, в который этот поток поступает.

Помимо фондов и потоков, при построении имитационных моделей динамических систем используются вспомогательные переменные, которые называются конверторами. Эти переменные могут быть равны константам или значениям математических функций от других переменных (в том числе и от переменной «время»), т.е. позволяют преобразовывать («конвертировать») одни числовые значения в другие.

AnyLogic поддерживает разработку и моделирование систем обратной связи (диаграммы потоков и накопителей, правила решений, включая массивы переменных). Разрабатываемая модель в среде AnyLogic может быть предназначена для исследования характеристик эпидемии и процесса восстановления системы. Среда позволяет изменять значения параметров модели непосредственно во время ее работы, что в жизни аналогично вмешательству человека в различные процессы.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ ЗАБОЛЕВАНИЯ

Рассмотрим математическую модель, описываемую системой дифференциальных уравнений первого порядка. Данная модель распространения заболевания задается тремя уравнениями:

$$\begin{aligned}\frac{d(susceptible)}{dt} &= -get\_sick, \\ \frac{d(infected)}{dt} &= get\_sick - get\_well, \\ \frac{d(recovered)}{dt} &= get\_well.\end{aligned}\tag{1}$$

где *susceptible* – общее число людей, восприимчивых к заболеванию, *infected* – общее число людей, уже заболевших к некоторому моменту времени, *recovered* – число людей, выздоровевших после болезни, с приобретенным иммунитетом на некоторый период времени. Параметры *get\_sick* – интенсивность протекания заболевания (число людей, заболевших в единицу времени), *get\_well* – интенсивность выздоровления (число людей, выздоровевших в единицу времени) (2).

$$\begin{aligned}get\_sick &= infected \times susceptible \times infection\_rate, \\ get\_well &= infected \times recovery\_rate.\end{aligned}\tag{2}$$

Факторы, влияющие на процесс заболевания и выздоровления *infection\_rate*, доля заболевающих людей в единицу времени (от 0 до 1), и *recovery\_rate*, доля выздоравливающих в единицу времени (от 0 до 1).

## 3. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ В СРЕДЕ ANYLOGIC

Для начала работы создадим новый проект в системе AnyLogic с именем *Epidemiya*. Открытое окно редактора нового проекта содержит три части. Слева в окне классов автоматически будет строиться дерево проекта. Для

нового проекта в нем уже создан корневой класс активного объекта с именем *Main*, а для проведения экспериментов с будущей моделью уже создан один эксперимент – *Simulation*. Центральное окно – окно графического редактора структуры для создания структуры активного объекта, представляющего модель. Окно справа – это окно свойств выделенного элемента модели.

Изменим имя корневого объекта модели, назвав его *Zabolevanie* (вместо установленного по умолчанию имени *Main*).

Первой нашей задачей является построение модели, в которой присутствуют три переменные состояния (*susceptible*, *infected* и *recovered*) и два параметра – *infection\_rate* и *recovery\_rate*.

Данные о численности людей, характеризующих их состояния задаются в качестве накопителей. Для введения первой переменной *susceptible* нажмите на окно *Палитра*, выберите раздел *Системная динамика* и элемент *Накопитель*, с помощью перетаскивания мышью в какое-либо место поля окна редактора структуры объекта *Zabolevanie* добавьте элемент. Используя окно свойств, задайте этой переменной новое имя – *susceptible*. Созданная переменная *susceptible* связана с системой дифференциальных уравнений (1). В редакторе *AnyLogic* подобные зависимости можно указывать напрямую в таком же аналитическом виде. Для этого в окне свойств переменной *susceptible* в поле выберем *Произвольный вариант* Режима задания уравнения, после чего ниже в строке  $d(susceptible)/dt$  запишем дифференциальное уравнение  $= -get\_sick$ . В поле начального значения запишем 800.

Вторую переменную *infected* определим аналогичным образом, задав в качестве уравнения  $=get\_sick-get\_well$ . В поле начального значения установим 1. Свойства третьего накопителя *recovered*, аналогично определяется уравнением  $= get\_well$ .

Потоки *get\_sick*, *get\_well* – определяются уравнением (2).

Факторы, влияющие на процесс заболевания и выздоровления *infection\_rate* и *recovery\_rate*, задаются в качестве элемента Параметр.

Значение параметров *infection\_rate* установим 0,00119. А значение *recovery\_rate* равным 0,7.

Для проверки правильности синтаксиса (формальных правил) модели в любой момент при ее построении можно использовать кнопку *Модель* и выбрать *Построить* на панели инструментов. Если выполнить проверку сейчас, то обнаружатся ошибки, связанные с отсутствием связей для параметров модели. Для связывания этих параметров необходимо добавить элемент *Связь* из *Палитра* → *Системная динамика* (рис.1).

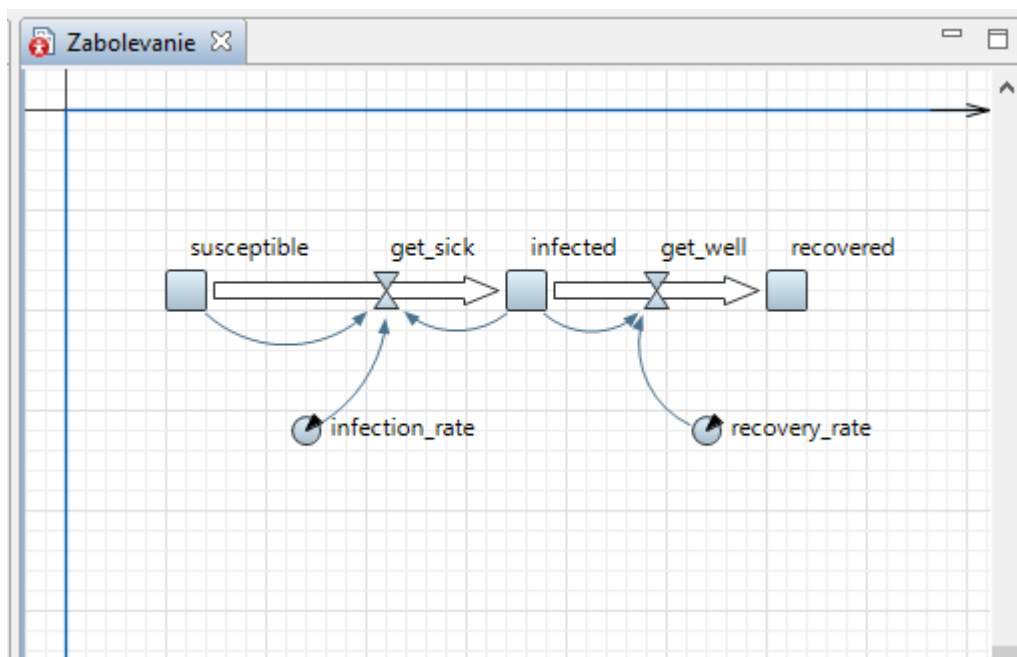


Рис. 1. Модель распространения эпидемии

Одним из важных особенностей AnyLogic является возможность наглядного представления поведения модели, в частности, представления изменения во времени всех ее переменных. Построим графики изменения переменных *susceptible*, *infected* и *recovered*. Для этого необходимо в режиме выполнения модели добавить новые диаграммы. Для этого необходимо выбрать *Палитра*, затем, *Статистика* и добавить в окно структуры нужную диаграмму. Для наглядности модели добавим две диаграммы: круговую и временной график.

Для построения эксперимента зададим свойства его модельного времени. Для этого необходимо выбрать *Simulation*, затем *Модельное время* и

задать конечное время, равное 70, активировав свойство *Остановить в заданное время*.

Экспериментально найдём пороговое значение, при котором все люди инфицируются. Этого можно достичь, изменяя параметры *infection\_rate* (интенсивность инфицирования), *recovery\_rate* (интенсивность выздоровления).

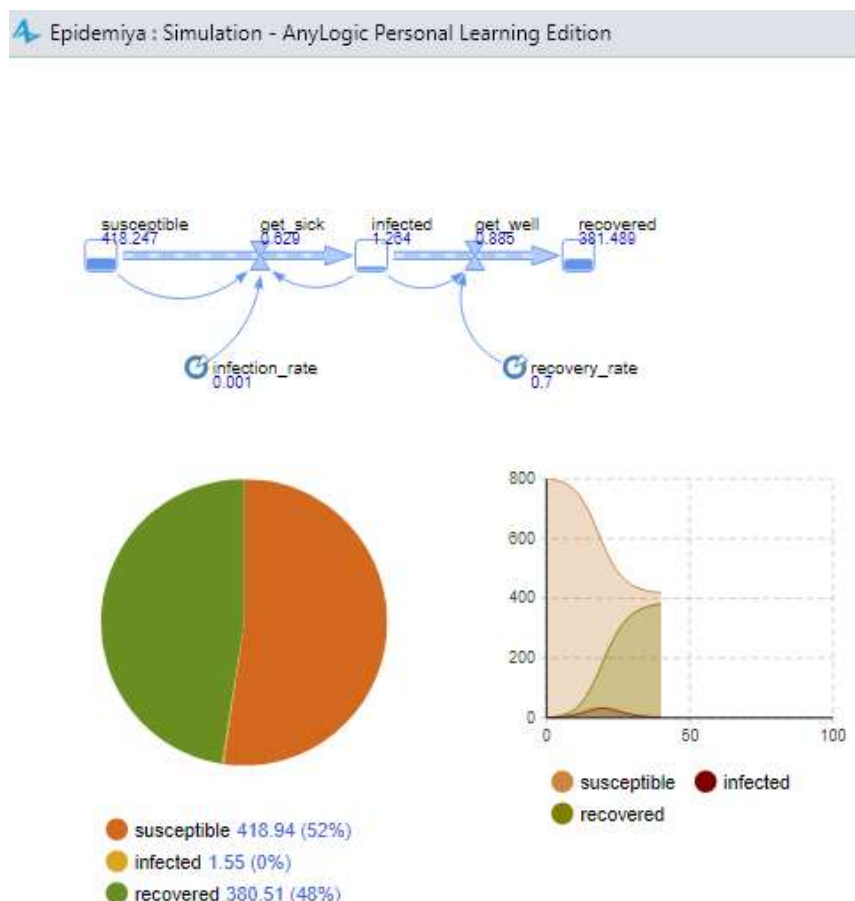


Рис. 2. Результат моделирования распространения эпидемии

#### 4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Определить пороговое значение, при котором все люди инфицируются.

Дополнить существующую модель параметрами, описывающими влияние дополнительных факторов на протекание заболевания:

- вероятность смерти населения от распространения эпидемии;
- пропадание иммунитета через некоторое время после болезни человека;



- изначальное количество вакцинированных;

Задайте параметры модели согласно вашему варианту.

№ Варианта	<i>infection_rate</i>	<i>recovery_rate</i>
1	0,001	0,4
2	0,0011	0,5
3	0,0012	0,6
4	0,0013	0,7
5	0,0014	0,8
6	0,0015	0,9
7	0,0016	1
8	0,0017	0,2
9	0,0018	0,1
10	0,0019	0,3
11	0,0001	0,5
12	0,0011	0,8
13	0,0002	1
14	0,0013	0,4
15	0,0004	0,7
16	0,0015	0,9
17	0,0006	1
18	0,0017	0,33
19	0,0008	0,9
20	0,0019	0,4
21	0,002	0,5
22	0,0019	0,6

Формой отчета по данной лабораторной работе является построенная в системе AnyLogic модель и ее тестирование.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основывается принцип построения моделей непрерывных динамических систем?
2. Для чего используется элемент системной динамики *поток*?
3. Какие блоки элементов раздела системная динамика могут задавать значения вероятностей людей восприимчивых к заболеванию, вероятности выздоровления и вероятности смерти?
4. Как определить пороговое значение, при котором инфицируется вся численность людей?
5. Как задаются параметры *get\_sick*, *get\_well*?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боев, В.Д. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс] / В.Д. Боев, Р.П. Сыпченко. – 2-е изд. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. – 525 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73655.html>.
2. Ашихмин, В.Н. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Н. Ашихмин [и др.]. – М.: Логос, 2016. – 440 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66414.html>.
3. Тупик, Н.В. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.В. Тупик. – 2-е изд. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 230 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79639.html>.
4. Осоргин, А.Е. AnyLogic 6. Лабораторный практикум. / А.Е. Осоргин. – Самара: ПГК, 2011. – 100 с.
- 5.

Компьютерное моделирование. Построение моделей непрерывных динамических систем в программном комплексе Anylogic: методические указания к выполнению лабораторной работы № 8 для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

ТРУБАКОВА АННА АЛЕКСЕЕВНА

Научный редактор Д. А. Коростелев  
Компьютерный набор А.А. Трубакова  
Иллюстрации А.А. Трубакова

---

Подписано в печать \_\_.\_\_.\_\_. Усл.печ.л. 0,58 Уч.-изд.л. 0,58

---

Брянский государственный технический университет  
241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7 БГТУ  
Кафедра «Информатика и программное обеспечение», тел. 56-09-84

## **Сопроводительный лист на издание в авторской редакции**

Название работы Компьютерное моделирование. Построение моделей непрерывных динамических систем в программном комплексе Anylogic: методические указания к выполнению лабораторной работы № 8 для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Актуальность и соответствующий научно-методический уровень подтверждаю \_\_\_\_\_

(подпись научного редактора)

Рукопись сверена и проверена автором \_\_\_\_\_

(подпись автора)

Рекомендуется к изданию \_\_\_\_\_

(подпись заведующего кафедрой)