#### Лабораторная работа № 1. Разработка динамической системы в AnyLogic

Цель: создание модели динамической системы в AnyLogic.

#### Ход выполнения работы

Моделирование динамических систем по сути является прародителем системнодинамического подхода моделирования. Моделирование с помощью данного подхода используется в мехатронике, электрической, химической и других инженерных областях в качестве стандартного этапа процесса разработки. С математической точки зрения динамическая система представляет собой набор переменных состояния и алгебраических дифференциальных уравнений различного вида, заданных для этих переменных и описывающих их изменение с течением времени. В отличие от системной динамики, переменные здесь несут некоторый "физический" смысл: координаты местоположения, скорость, ускорение, сила, концентрация и.т.д., они, как это следует из их смысла, непрерывны и не являются агрегированными величинами, отражающими, например, общее количество или среднее значение нескольких сущностей.

AnyLogic предоставляет специальные элементы - динамические переменные для задания дифференциальных и алгебраических уравнений:

Инакопитель - для дифференциальных уравнений.

Динамическая переменная - для формул.

Данные внутри модели могут задаваться с помощью параметров и переменных.

Параметры обычно используются для задания статических характеристик. Значение параметра обычно остается неизменным во время "прогона" модели. Если нужно создать в модели элемент данных, изменяющий свое значение по ходу моделирования, то лучше использовать переменную.

Обычно используются числовые параметры, хотя можно создавать параметры любого типа или Java класса.

Переменные обычно используются для моделирования изменяющихся характеристик агента или для хранения результатов работы модели. AnyLogic поддерживает два типа переменных – простые переменные и коллекции.

Переменная представляет собой переменную любого скалярного типа или Java класса.

Если необходимо, чтобы значение переменной вычислялось согласно формуле, то это можно сделать с помощью переменной. В этом случае нужно будет использовать другие элементы - переменные с палитры Системная динамика.

Если необходимо задать для переменной дифференциальное уравнение, то нужно использовать Накопитель.

Если необходима переменная, изменяющая свое значение согласно алгебраической формуле, то для этого можно использовать динамическую переменную.

Отображение координат конца маятника используйте график xYChart из библиотеки Business Graphic Library.

Выполните моделирование колебаний маятника Фуко. Динамическая система с непрерывным временем, называемая маятником Фуко, записывается в виде:

$$\frac{dv_x}{dt} = 2v_y\omega + \omega^2 x - g\frac{x}{L},$$
$$\frac{dv_y}{dt} = -2v_x\omega + \omega^2 y - g\frac{y}{L},$$
$$\frac{dx}{dt} = v_x, \frac{dy}{dt} = v_y.$$

где  $\omega$  – относительная частота, L – длина подвеса.

Для моделирования относительной частоты, длины подвеса и гравитационной постоянной используйте параметры. Для моделирования изменяющихся параметров модели: x, y, vx, vy используйте переменные.

Отобразите траекторию движения конца маятника для приведённых параметров.

# Задание на лабораторную работу

1. Изучить методические рекомендации по выполнению лабораторной работы;

- 2. Выполнить вариант задания, выданный преподавателем;
- 3. Подготовить отчёт по лабораторной работе;

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

# Варианты заданий

1. Выполните исследование модели для параметров, приведённых в таблице ниже. Используйте данные для другого варианта и объясните изменение поведения маятника.

№ варианта	L	g	W
1	10	7	0.05
2	20	7	0.1
3	30	7	0.15
4	40	7	0.20
5	50	7	0.25
6	10	8	0.05
7	20	8	0.1
8	30	8	0.15
9	40	8	0.20
10	50	8	0.25
11	10	9	0.05
12	20	9	0.1
13	30	9	0.15
14	40	9	0.20
15	50	9	0.25
16	10	10	0.05
17	20	10	0.1
18	30	10	0.15
19	40	10	0.20

20	50	10	0.25

1. Выполните моделирование движения маятника Фуко в вязкой среде. Выполните исследование модели.

2. Добавьте в модель второй маятник, качающийся независимо от первого.

3. Доработайте модель таким образом, чтобы учитывался боковой ветер.

4. Доработайте модель таким образом, чтобы показывалось время с момента прохождения маятником высшей точки.

5. Доработайте презентацию модели таким образом, чтобы при движении вниз маятник менял цвет.

6. Доработайте модель таким образом, чтобы автоматически подсчитывалось количество колебаний маятника.

7. Выполните моделирование пространственного осциллятора, находящегося в однородном магнитном поле.

## Контрольные вопросы

1. Приведите варианты использования динамических моделей;

2. Приведите основные принципы при моделировании динамических систем

3. Для чего в AnyLogic предназначены параметры?

4. Для чего в AnyLogic предназначены переменные?

5. В чем заключаются отличия динамической системы от модели системной динамики?

## Лабораторная работа № 2. Разработка модели системной динамики в AnyLogic

Цель: создание и исследование модели системной динамики в AnyLogic

#### Ход выполнения работы

Рассмотрим системно-динамическую модель распространения продукта по Бассу. Она показана на рис. 1.



1. Для моделирования численности потребителей и потенциальных потребителей продукта используйте накопители. Создайте поток продаж продукта, увеличивающий число потребителей продукта И уменьшающий численность потенциальных потребителей. В модели следующие TotalPopulation, используются константы: ContactRate, AdEffectiveness, AdoptionFraction.

2. Задайте общую численность людей в модели (заданную параметром TotalPopulation) в качестве начального значения накопителя PotentialAdopters (см. рис. 2).



3. Задайте начальное количество потенциальных потребителей продукта (см. рис. 3, рис. 4).

Имя: PotentialAdopters I Oto Otoбражается на верхнем уровн Maccub	юбражать имя 📃 Исключить не 📝 Отображается
Отображается на верхнем уровн Массив	е 📝 Отображается
Массив	
Массив	
Нацальное значение	
Режим задания уравнения: 💿 Кл	• TotalPopulation : double - Main
d(PotentialAdonters)/dt =	toString(): String - Agent
AdoptionPata	toTimeout(int timeUnit, double amound)
The state of the s	AND A T LY TH HEILER

#### Рис. 1.

Имя:	PotentialAdopters	🔽 Отображать имя 🔲 Исключить
Ото	ображается на верхн	ем уровне 🛛 Отображается
Max	CHP	
	CVID	
Началі	ное значение:	TotalPopulation
Началі Режим	ное значение: задания уравнения:	TotalPopulation
<b>— мас</b> Началі Режим d(Poter	оное значение: задания уравнения: ntialAdopters)/dt =	TotalPopulation © Классический © Произвольный

Рис. 4.

Начальное значение накопителя Adopters, моделирующего потребителей продукта, задавать не нужно, поскольку изначально число потребителей равно нулю, а накопитель по умолчанию и так инициализируется нулем.

Нужно создать две динамические переменные, которые будут соответствовать двум составляющим потока приобретения продукта (см. рис. 5):

1. Приобретениям, совершенным под влиянием рекламы – AdoptionFromAd;

2. Приобретениям, совершенным под влиянием общения потребителей продукта с потенциальными потребителями – AdoptionFromWOM;

Создайте динамическую переменную AdoptionFromAd.

Поместите элемент Динамическая переменная из палитры Системная динамика на диаграмму типа агентов. В панели Свойства введите новое Имя переменной: AdoptionFromAd.



Задайте формулу для этой динамической переменной. Влияние рекламы моделируется следующим образом: некий постоянный процент потенциальных клиентов AdEffectiveness всё время становятся клиентами. Их доля в AdoptionRate равна, соответственно, PotentialAdopters\*AdEffectiveness.

Добавьте связи от двух переменных к зависимой от них AdoptionFromAd. Добавьте связи, ведущие от AdEffectiveness и PotentialAdopters к AdoptionFromAd.



Добавьте еще одну связь, ведущую от AdEffectiveness к AdoptionFromAd.



Задайте формулу, согласно которой будет вычисляться значение переменной. В свойствах переменной AdoptionFromAd, в поле AdoptionFromAd = введите: AdEffectiveness\*PotentialAdopters (Вы можете воспользоваться Мастером подстановки кода).

🔲 Свойст	ва 🖾	
Adop	tionFromAd -	Динамическая переменная
Имя:	AdoptionFromAd	📝 Отображать имя 📃 Исключить
Ото	бражается на верх	нем уровне 🛛 Отображается
📃 Mac	сив 🔲 Зависима	я 🔲 Константа
Adoptio	onFromAd =	
Pot	entialAdopters*	AdEffectiveness

Составим формулу интенсивности продаж продукта под влиянием устного общения потребителей продукта с теми, кто данный продукт еще не приобрел.

Делаем предположение, что в модели человек может общаться с любым другим человеком.

Количество контактов человека в единицу времени (а под единицей времени в нашей модели подразумевается год) задается параметром ContactRate. Запишем ContactRate в качестве первого сомножителя нашей формулы.

Количество людей, которые владеют продуктом, и могут убеждать остальных приобрести его, в нашей модели в каждый момент времени будет определяться значением накопителя Adopters, и поскольку каждый потребитель будет общаться в единицу времени с ContactRate людей, то количество контактов в единицу времени у всех потребителей продукта будет равно Adopters\*ContactRate.

Теперь нужно учесть тот факт, что в результате общения не все те, кто еще не купил этот продукт, сразу будут его покупать - если кого-то доводы своего знакомого, успешно пользующегося изучаемым нами продуктом, могут убедить, то кто-то может остаться к ним равнодушным, и своего решения не покупать продукт не изменить. Поэтому мы добавим в нашу формулу еще один сомножитель AdoptionFraction, задающий силу убеждения владельцев продукта, определяющую ту долю контактов, которая приводит к продажам продукта. Таким образом, наша формула приобретает видAdopters\*ContactRate\*AdoptionFraction.

Нужно учесть, что на данный момент формула не учитывает того, что владельцы продукта будут общаться как с потенциальными потребителями, так и с теми, кто уже владеет продуктом. И общение с последними ни к каким новым продажам продукта не приведет. Поэтому нужно учесть в формуле и вероятность того, что тот, с кем общался потребитель, ещё не владеет интересующим нас продуктом. Эта вероятность задается так: PotentialAdopters/TotalPopulation.

В итоге формула будет выглядеть следующим образом: Adopters\*ContactRate\*AdoptionFraction\*PotentialAdopters/TotalPopulation

Именно столько потенциальных потребителей будут приобретать продукт в единицу модельного времени под воздействием общения с владельцами этого продукта.

Создайте динамическую переменную AdoptionFromWOM. Задайте для этой переменной следующую формулу:

ContactRate \* AdoptionFraction \* PotentialAdopters \* Adopters / TotalPopulation

O Adop	tionFromWOM -	Динамическая переменная
Имя:	AdoptionFromWON	🖉 Отображать имя 📃 Исключить
🔲 Ото	ображается на верхне	м уровне 🛛 Отображается
Mac	сив 🔲 Зависимая	🔄 Константа
Adoptio	onFromWOM =	
Not 20 E	pters*ContactRate entialAdopters/To	*AdoptionFraction* talPopulation

Щелкните мышью по индикатору и выберите пункт Добавить отсутствующую связь. В итоге должна получиться диаграмма следующего вида.



Теперь можно задать формулу для потока приобретения продукта. Значение потока определяется суммой двух его независимых составляющих – продаж в результате рекламного влияния и продаж под влиянием общения с потребителями продукта.

Задайте формулу потока. Выделите поток AdoptionRate щелчком мыши. Перейдите панель Свойства. Введите правую часть формулы, по которой будет В поле AdoptionRate= : вычисляться значение потока, В AdoptionFromAd + AdoptionFromWOM. Добавьте соответствующие связи от этих переменных к потоку AdoptionRate.

Имя:	AdoptionRate	🛛 Отображать имя 📃 Исключить
07/	бражается на веру	инем уровне 🔍 Отображается
	ropusacies no bepi	oroopulation
	горажается на верг	oroopaxaeres

Диаграмма накопителей и потоков должна выглядеть как на приведенном ниже рисунке:



Связи имеют полярность, положительную или отрицательную:

Положительная связь означает, что два элемента системной динамики изменяют свои значения в одном направлении, т.е. если значение элемента, из которого направлена связь, уменьшается, значение другого элемента уменьшается тоже. Аналогично, если увеличивается значение одного элемента, то и значение зависимого от него элемента увеличивается тоже.

Отрицательная связь означает, что два элемента системной динамики изменяют свои значения в противоположных направлениях, т.е. если значение элемента, из которого направлена связь, уменьшается, то значение другого элемента увеличивается, и наоборот.

Вы можете добавить рядом со связями метки, которые будут обозначать полярность этих связей. Обычно полярность обозначается с помощью символов +/- рядом со стрелкой связи. Таким образом, можно показать, как зависимая переменная изменяет свое значение при изменении значения независимой переменной.

Проставьте полярности у связей. Чтобы отобразить у связи значок полярности, выделите связь и выберите нужный символ (+ или -) из группы кнопок **Полярность** в панели свойств связи. Здесь же при желании можно изменить и цвет линии связи, а также ее толщину.

Полярность:	© Her ⊚ + ⊛ - ⊚ s ⊚ o ⊚
Цвет:	По умолчанию 🔻
Толщина линии:	<b>\</b>
🔲 Задержка	

В модели все связи, за исключеинем той, что ведет от TotalPopulation к AdoptionFromWOM, имеют положительную полярность. Можно увидеть, что модель содержит два цикла с обратной связью: один компенсирующий и один усиливающий.

Компенсирующий цикл с обратной связью воздействует на поток приобретения продукта, вызванный рекламой. Поток приобретения продукта сокращает число потенциальных потребителей, что в свою очередь приводит к снижению интенсивности приобретения продукта.



Усиливающий цикл с обратной связью воздействует на поток приобретения продукта, вызванный общением с потребителями продукта. Поток приобретения продукта увеличивает численность потребителей продукта, что приводит к росту интенсивности приобретения продукта под влиянием общения с потребителями продукта, и следовательно к росту интенсивности приобретения продукта.



Добавьте идентификатор цикла, вызывающего насыщение рынка. Поместите элемент Цикл ( из палитры Системная динамика на графическую диаграмму, как показано на рисунке ниже.



Перейдите в панель Свойства, чтобы изменить свойства цикла. Задайте Направление цикла - этот цикл направлен Против часовой стрелки. В поле Текст введите краткое описание этого цикла, объясняющее его смысл: Market Saturation (или Насыщение рынка). Этот текст будет показан на презентации. Из группы кнопок Тип выберите символ, который будет отображаться для данного цикла. Выберите символ В (обозначающий Balancing, то есть компенсирующий цикл).

Чтобы определить, является ли цикл усиливающим или уравновешивающим, можно начать с предположения, что, например значение переменной А увеличивается, и проследить за изменением значений входящих в цикл переменных. Цикл является:

1. усиливающим, если после прохождения по циклу Вы видите тот же результат, что был допущен при начальном предположении (в нашем случае - увеличение значения).

2. уравновешивающим или компенсирующим, если результат противоречит начальному предположению.

Добавьте идентификатор для цикла, задающего общение людей друг с другом, как показано на рисунке ниже:



Этот цикл соответствует общению людей друг с другом. Он является усиливающим, поэтому выберите для него символ R (обозначающий усиливающий, *Reinforcing* цикл). Задайте *Word of Mouth* (или *Устное общение*) в качестве текста. Задайте Направление цикла - этот цикл направлен По часовой стрелке. В итоге диаграмма должна выглядеть следующим образом:



Постройте и запустите модель на выполнение. Исследуйте динамику переменных AdoptionFromAd и AdoptionFromWOM с помощью графиков.

## Задание на лабораторную работу

- 1. Изучить методические рекомендации по выполнению лабораторной работы;
- 2. Выполнить вариант задания, выданный преподавателем;
- 3. Подготовить отчёт по лабораторной работе;
- 4. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

## Варианты заданий

1. Выполните исследование модели реализации продукции по Бассу, используя параметры, приведённые в таблице ниже.

№ варианта	Эффективность рекламы (AdEffectiveness)	Сила убеждения (AdoptionFraction)	Длительность моделирования
1	0,001	0,001	6
2	0,001	0,01	7

3	0,001	0,02	8
4	0,001	0,03	9
5	0,001	0,1	10
6	0,01	0,001	6
7	0,01	0,01	7
8	0,01	0,02	8
9	0,01	0,03	9
10	0,01	0,1	10
11	0,05	0,001	6
12	0,05	0,01	7
13	0,05	0,02	8
14	0,05	0,03	9
15	0,05	0,1	10
16	0,1	0,001	6
17	0,1	0,01	7
18	0,1	0,02	8
19	0,1	0,03	9
20	0,1	0,1	10

2. Созданная модель не учитывает того, что со временем продукт может быть израсходован или прийти в негодность, что вызовет необходимость его повторного приобретения. Смоделируйте повторные покупки, полагая, что потребители продукта снова становятся потенциальными потребителями, когда продукт, который они приобрели, становится непригоден. Выполните исследование модели;

3. Определите значение параметров AdEffectiveness и AdoptionFraction при котором значение AdoptionRate максимизируется в конце процесса моделирования;

4. Определите значение параметров AdEffectiveness и AdoptionFraction при котором значение AdoptionRate максимизируется в начале процесса моделирования.

5. Создайте модель, описывающую сезонную цикличность спроса.

6. В исходной модели эффективность рекламы полагается постоянной. На самом деле она зависит от текущих расходов компании на рекламу. Измените модель так, чтобы иметь возможность управлять расходами на рекламную кампанию.

7. Создайте эксперимент, в котором выполняется поиск оптимальной рыночной стратегии для достижения требуемого количества потребителей к определённому моменту времени при минимальных затратах на рекламу.

## Контрольные вопросы

1. Опишите варианты использования модели системной динамики;

2. Опишите варианты использования объекта "накопитель";

3. Опишите варианты использования объекта "поток";

4. Опишите варианты использования объекта "динамическая переменная";

5. Опишите принципы создания связей между переменными.

## Лабораторная работа № 3. Разработка модели дискретной системы в AnyLogic

Цель: создание и исследование модели дискретной системы в AnyLogic

## Ход выполнения работы

Анализировать процессы, протекающие в мире, удобнее, если рассматривать их как последовательность отдельных важных моментов – событий. Подход к построению

имитационных моделей, предлагающий представить реальные действия такими событиями и называется "дискретно-событийным" моделированием (discrete event modeling).

Вот некоторые примеры событий: покупатель вошел в магазин, на складе закончили разгружать грузовик, конвейер остановился, в производство запущен новый продукт, уровень запасов достиг некоего порога и т.д. В дискретно-событийном моделировании движение поезда из точки А в точку Б будет представлено двумя событиями: отправление и прибытие, а само движение становится "задержкой" (интервалом времени) между ними. Это, однако, не означает, что вы не сможете показать поезд в движении - как раз наоборот, AnyLogic позволяет создавать визуально непрерывные анимации для логически дискретных процессов.

Термин "дискретно-событийное моделирование", однако, обычно используется в более узком смысле для обозначения "процессного" моделирования, где динамика системы представляется как последовательность операций (прибытие, задержка, захват ресурса, разделение, ...) над некими сущностями (entities, по-русски - транзакты, заявки), представляющими клиентов, документы, звонки, пакеты данных, транспортные средства и т.п. Эти сущности пассивны, они сами не контролируют свою динамику, но могут обладать определёнными атрибутами, влияющими на процесс их обработки (например, тип звонка, сложность работы) или накапливающими статистику (общее время ожидания, стоимость). Процессное моделирование используется на среднем или низком уровне абстракции: каждый объект моделируется индивидуально, как отдельная сущность, но множество деталей "физического уровня" (геометрия, ускорения/замедления) опускается. Такой подход широко используется в моделировании бизнес-процессов, производства, логистики, здравоохранения и т.д.

1. Создайте модель для исследования процесса незатухающих гармонических колебаний. Колебательный процесс описывается дискретным уравнением гармонических колебаний следующего вида:

 $x[n] = a \sin(\omega t[n] + \varphi_0),$ 

где  $\phi_0$  – начальная фаза,  $\omega$  – угловая частота, t[n] – дискретное время, а – амплитуда колебаний.

Дискретное время вычисляется по формуле: t[n]= $T_{0*}n$ , где n=0,..., $\infty$ ,  $T_0$  – период дискретизации модели.

Рассмотрим параметры модели, которые необходимо внести в AnyLogic: амплитуда колебаний, частота колебаний, период дискретизации и начальную фазу можно смоделировать с помощью параметров, а дискретное время, текущее значение амплитуды колебательного процесса и счётчик времени – с помощью переменных.

2. Создайте дискретную модель затухающих колебаний:  $x[n] = a^* e^{-\delta^* t[n]} \sin(\omega_{3ar}t[n] + \phi_0)$ , где  $\delta$  – коэффициент затухания, е – основание натурального логарифма,  $\omega_{3am} = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ .

## Задание на лабораторную работу

1. Изучить методические рекомендации по выполнению лабораторной работы;

2. Выполнить вариант задания, выданный преподавателем;

3. Подготовить отчёт по лабораторной работе;

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

#### Варианты заданий

1. Создайте модель колебательного процесса, используя приведённые рекомендации. Задайте функцию, которая будет вычислять значение x[n]. Постройте

график изменения переменной х. Примите в качестве начальных значений параметров значения, приведённые в таблице ниже.

N⁰	$T_0$	a	ω	$arphi_0$
варианта				
1	0,001	1	0.2	0
2	0,001	0.9	0.25	0.05
3	0,001	0.8	0.3	0.1
4	0,001	0.7	0.35	0.15
5	0,001	0.6	0.4	0.2
6	0,01	1	0.2	0
7	0,01	0.9	0.25	0.05
8	0,01	0.8	0.3	0.1
9	0,01	0.7	0.35	0.15
10	0,01	0.6	0.4	0.2
11	0,05	1	0.2	0
12	0,05	0.9	0.25	0.05
13	0,05	0.8	0.3	0.1
14	0,05	0.7	0.35	0.15
15	0,05	0.6	0.4	0.2
16	0,1	1	0.2	0
17	0,1	0.9	0.25	0.05
18	0,1	0.8	0.3	0.1
19	0,1	0.7	0.35	0.15
20	0,1	0.6	0.4	0.2

2. Создайте модель затухающего колебательного процесса. Выполните её исследование. Значение коэффициента б для вариантов показано ниже.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.1

## Контрольные вопросы

1. Опишите структуру модели AnyLogic;

2. Опишите варианты использования дискретно-событийного моделирования;

3. Опишите процесс создания переменной в AnyLogic;

4. Опишите процесс создания параметра в AnyLogic;

5. Опишите процесс запуска модели в AnyLogic.

## Лабораторная работа 4. Разработка модели мультиагентной системы в AnyLogic

Цель: создание и исследование мультиагентной системы в AnyLogic

#### Ход выполнения работы

Агентное моделирование (agent-based model (ABM)) – метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом. В отличие от системной динамики аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов (моделирование «снизу вверх»).

Рассмотрим процесс моделирования реализации продукции с помощью агентного подхода.

1. Создайте агентную модель из шаблона;

2. Создайте новый тип агента на основе шаблона "Person", выберите анимацию агентов, размер популяции – 500;

3. Укажите тип и размер пространства (непрерывное, размер 500\*500);

4. Задайте свойства сети агентов (агенты связаны и случайно размещены в пространстве);

5. Задайте простое поведение и сбор статистику по агентам;

6. Задайте конечный автомат объекта в соответствии с рис. 1.



Рис. 1.

Действие при входе в состояние PotentialAdopter: person.setFillColor(new Color(0,0,255));

Потенциальные потребители будут отображаться синим цветом. Действие при входе в состояние Adopter: person.setFillColor(new Color(255,0,0));

Потребители товара будут отображаться красным цветом.

Добавьте параметр AdEffectivenes=0.011, который задает влияние рекламы на процесс приобретения товара. Переход выполняется с заданной интенсивностью равной параметру.

7. Выполните запуск модели (установите модельное время равное 10 минутам);

8. Выполните статистическое исследование модели. Для этого оцените количество потенциальных потребителей potentialAdopters и количество потребителей продукта adopters:

8.1. item.statechart.isStateActive(Person.PotentialAdopter);

8.2. item.statechart.isStateActive(Person.Adopter);

Подсчет количества выполняется при входе в активности соответствующего состояния объекта statechart методом: public boolean isStateActive(short state), где: item – указатель на текущий реплицированный объект, который используется при подсчете AnyLogic статистического показателя. Отобразите изменение переменных Person.PotentialAdopter и Person.Adopter во времени на графике.

9. Доработайте модель таким образом, чтобы она позволяла учитывать общение между потребителями. Для этого измените класс Person так, как показано на рис. 2.



Рис. 2.

Для учета общения потребителей добавьте в модель два параметра ContactRate=100 (интенсивность контактов), AdoptionFraction=0.015 (вероятность покупки потенциальными потребителями продукта).

Переход transition1, моделирует общение потребителей. Он выполняется с частотой ContactRate. При этом должно формироваться сообщение о желании купить продукт. помощью Такое действие моделируется оператора AnyLogic с send("buy!", RANDOM CONNECTED). Константа RANDOM CONNECTED означает. ЧТО сообщение адресовано произвольному потенциальному покупателю. Выполнение перехода transition2 моделирует покупка товара потенциальным покупателем, он происходит при получении сообщения "buy!" символьного типа. Моделирование случайного характера покупок предлагается сделать с помошью введения дополнительного условие по параметру AdoptionFraction, используя функцию randomTrue(AdoptionFraction). Измените свойства сети, сделав её упорядоченной "Согласно расстоянию".

10. Выполните запуск модели (установите модельное время равное 10 минутам).

11. Выполните статистическое исследование модели. Для этого оцените количество потенциальных потребителей potentialAdopters и количество потребителей продукта adopters

## Задание на лабораторную работу

1. Изучить методические рекомендации по выполнению лабораторной работы;

- 2. Выполнить вариант задания, выданный преподавателем;
- 3. Подготовить отчёт по лабораторной работе;

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

## Варианты заданий

1. Выполните исследование построенной модели. Для этого используйте значения параметров приведённых в таблице ниже. Объясните изменения количества потенциальных потребителей и количества потребителей продукта.

N⁰	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размер	500	600	700	800	500	600	700	800	500	600
популяции										
AdEffectivenes	0.005	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.055
ContactRate	50	100	200	300	400	50	100	200	300	400
AdoptionFraction	0.005	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.055
$N_{\underline{0}}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Размер	500	600	700	800	500	600	700	800	700	800
популяции										
AdEffectivenes	0.005	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.055
ContactRate	50	100	200	300	400	50	100	200	300	400
AdoptionFraction	0.05	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55

2. Созданная модель не учитывает того, что со временем продукт может быть израсходован или прийти в негодность, что вызовет необходимость его повторного приобретения. Смоделируйте повторные покупки, полагая, что потребители продукта снова становятся потенциальными потребителями, когда продукт, который они приобрели, становится непригоден. Выполните исследование модели;

3. Определите значение параметров AdEffectiveness и AdoptionFraction при котором значение AdoptionRate максимизируется в конце процесса моделирования;

4. Определите значение параметров AdEffectiveness и AdoptionFraction при котором значение AdoptionRate максимизируется в начале процесса моделирования.

5. Создайте модель, описывающую сезонную цикличность спроса.

6. В исходной модели эффективность рекламы полагается постоянной. На самом деле она зависит от текущих расходов компании на рекламу. Измените модель так, чтобы иметь возможность управлять расходами на рекламную кампанию.

7. Создайте эксперимент, в котором выполняется поиск оптимальной рыночной стратегии для достижения требуемого количества потребителей к определённому моменту времени при минимальных затратах на рекламу.

## Контрольные вопросы

1. Опишите варианты использования агентной модели;

2. Опишите основные принципы создания агентной модели;

3. Опишите параметры агента в среде AnyLogic;

4. Опишите принципы организации взаимодействия между агентами в среде AnyLogic;

5. Опишите, что представляет собой агент модели.

## Лабораторная работа № 5. Агентное моделирование: броуновское движение

Цель: выполнить моделирование движения шаров в двумерном пространстве с помощью агентного подхода.

## Ход выполнения работы

Шары одинаковой массы двигаются в ограниченном двумерном пространстве с упругим соударением без потери энергии. Столкновение шаров со стенками мы рассматривали в самой первой работе, вспомним, что новое значение скорости шара получается путем изменения знака соответствующей составляющей скорости. При центральном упругом столкновении шаров они будут обмениваться своими скоростями. В модели силы трения очень малы по сравнению с упругими силами. Так как, силы трения отсутствуют, изменяться будут только нормальные составляющие скорости шаров так же, как при центральном столкновении, то есть произойдет обмен нормальными составляющими скоростей.

Выполним моделирование шаров классом Ball, который содержит параметры, переменные и события.

Параметры: r – радиус шара, Xmax и Ymax – размеры прямоугольной области, в которой

двигаются шары, V – начальная скорость шара, g – ускорение свободного падения.

Переменные: положение его центра х и у в координатах X и Y, составляющие скорости vx

и уу по этим координатам. Три переменных описаны интегралами:

dx / dt = Vx; dy / dt = Vy; dVy / dt = g.

Переменная vx задана как простая переменная, т.к. по оси X на шары не действуют внешние силы.

Задана переменная color типа Color с помощью которой можно явно задать значения цветовых компонент цвета. Для создания белого цвета можно вызвать конструктор new Color(0, 0, 0). Для окрашивания шаров в случайные цвета можно использовать функцию uniform\_discr(255).

Заполните поле "Действие при запуске" активного объекта класса Ball. В этом поле нужно установить случайные координаты центра шара и его скорость.

Необходимо описать поведение шара при столкновении:

- с другим шаром;

- с границей области.

#### Задание на лабораторную работу

1. Изучить методические рекомендации по выполнению лабораторной работы;

2. Выполнить вариант задания, выданный преподавателем;

3. Подготовить отчёт по лабораторной работе;

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

## Варианты заданий

Выполните моделирование поведения шаров в соответствии с заданием.

1. Область разделена пополам горизонтальной стеной. Шар при переходе в нижнюю часть окрашивается в коричневый цвет, при переходе в верхнюю – в голубой

2. Область разделена перегородкой пополам. В перегородке есть отверстия, при попадании в которое шар исчезает.

3. Область разделена на 4 части. Шары при переходе между областями меняют свой цвет на случайный.

4. Область разделена на 4 части. Шары при соприкосновении с границей области пропадают.

5. Область разделена пополам. При ударе о границу шары пропадают.

6. При соударении двух шаров один пропадает шар с вероятностью 10%, другой – с вероятностью 90%.

7. Область разделена перегородкой пополам. В перегородке есть отверстия, при попадании в которое шар переходит в другую часть области.

8. Шары при столкновении обмениваются скоростями.

9. Шары при столкновении начинают двигаться в случайном направлении.

### Контрольные вопросы

1. Опишите место агентных моделей в мире математического моделирования;

2. Опишите процесс создания агентных моделей;

3. Опишите основные элементы агентных моделей.

## Лабораторная работа № 6. Модель сегрегации Т. Шеллинга

Цель: выполнить моделирование поведения групп людей с помощью агентного подхода.

#### Ход выполнения работы

Модель сегрегации Шеллинга – классическая агентная модель системы, способной к самоорганизации. Две социальные группы, например, две различные расы; мужчины и женщины; курящие и некурящие и т.д. помещаются на шахматную доску, где каждая клетка представляет собой дом, в котором может находиться не больше одного человека. Человек счастлив, если определенный процент его соседей принадлежит к той же социальной группе. Счастливые люди остаются на месте, в то время как несчастливые перемещаются на другие свободные места.

Шеллинг установил, что если задать "условия счастья", при которых отдается предпочтение сегрегации, то доска быстро примет вид сегрегированного шаблона расположения. Удивительно, но полная сегрегация установится даже в том случае, если индивидуумы лишь слегка склонны к тому, чтобы иметь соседей одного с ними социального типа.

Требуется построить модель сегрегации Шеллинга с возможностью интерактивного изменения "условия счастья" по ходу выполнения модели.

Создайте модель на основе шаблона "Агентное моделирование". Установите начальное количество агентов в 10000, тип пространства – дискретное.

Выполните редактирование диаграммы активного объекта Person. Установите размер в 3\*3 клетки. Установите связь между цветом заливки и переменной color: randomTrue( 0.5 ) ? Color.blue : Color.green. Добавьте в класс переменную "счастье" логического типа.

Выполните редактирование класса Main. Объявите параметр "порог", который будет соответствовать числу соседей, принадлежащих той же социальной группе.

Установите в свойствах активного объекта Person следующие действия перед выполнением очередного шага:

int рядом = 0;

Agent[] соседи = getNeighbors(); // строим массив агентов - соседей if( соседи == null ) {

счастье = true; // нет соседей - это тоже хорошо

return;} // выход

for( Agent a : соседи ) // перебираем весь массив соседей

if(((Person)a).color == color)//сравниваем цвет соседа со своим

рядом++; // если цвет совпал - суммируем

//счастлив, если процент того же цвета больше/равен заданному порогу:

счастье = (рядом >= get\_Main().порог \* соседи.length);

В поле Действие на шаге напишите следующий код: if(!счастье && randomTrue(0.3))//если не счастлив, то с вероятн. 0,3 jumpToRandomEmptyCell(); // переход на другую свободную клетку

Задайте функции объекта people для сбора статистики. Создайте элементы для отображения статистики.

## Задание на лабораторную работу

1. Изучить методические рекомендации по выполнению лабораторной работы;

2. Выполнить вариант задания, выданный преподавателем;

3. Подготовить отчёт по лабораторной работе;

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

## Варианты заданий

1. Выполните исследование модели в соответствии с параметрами, указанными в таблице ниже. Сделайте выводы о влиянии значений параметров на поведение модели.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вероят. перех.	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5
на сосед. клетку	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
порог	10	20	30	40	50	60	70	80	90	10
N⁰	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Вероят. перех. на сосед. клетку	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
порог	10	20	30	40	50	60	70	80	90	10

2. Создайте модель сегрегации Шеллинга для трёх социальных групп. Выполните исследование модели.

3. Создайте модель сегрегации Шеллинга для четырёх социальных групп. Выполните исследование модели.

4. Создайте модель сегрегации Шеллинга для пяти социальных групп. Выполните исследование модели.

## Контрольные вопросы

1. Опишите теоретические основы агентного моделирования;

2. Опишите рамки применения агентных моделей;

3. Опишите ограничения агентного моделирования.

4. Опишите роль теории игр в моделировании информационных процессов.

#### Библиографический список

1. Боев В. Д. Исследование адекватности GPSS World и AnyLogic при моделировании дискретно-событийных процессов: Монография. — СПб.: ВАС, 2011. – 404 с.

2. Дигрис, А. В. Дискретно-событийное моделирование [Электронный ресурс] :курс лекций / А. В. Дигрис. – Минск : БГУ, 2011. – Режим доступа : http://www.elib.bsu.by, ограниченный.

3. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: Учебное пособие. — М.: Издательство Московского университета, 2011. – 304 с., ил.

4. Киселева М. В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic : учебнометодическое пособие / М. В. Киселёва. Екатеринбург : УГТУ - УПИ, 2009. 88 с.

5. Маликов, Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 [Текст]: учеб. пособие / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с.

6. К.Н. Мезенцев. Учебное пособие «Моделирование систем в среде AnyLogic 6.4.1». Часть 1 /Под редакцией Заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н., профессора А.Б.Николаева. МАДИ. — М.: 2011. 103 с.

7. К.Н. Мезенцев. Учебное пособие «Моделирование систем в среде AnyLogic 6.4.1». Часть 2 /Под редакцией Заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н., профессора А.Б.Николаева. МАДИ. — М.: 2011. 103 с.

8. Осоргин А.Е. AnyLogic 6. Лабораторный практикум/ А.Е.Осоргин. – Самара: ПГК, 2011.

9. Осоргин А.Е. АпуLogic 6. Лабораторный практикум/ А.Е.Осоргин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Самара: ПГК, 2012.