

Т е м а н о м е р а : К м е т о д о л о г и и н а у ч н ы х и с с л е д о в а н и й

М е т о д и к а п о с т р о е н и я и м и т а ц и о н н о й м о д е л и (н а п р и м е р е с р е д н е г о б а л л а Е Г Э в р о с с и й с к и х р е г и о н а х)



Филипова Александра Геннадьевна –
доктор социологических наук, ведущий
научный сотрудник, доцент, Дальневосточный
федеральный университет, Владивосток

Email: alexgen77@list.ru



Высоцкая Алёна Валерьевна –
и.о. заведующего кафедрой «Информационные
системы», Комсомольский-на-Амуре
государственный университет,
Комсомольск-на-Амуре

Email: Al-w-buaa@rambler.ru

Методика построения имитационной модели (на примере среднего балла ЕГЭ в российских регионах)

DOI: 10.19181/vis.2017.23.4.481

Аннотация. В статье¹ представлена методика моделирования ситуации со средними баллами ЕГЭ в российских регионах. Из трёх подходов имитационного моделирования выбран подход системной динамики, позволяющий работать с неполными данными, отслеживать изменения модели во времени, а также выстраивать причинно-следственные связи между факторами, оценивать силу их взаимных влияний. Этапы работы включают обоснование методологии системной динамики, построение концептуальной модели системной динамики средних баллов ЕГЭ, упрощение полученной модели и установление причинно-следственных связей математико-статистическими методами, реализацию модели в программной среде AnyLogic и проигрывание сценариев её развития. Использование языка имитационного моделирования позволило выразить через потоки и накопители элементы моделируемой системы. Средний балл ЕГЭ выбран в качестве накопителя, он соединяет в себе ресурсы системы общего образования (кадровые, технологические, финансовые). В концептуальной модели выделены три уровня анализа: демографический, институциональный, экономико-инфраструктурный, в соответствии с которыми сформирован набор из 17 управляющих факторов, воздействующих на результативность ЕГЭ (целевой фактор). Управляющие факторы преобразованы в модели системной динамики в «потоки» и «параметры». Периодом наблюдения был выбран 2013/14 учебный год. Статистические данные для изучения взяты из сборников «Регионы России», единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС), а также информационно-аналитических отчётов региональных центров обработки информации. Выборочная совокупность в итоге представлена 78 российскими регионами, из рассмотрения выпали 5 субъектов РФ по причине отсутствия статистических данных по отдельным факторам. Использование методов корреляционного и регрессионного анализа позволило свести количество управляющих факторов к трём – уровню городского населения, количеству благоустроенных школ и количеству вечерних школ. Данные факторы стали параметрами, определяющими потоки в модели системной динамики. При этом влияние двух первых положительно сказывается на росте определённого параметра в качестве накопителя среднего балла ЕГЭ. Третий параметр формирует поток обратного направления, снижающий значение накопителя. Согласно коэффициентам регрессионного уравнения, его влияние сильнее двух предыдущих. Построенная в AnyLogic модель «Средний балл ЕГЭ в регионах» включает один накопитель (уровень ЕГЭ), один параметр с нерегулируемым значением (уровень городского населения) и два – с регулируемым (уровни благоустроенных и вечерних школ). В программной среде были проведены две серии экспериментов.

Ключевые слова: общее образование, ЕГЭ, субъекты РФ, средний балл ЕГЭ, региональные факторы, имитационное моделирование, корреляционный анализ, регрессионный анализ, модель системной динамики, накопители, потоки, параметры

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 16-36-60041).

Имитационное моделирование является современным инструментом исследования сложных систем, состоящих из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих элементов. Оно представляет собой логико-алгоритмическое описание поведения отдельных элементов системы и правил их взаимодействия, а также последовательность событий, возникающих в моделируемой системе [Имитационное моделирование...]. Например, при исследовании работы медицинского учреждения метод имитационного моделирования помогает оценить качество работы медицинского учреждения, а также описать время, проведённое клиентом в учреждении, длину очереди, процент занятости персонала и т. д.

На сайте AnyLogic (программного продукта для имитационного моделирования) разработчик так характеризует имитационное моделирование: «[Оно]... решает проблемы реального мира безопасно и разумно. Это удобный инструмент для анализа: он нагляден, прост для понимания и проверки» [AnyLogic].

Для имитационного моделирования наряду с AnyLogic используются такие разработки зарубежных и отечественных IT-специалистов, как Simplex II, Simplex ++, Arena, AutoMod, AnyLogic, Matlab, iThink, PowerSim, GPSS World, Simulink и др. Эти программные продукты отличаются функциональными возможностями, наличием встроенных аппаратов многопараметрической оптимизации, удобством экспорта/импорта данных, наличием поддержки со стороны разработчиков и др.

Обзор отечественных работ в области имитационного моделирования показал широту диапазона использования данного инструмента. В большей степени он востребован при моделировании производственных процессов, бизнес-процессов, управлении цепями поставок, перевозок [Баязитов, Гибадуллин 2011; Пинаева 2016]. Однако в последние годы растёт интерес к экспериментам с социальными системами. Инструменты имитационного моделирования успешно применяются в здравоохранении [Здравоохранение... 2017], науке и образовании [Социальные процессы... 2017], региональных исследованиях [Филипова, Еськова, Штефан 2017; Филипова, Еськова 2017].

Интерес теоретиков и практиков к имитационному моделированию иллюстрирует ставшая уже традиционной научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. В октябре 2017 г. восьмая конференция прошла в Санкт-Петербурге [Восьмая всероссийская... 2017].

Задачи имитационного моделирования реализуются на базе одного из трёх подходов – дискретно-событийного, агентного и системно-динамического. Для первого характерно то, что состояние моделируемой системы может меняться только в моменты свершения событий, поэтому выделяются наиболее значимые точки. К примеру, движение поезда из

точки А в точку В будет представлено двумя событиями: отправлением и прибытием, а само движение станет «задержкой» (интервалом времени). Второй подход отличается тем, что используется для описания децентрализованных систем, когда глобальные правила и законы являются результатом персональной активности агентов. В качестве примера можно привести ситуацию с эпидемией. Агентное моделирование помогает отобразить разнородные контакты между людьми (носителями инфекции) и в итоге построить прогнозные сценарии распространения эпидемии. Третий вариант – системная динамика – используется для построения графических диаграмм причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени [Sterman 2000].

Целью нашего исследования является имитационное моделирование уровня средних баллов ЕГЭ в российских регионах. Средний балл ЕГЭ в региональном аспекте может служить средством фиксации региональных различий систем общего образования, а также экономико-инфраструктурных и демографических особенностей субъектов РФ. Из трёх направлений имитационного моделирования мы выбрали системную динамику, поскольку она помогает выявить причинно-следственные отношения между объектами, оценить силу влияний одних факторов на другие, проследить изменения системы во времени, а также построить прогнозные варианты поведения системы. Кроме того, как справедливо отмечает Н. Лычкина, системная динамика обладает возможностью построения модели при отсутствии полной информации о системе [Лычкина 2009].

Задачи настоящего исследования: обосновать методологию системной динамики; построить концептуальную модель системной динамики средних баллов ЕГЭ; упростить полученную модель, выделив наиболее значимые её компоненты средствами математико-статистического анализа; реализовать модель в программной среде AnyLogic; сформировать сценарии развития имитационной модели.

Методология системной динамики исходит из того, что на историю развития системы во времени в большей степени оказывает влияние её информационно-логическая структура, которая охватывает физические и технологические составляющие процессов, политики и традиций, прямо или косвенно влияющих на процесс принятия решений [Модели системной... 2009].

Методология системной динамики была построена так, чтобы сделать применимой на практике философию развития. Для большинства системно-динамических проектов создаются формальные потоковые диаграммы, представляемые в виде систем дифференциальных уравнений. Как потоковые диаграммы, так и системы уравнений выражают управленческие

связи посредством двух категорий: накопителей и потоков. Накопители – это объекты реального мира, в которых сосредотачиваются некоторые ресурсы: знания (идеи), фонды, источники рабочей силы и т. п. Потоки – это все активные компоненты системы: потоки усилий (попыток), информационные потоки, расходные платежи и т. п. [Системная динамика... 2005].

Для дальнейшей работы мы будем использовать термины имитационного моделирования – накопители, потоки, параметры. Накопители характеризуют целевые показатели, их значения являются решающими для устойчивости модели, её положительной динамики. На накопители влияют потоки: потоки прямой направленности увеличивают значение накопителей, обратной направленности – уменьшают. Параметры представляют собой переменные, влияющие на изменение темпа потоков или непосредственно воздействующие на накопители. Они могут быть зависимыми переменными или константами [Sternan 2000].

Средний балл ЕГЭ рассматривается нами как накопитель, поскольку он соединяет в себе ресурсы системы общего образования (кадровые, технологические, финансовые). Кроме того, ЕГЭ стал инструментом оценки эффективности работы общеобразовательных организаций (высокие баллы ЕГЭ – одно из оснований стимулирующих выплат учителям), а также фактором социальной мобильности выпускников (возможность поступить в престижный вуз, уехать из села в город, из города Сибири и Дальнего Востока – в город европейской части России), что стало возможным с 2009 г. после вступления в силу поправок в законы «Об образовании» и «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» (от 9 февраля 2007 г. № 17-ФЗ).

Как отмечает С. Станченко¹, «за последние годы процедура проведения ЕГЭ была значительно усовершенствована, что позволяет говорить о высокой степени объективности результатов, а также о равенстве условий, в которых проводится экзамен. Это даёт возможность использовать результаты ЕГЭ в целях анализа» [Цит. по: Кряжев 2017].

Средний балл ЕГЭ определён пока как единственный накопитель для построения сценариев развития региональных систем общего образования. Мы выбрали экзамены по русскому языку и математике в силу их обязательного характера, поэтому рассчитываем значение накопителя как среднее от средних баллов ЕГЭ в регионах по этим двум предметам.

Построение концептуальной модели динамики средних баллов ЕГЭ предполагает выделение целевых и управляющих факторов, а также уровней анализа. Целевым фактором («накопителем» в терминах системной динамики) обозна-

¹ Глава Центра национальных и международных исследований качества образования, руководитель проектов Национальных исследований качества образования и Всероссийских проверочных работ.

чен средний балл ЕГЭ. По материалам аналитических отчетов региональных центров обработки информации (РЦОИ), научных публикаций, а также экспертных интервью со специалистами органов управления образованием, учителями общеобразовательных организаций выделены три уровня концептуальной модели: демографический, институциональный, экономико-инфраструктурный.

В соответствии с выделенными уровнями был сформирован набор из 17 управляющих факторов, воздействующих на результативность ЕГЭ (целевой фактор). Управляющие факторы будут преобразованы в модели системной динамики в «потoki» и «параметры».

Уровень «Демография» включает 4 показателя:

x1 – процент населения с доходами ниже прожиточного минимума;

x2 – удельный вес городского населения в общей численности населения, (в %);

x3 – количество жителей с высшим образованием на 1 тыс. чел.;

x4 – число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. чел. населения.

Уровень «Общее образование», являясь базовым для модели, состоит из девяти показателей:

x5 – процент обучающихся в общеобразовательных организациях во вторую и третью смены;

x6 – удельный вес численности детей, получающих услуги дополнительного образования, в общей численности детей в возрасте от 5 до 18 лет, (в %);

x7 – удельный вес частных общеобразовательных организаций в общем количестве общеобразовательных организаций, (в %);

x8 – отношение средней заработной платы учителей к средней заработной плате в регионе, (в %);

x9 – удельный вес вечерних общеобразовательных организаций в общем количестве общеобразовательных организаций, (в %);

x10 – отношение числа обучающихся к числу учителей общеобразовательных организаций;

x11 – удельный вес благоустроенных общеобразовательных организаций в общем количестве общеобразовательных организаций, (в %);

x12 – отношение расходов консолидированного бюджета региона на образование ко всем региональным расходам;

x13 – число ПК образовательных организаций с доступом к интернету на 100 учащихся.

Уровень «Экономика и инфраструктура региона» включает 4 показателя:

x14 – ВРП на душу населения;

x15 – общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, (в кв.м);

x16 – библиотечный фонд на 1000 человек населения, (экз.);

x17 – удельный вес домохозяйств, имеющих ПК с доступом к интернет.

Количественное наполнение этих 17-ти управляющих факторов, а также обозначенного в качестве «накопителя» целевого фактора (средний балл ЕГЭ), осуществлялось посредством обращения к источникам статистической информации. Периодом наблюдения был выбран 2013/14 учебный год. Статистические данные для изучения были взяты из сборников «Регионы России» [Регионы России... 2015], единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) [Единая межведомственная...], а также информационно-аналитических отчётов РЦОИ. Всего были изучены данные 82 отчётов РЦОИ за 2013/2014 учебный год. Начиная с 2013 г., сводная информация по данным ЕГЭ в региональном аспекте перестала публиковаться. Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки объясняет это воспроизводством регионального неравенства: информация о баллах ЕГЭ по регионам ставит последние в заведомо неравное положение, влияет на их имидж и привлекательность в глазах молодёжи, поскольку везде свои условия [Берсенева 2015].

Отсутствие статистических данных по отдельным показателям заставило исключить из рассмотрения пять субъектов РФ: Архангельскую, Сахалинскую, Тюменскую области, Республику Алтай, Чукотский автономный округ. Таким образом, для анализа данных использовались сведения из 78 субъектов РФ. Имеющиеся абсолютные значения показателей были преобразованы в относительные значения для сравнения данных по регионам.

Поскольку рассматриваемые показатели имеют разные единицы измерения, то их необходимо нормализовать. Это позволит привести все используемые числовые значения переменных к одной области значений. В работе была использована линейная нормализация, осуществляемая путём деления разности фактического значения показателя региона и среднего значения по 78 регионам РФ на стандартное отклонение рассмотренной совокупности.

Следующий этап работ связан с выделением наиболее значимых элементов построенной концептуальной модели средствами математико-статистического анализа, а также установлением связей между элементами редуцированной модели, их описанием на языке математических формул.

Использование методов многомерного статистического анализа на этапе обработки данных предъявило определённые требования к эмпирическому материалу – количественному выражению переменных, недопустимости пропусков их значений, поэтому на данном этапе исследования из рассмотрения пока выпали субъективные оценки (родителями и детьми) факторов, влияющих на успешность сдачи ЕГЭ.

Для выявления взаимосвязей целевого фактора (накопителя) с управляющими факторами (потоками, параметрами) был использован коэффициент линейной корреляции Пирсона. Расчёты производились посредством встроенной функции Excel. Полученные данные приведены на рис. 1.

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17
Y	1,00																	
X1	-0,37	1,00																
X2	0,57	-0,46	1															
X3	0,16	-0,30	0,51	1,00														
X4	0,26	0,11	0,42	-0,05	1,00													
X5	-0,37	0,29	-0,34	-0,33	0,16	1,00												
X6	0,37	-0,25	0,32	-0,01	0,08	-0,38	1,00											
X7	0,08	-0,23	0,33	0,67	-0,11	-0,09	-0,10	1,00										
X8	0,25	-0,42	0,39	0,27	0,08	-0,26	0,06	0,20	1,00									
X9	-0,17	0,20	0,08	-0,10	0,33	0,16	0,01	-0,03	-0,04	1,00								
X10	0,33	-0,29	0,51	0,33	0,35	0,05	0,05	0,42	0,33	0,25	1,00							
X11	0,53	-0,56	0,53	0,27	0,02	-0,37	0,29	0,24	0,30	0,04	0,50	1,00						
X12	-0,16	0,20	-0,25	-0,37	0,08	0,26	0,06	-0,28	-0,27	0,04	-0,22	-0,39	1,00					
X13	0,26	-0,42	0,52	0,41	0,05	-0,25	0,22	0,17	0,30	-0,08	0,23	0,33	-0,31	1,00				
X14	0,10	-0,29	0,28	0,18	0,03	0,00	0,15	0,03	0,25	-0,16	0,08	-0,03	-0,28	0,49	1,00			
X15	0,37	-0,42	0,35	0,03	0,00	-0,60	0,27	-0,10	0,20	-0,14	-0,01	0,52	-0,17	0,17	-0,14	1		
X16	0,12	0,13	0,20	-0,02	0,10	-0,43	0,24	-0,18	0,00	0,08	-0,35	-0,03	-0,14	-0,03	-0,05	0,42	1	
X17	0,48	-0,42	0,68	0,38	0,48	-0,43	0,33	0,13	0,37	0,09	0,39	0,51	-0,14	0,46	0,29	0,31	0,13	1

Рис. 1 Коэффициент корреляции целевого фактора (y) и управляющих факторов (x1-x17)

Рисунок показывает, что наиболее сильные корреляционные связи обнаружены между целевым фактором и управляющими факторами 2, 11, 17.

Далее управляющие факторы были исследованы на мультиколлинеарность, т. е. линейную зависимость управляющих факторов. Обнаружение сильной связи двух управляющих факторов x2 и x17 позволило сделать выбор в пользу x2, поскольку его связь с целевым фактором оказалась более значимой. Таким образом, количество управляющих факторов сократилось до 16-ти, нумерация осталась прежней.

Для выведения математической формулы, лежащей в основе связи данных управляющих факторов с целевым фактором (средний балл ЕГЭ), обратимся к инструменту регрессионного анализа. Регрессия позволит не только математиче-

ски обосновать связь между факторами, но также сократить их количество. Для расчёта использовалась встроенная функция Excel «Анализ данных». В таблице 1 представлен фрагмент регрессионного анализа, где значения столбцов позволят проанализировать силу и значимость связи управляющих факторов (x_1-16) с целевым (y).

Управляющие факторы были исследованы по фактору значения показателя Р-значение (меньше заданного уровня значимости $\alpha=0,05$). Также было произведено сравнение по модулю коэффициентов a_i со стандартными ошибками (см. таблицу 1). Эти две аналитические процедуры позволили оставить для дальнейшей работы три фактора, которые были включены в итоговую модель: x_2 – удельный вес городского населения в общей численности населения; x_9 – удельный вес вечерних организаций в общем количестве общеобразовательных организаций; x_{11} – удельный вес благоустроенных общеобразовательных организаций в общем их количестве. Под благоустроенными общеобразовательными организациями, согласно данным статистических сборников, мы понимаем, во-первых, организации, не требующие капитального ремонта на момент сбора статистической информации, во-вторых, – организации, имеющие водопровод, центральное отопление и канализацию. Показатели экономико-инфраструктурного уровня не попали в модель.

Таблица 1

Фрагмент результатов регрессионного анализа в MS Excel

Показатель	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	Р-Значение
Переменная X 1	-0,027062016	0,135844982	-0,199212478	0,842759087
Переменная X 2	0,373587331	0,17944999	2,081846484	0,041559391
Переменная X 3	-0,185552422	0,147894557	-1,254626444	0,214400348
Переменная X 4	0,172554231	0,125333964	1,37675556	0,173620021
Переменная X 5	-0,220353291	0,138080718	-1,595829554	0,115695168
Переменная X 6	0,087289045	0,109005636	0,800775518	0,426369599
Переменная X 7	-0,044504067	0,132611779	-0,335596639	0,738326575
Переменная X 8	-0,017316653	0,104993438	-0,164930814	0,869543788
Переменная X 9	-0,31347345	0,102251239	-3,065717855	0,003233503
Переменная X 10	0,112770608	0,147699967	0,763511399	0,448101476
Переменная X 11	0,322246869	0,157698157	2,043440934	0,045334551
Переменная X 12	0,008659557	0,116326184	0,074442027	0,940902255
Переменная X 13	-0,04482593	0,12054285	-0,371867185	0,711280429
Переменная X 14	-0,038671578	0,122232162	-0,316378091	0,752795663
Переменная X 15	-0,147960747	0,15173198	-0,975145428	0,333339461
Переменная X 16	0,044502344	0,13686166	0,325162972	0,746170377

В результате повторного ввода данных в Excel, функция «Анализ данных» (входной интервал $Y - y$; входной интервал $X - x_2, x_9, x_{11}$) было построено регрессионное уравнение:

$$Y_1 = 37,12 + 0,17x_2 - 0,78x_9 + 0,075x_{11}$$

Результаты расчётов, произведённых с помощью пакета анализа MS Excel, показали, что $R^2 = 0,4432$, т. е. 44,32% общей вариации результативного признака объясняется вариацией обозначенных факторных признаков. Рассчитанный уровень значимости $\alpha_p = 0,00049 < 0,05$, что подтверждает значимость R^2 . $F_{\text{выч}} = 19,63$, что больше $F_{\text{крит}} = 1,66$, следовательно, гипотеза об отсутствии связи признаков отклоняется и делается вывод о существенности данной связи. Уравнение регрессии признаётся статистически значимым.

Поскольку на долю неучтённых факторов, оказывающих своё влияние на средний балл ЕГЭ в регионах, приходится более 55%, в уравнение регрессии была введена константа, равная 37,12.

Так как модель изначально строилась с использованием нормализованных данных, полученные коэффициенты позволяют не только охарактеризовать среднее изменение результата в зависимости от изменения соответствующего фактора на единицу при закреплённом значении других факторов, но и провести сравнительную оценку силы влияния изменения каждого фактора на изменение результативного признака.

Наибольшее влияние на изменение результативного признака оказывает фактор x_9 (удельный вес вечерних организаций в общем количестве общеобразовательных). Отрицательный знак коэффициента говорит об обратном влиянии фактора: дополнительное увеличение значения x_9 на одну условную единицу при фиксированных значениях остальных параметров влечёт за собой уменьшение y в среднем на 0,78 условных единицы.

Для реализации построенной концептуальной модели с установленными математическими связями (y и x_2, x_9, x_{11}) в программной среде AnyLogic опишем присутствующие в регрессионном уравнении целевой и управляющие факторы в терминах системной динамики, т. е. перекодируем их в «накопители» и «параметры». Полученные данные представлены в таблице 2.

В модели выделены следующие основные уровни (блоки) информационно-логической структуры, которые согласно принятым в системной динамике обозначениям представлены на рис. 2: «Городское население» (гор_нас), «Благоустроенные школы» (благоустр_шк), «Вечерние школы» (вечерн_шк), «ЕГЭ». Показатели B_1, B_2 и B_3 – коэффициенты регрессии соответствующих факторных признаков – взяты из построенного уравнения регрессии, где $B_1 = 0,170152$; $B_2 = -0,7813$;

$B3=0,075187$. Также в модель введена динамическая переменная «А», отражающая свободный коэффициент 37,12 в уравнении линейной регрессии, т. е. влияние на успешность сдачи ЕГЭ всех неучтённых в модели факторов.

Таблица 2

Элементы модели «Средний балл ЕГЭ в регионах»

Фактор	Элемент модели	Единица измерения
Средний балл ЕГЭ в регионе	Накопитель	Балл
Удельный вес городского населения в общей численности населения	Параметр, константа	%
Удельный вес вечерних организаций в общем количестве общеобразовательных организаций	Параметр, регулируемое значение	%
Удельный вес благоустроенных общеобразовательных организаций в общем количестве общеобразовательных организаций	Параметр, регулируемое значение	%

Фрагмент построенной имитационной модели приведён на рис. 2. Отметим, что данная схема является обобщённой и требует дальнейшей конкретизации.

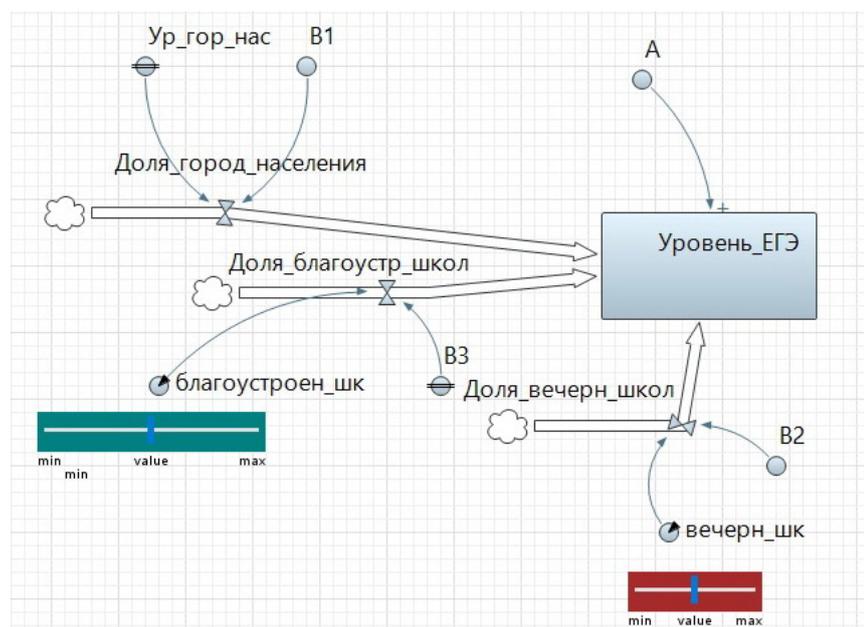


Рис. 2. Фрагмент модели системной динамики «Уровень ЕГЭ в российских регионах»

Для измерения темпа прироста уровня ЕГЭ в регионе введён дополнительный элемент управления – «бегунок», прикрепленный к двум изменяемым параметрам – уровням «Благоустроенные школы» и «Вечерние школы». Знаки коэффициентов при данных переменных указывают на их направленность: в первом случае – это поток прямого направления,

усиливающий целевой индикатор (средний балл ЕГЭ), во втором – поток обратного направления, уменьшающий средний балл ЕГЭ.

В таблице 3 приведены выборочные статистические данные по трём управляющим факторам (потокам) модели, используемые в дальнейшем для проведения экспериментов в AnyLogic.

Таблица 3

Статистические данные по параметрам модели
(выборочная совокупность – 78 регионов, в %)

Значение	x2 = «ур_гор_нас»	x9 = «вечерн_шк»	x11 = «благоустроен_шк»
Min	34,80	0,2589	10,00000
Max	100,00	7,6000	99,80000
Среднее	70,09	2,4380	79,39487

На заключительном этапе исследования переходим к проигрыванию разных сценариев развития имитационной модели.

Для начала зададим исходные данные для указанных параметров модели. Было решено начальные значения переменных «вечерн_шк» и «благоустроен_шк» взять как max и min, соответственно, по выборке из 78 регионов (см. таблицу 3), т. е. их влияние на накопитель будет работать на понижение среднего балла ЕГЭ.

Влияние целевых уровней «Благоустроенные школы» и «Вечерние школы» складывается как произведение значений переменных «вечерн_шк» и «благоустроен_шк» и констант В2 и В3, соответственно. На темп изменения потока обратного направления влияет параметр «вечерн_шк», который в момент моделирования может менять своё значение от 0 до 1 (это соответствует значению от 0 до 100%). Исходное значение параметра задано равным 0,076, что соответствует 7,6% – максимальному показателю числа вечерних школ по выборке.

Поток «Влияние благоустроенных школ» – это поток прямого направления. На темп его изменения влияет параметр «благоустр_шк», который в процессе моделирования может изменяться от минимального значения 0 до максимального 1 (0 до 100%). Исходное значение параметра «благоустр_шк» задано в 0,1, что соответствует 10% благоустроенных школ – минимальному значению показателя по 78 регионам.

Поток «Влияние городского населения» складывается как произведение уровня городского населения и В1. Численность городского населения значительно труднее поддается внешним управляющим воздействиям, нежели рассмотренные ранее уровни «Благоустройство школ» и «Вечерние школы», поэтому мы решили принять его значение за кон-

станту и взять в качестве расчётного среднее по 78 регионам, равное 70%. Кроме того, поток «Влияние городского населения» в дальнейшей работе потребует деления на уровни в зависимости от размеров населённого пункта, а значит поиска дополнительных статистических данных и их соответствующей математико-статистической обработки.

В результате работы в AnyLogic были смоделированы шесть ситуаций: одна – без изменения факторов, пять – с комплексным изменением параметров x_9 «удельный вес вечерних организаций в общем количестве общеобразовательных организаций» и x_{11} «удельный вес благоустроенных общеобразовательных организаций в общем количестве общеобразовательных организаций».

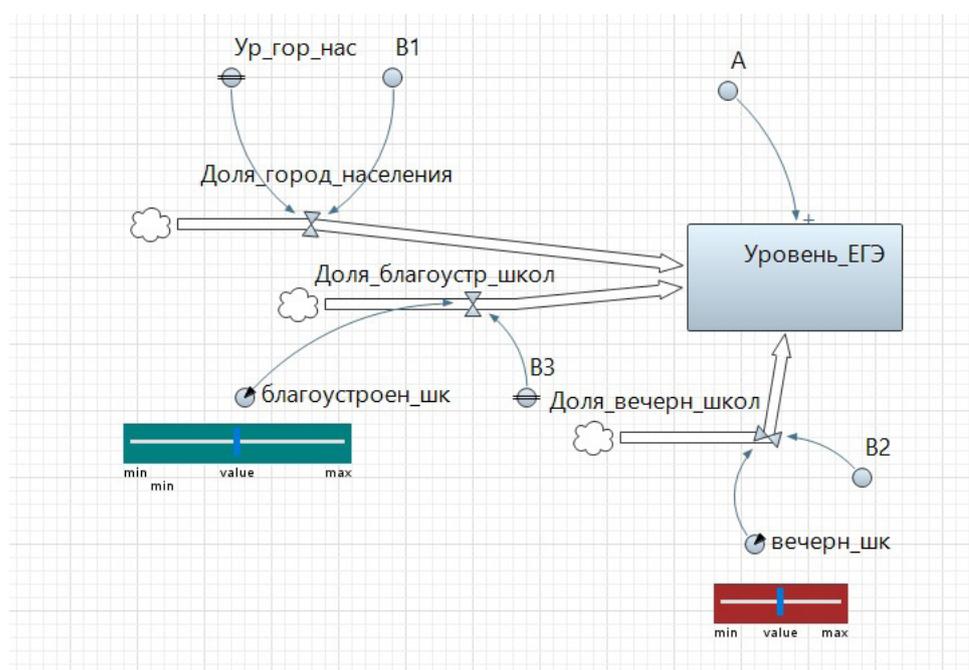


Рис. 3. Результат изменения среднего балла ЕГЭ

В первом случае предполагалось, что никаких новых управляющих воздействий на накопитель не оказывается, а внешняя и внутренняя среда меняются незначительно. Полученный результат изменения среднего балла ЕГЭ за период 50 модельных единиц (это условное логическое время, которое является базовым в системах имитационного моделирования) представлен на рис. 3.

Как видим, при сохранении показателей «вечерн_шк» на уровне 7,6%, «благоустроен_шк» – 10%, показатель «уровень ЕГЭ» через 50 модельных единиц достигает значения 55,464 баллов. Сопоставление этого значения со средним по 78 регионам в 53,11 баллов демонстрирует предсказательный потенциал модели в 95,8%. Имитационная модель может использоваться для построения прогнозов, так как оперирует не только статистическими данными, но и причинно-следственными связями между элементами системы.

Вторая серия экспериментов была связана с усилением влияния уровня «Благоустроенные школы» (с 10 до 99,8%) и снижением влияния уровня «Вечерние школы» (с 7,6 до 0,2589%) на накопитель «уровень ЕГЭ». Она была разбита на четыре этапа, каждый из которых предполагал изменение регулируемых параметров на 20-25% в сторону увеличения/уменьшения. В таблице 4 приведены результаты четырёх экспериментов (модели 2.1–2.4). На пятом этапе (модель 2.5) значения параметров были приведены к средним значениям по выборке из 78 регионов ($x_9=2,43\%$ и $x_{11}=79,39\%$).

Таблица 4

Результаты имитационного моделирования

Показатель	Модель 2.1	Модель 2.2	Модель 2.3	Модель 2.4	Модель 2.5
Значение x_9 , %	6,08	4,56	3,04	1,52	2,43
Значение x_{11} , %	19,00	39,92	59,88	79,84	79,39
Уровень ЕГЭ, балл	56,39	57,77	59,12	60,46	60,09
Абсолютный прирост, балл	-	1,38	1,35	1,34	-0,37
Относительный прирост, %	-	2,45	2,34	2,27	-0,61

Анализ данных, представленных в таблице 4, показывает, что при одновременном снижении неблагоприятного фактора «удельный вес вечерних организаций в общем количестве общеобразовательных организаций» и повышении фактора «удельный вес благоустроенных общеобразовательных организаций в общем количестве общеобразовательных организаций» наблюдается устойчивый рост показателя «уровень ЕГЭ». Однако снижение и рост факторов x_9 и x_{11} были заданы с темпом плюс/минус 20-25%, а прирост результирующего показателя наблюдается на уровне 2%, кроме того, начиная с третьего шага, относительный прирост баллов ЕГЭ падает, что говорит о сопутствующем влиянии других факторов. Выявление этих сопутствующих факторов (об их наличии говорит и полученное уравнение регрессии) будет осуществляться на следующем этапе работы с привлечением качественных данных (интервью с экспертами, родителями и выпускниками общеобразовательных организаций).

Сравнение показателей моделей 2.1-2.5 позволяет сделать выбор в пользу последней модели. Средние баллы ЕГЭ в моделях 2.4 и 2.5 отличаются на 0,61%, но пятая модель позволяет сохранить вечерние школы на уровне 2,43%, что важно для учащихся, совмещающих обучение с работой. Под значение показателя x_9 ниже 1,52% попадают только 20 регионов Российской Федерации из 78 проанализированных.

Остановка эксперимента на значении среднего балла ЕГЭ – 60,09 баллов (модель 2.4) – связана с достижением нижней границы проходного балла в российские вузы. Как отметила в своём интервью газете «Московский комсомо-

лец» министр образования и науки РФ Ольга Васильева, «Средний вступительный балл ЕГЭ в российских вузах не должен быть ниже 60 баллов в условиях демографической ситуации, где каждый второй выпускник обеспечен бюджетным местом в учебном учреждении» [Лемуткина 2017].

Таким образом, на основе данных корреляционного и регрессионного анализов с использованием программной среды AnyLogic была построена имитационная модель, описывающая воздействие факторов «уровень городского населения», «уровень благоустроенных школ» и «уровень вечерних школ» на заданный в качестве накопителя средний балл ЕГЭ в регионах. Влияние первых двух факторов – положительное, третьего – отрицательное. Третий фактор оказывает наибольшее воздействие на накопитель. Эксперименты с построенной моделью осуществлялись в направлении снижения влияния фактора «Уровень вечерних школ» и усилении фактора «Уровень благоустроенных школ».

Методы многомерного статистического анализа данных позволили сократить количество управляющих факторов, воздействующих на выбранный целевой фактор (средний балл ЕГЭ), с 17 до 3. Выбранные факторы относятся к двум уровням управления, обозначенным как демографический и институциональный. Факторы третьего экономико-инфраструктурного уровня не были включены в модель.

Построенная модель является первым шагом на пути к имитационному моделированию системы общего образования в российских регионах. В дальнейшем перечень накопителей будет дополнен другими показателями (количество школьников-победителей региональных олимпиад, количество медалистов; количество выпускников, получивших аттестат, и др.), а потоки и параметры будут дополнены факторами экономико-инфраструктурной группы. Построенная регрессионная модель позволила уловить немногим более 44% факторов, влияющих на средний балл ЕГЭ. Поэтому важной задачей остаётся выявление других региональных факторов, влияющих на успешность сдачи ЕГЭ. Факторы, не отображённые в статистических сборниках или не имеющие разбивки по регионам, нуждаются в других методах сбора, обработки и интерпретации данных. Предположительно, в дальнейшем инструментами работы с качественными данными станут метод экспертного интервью (выявление дополнительных управляющих факторов) и метод экспертных оценок с ранжированием предложенных управляющих факторов по силе влияния на целевой фактор.

Использование инструментов корреляционного и регрессионного анализов в настоящем исследовании позволило решить задачу обработки большого массива данных. 17 управляющих и один целевой фактор по 78 регионам дали выборку из 1404 наблюдений, не считая промежуточных данных.

А имитационное моделирование стало инструментом построения аналитической модели, установления причинно-следственных связей и учёта вероятностных параметров.

Библиографический список

Баязитов Г. А., Гибадуллин А. Р. 2011. Моделирование транспортных решений // Официальный сайт междисциплинарной школы-конференции Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук. URL: http://itas2017.iitp.ru/media/papers/1570390944_k89pv8U.pdf [Дата посещения: 09.09.2017].

Берсенева А. 2015. Битва за высокий балл // Официальный сайт АО «Газета.Ру». URL: <https://www.gazeta.ru/social/2015/06/11/6837493.shtml> [Дата посещения: 21.07.2017].

Восьмая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика». 2017 // Официальный сайт некоммерческого партнёрства «Национального общества имитационного моделирования». URL: http://simulation.su/static/ru-immod-2017.html?utm_source=AnyLogic+Newsletter&utm_campaign=5cdb212b23-EMAIL_CAMPAIGN_2017_10_10&utm_medium=email&utm_term=0_2961a0e400-5cdb212b23-44327657 [Дата посещения: 04.09.2017].

Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://fedstat.ru> [Дата посещения: 16.09.2017].

Здравоохранение. 2017 // Официальный сайт The AnyLogic Company URL: <https://www.anylogic.ru/healthcare/> [Дата посещения: 11.09.2017].

Имитационное моделирование. История, принципы, примеры // Веб-сайт «Вспомогательной информации для студентов и школьников». URL: <https://ek-ek.jimdo.com> [Дата посещения: 03.09.2017].

Кряжев А. 2017. Эксперт: оценка качества образования не может быть основана только на ЕГЭ // Официальный сайт «РИА Новости». URL: https://ria.ru/sn_edu/20170905/1501806092.html [Дата посещения: 06.09.2017].

Лемуткина М. 2017. Минобрнауки не разрешит брать в вузы с ЕГЭ ниже 60 баллов // Официальный сайт ЗАО «Редакция газеты «Московский Комсомолец». URL: <http://www.mk.ru/social/2017/02/15/minobrnauki-ne-razreshit-brat-v-vuzy-s-ege-nizhe-60-ballovo.html> [Дата посещения: 10.02.2017].

Лычкина Н. Н. 2009. Ретроспектива и перспектива системной динамики. Анализ динамики развития // Бизнес-информатика. № 3. С. 55–67.

Модели системной динамики. 2009. // Официальный сайт Радиомастер.ру. URL: <http://radiomaster.ru/articles/view/262/> [Дата посещения: 01.09.2017].

Пинаева А. 2016. Имитационное моделирование: оптимизируем бизнес-процессы // Официальный сайт группы компаний «Современные технологии управления» URL: http://www.businessstudio.ru/articles/article/primeneniye_imitatsionnogo_modelirovaniya_na_prakti/ [Дата посещения: 10.09.2017].

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2015. Стат. сб. М.: Росстат, 2016. 1326 с.

Системная динамика. 2005 // Официальный сайт «Проект HR-Portal». URL: <http://www.hr-portal.ru/article/sistemnaya-dinamika> [Дата посещения: 08.09.2017].

Системная динамика. Статьи экспертов и сотрудников фирмы ТОРА-Центр // URL: http://bigc.ru/publications/other/metodology/system_dinamic.php [Дата посещения: 11.09.2017].

Социальные процессы. 2017 // The AnyLogic Company. URL: <https://www.anylogic.ru/social-processes/> [Дата посещения: 11.09.2017].

Филипова А. Г., Еськова А. В. 2017. Прогнозные варианты развития системы «Социальный потенциал детства в регионе». О возможностях имитационного моделирования // Навстречу будущему. Прогнозирование в социологических исследованиях. Материалы VII международной социологической Грушинской конференции. М.: АО ВЦИОМ. С. 90-93.

Филипова А. Г., Еськова А. В., Штефан Ч. А. 2017. Модель системной динамики «социальный потенциал региона» // Многомерные статистические модели и их применение в социологических исследованиях детства: Материалы Всероссийской молодёжной научной школы-конференции. Владивосток. Санкт-Петербург: Астерион. С. 236-242.

AnyLogic // Официальный сайт The AnyLogic Company URL: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/> [Дата посещения: 08.09.2017].

Sterman J. 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World.: McGraw Hill. 982 p.

DOI: 10.19181/vis.2017.23.4.481

The Method for Imitation Model Structuring (Using the Unified State Exam Average Score in Russian Regions as an Example)

Filipova Alexandra Gennadievna

Doctor of Sociological Sciences, Professor, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia. E-mail: alexgen77@list.ru

Vysockaya Alena Valerevna

Acting Head of the Department “Information Systems”, Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amure, Russia. E-mail: al-w-buaa@rambler.ru

Abstract. This article presents a method for modeling situations in terms of unified state exam average scores in Russian regions. A system dynamics approach was chosen out of three imitation-modeling approaches, which allows working with insufficient data, monitoring changes to the model in time, as well as constructing causations between various factors and evaluating the power of their mutual influences. Stages of work include substantiating the methodology of system dynamics, constructing a conceptual model of unified state exam average score system dynamics, simplifying the established model, determining the causations using mathematical and statistical methods, implementing the model within AnyLogic software environment, and playing out scenarios for its development. Using the language of imitation modeling allowed for expressing elements of the modeled system via pathways and means of storage. Unified state exam average scores were chosen as a means of storage, which links within itself resources of the general education system (personnel, technological, financial). Three levels of analysis were highlighted in the conceptual model: demographical, institutional, economic-infrastructure, and an according set of 17 control factors was created, which impact unified state exam performance (the target factor). The control factors within the system dynamics model were transformed into “pathways” and “parameters”. The 2013–2014 academic year was chosen as the observation period. Statistical data for examination was sourced from “Russian regions” compilations, the unified interagency information and statistical system (UIISS), as well as informational-analytical reports from regional information processing centers. The final sample is comprised of 78 Russian regions, while 5 constituent entities of the Russian Federation did not undergo any examination due to a lack of statistical data on various factors. Utilizing correlation and regression analysis methods allowed for reducing the amount of control factors to just three – the level of urban population, the amount of well-furnished schools and the amount of evening schools. These factors became the parameters which determine the pathways in the system dynamics model. The influence of the first two has a positive effect on the growth of a certain parameter in the pathway quality of the unified state exam average score. The third parameter generates a reverse direction pathway, which decreases the storage means’ value. According to the coefficients in the regressive equation, it has a stronger influence than the previous two. The “unified state exam average score in Russian regions” model which was constructed in AnyLogic includes one means of storage (unified state exam level), one parameter with an unregulated value (level of urban population), and two with regulated values (well-furnished school and evening schools levels). Two series of experiments were conducted within the software environment.

Keywords: General education, unified state exam, constituent entities of the Russian Federation, unified state exam average score, regional factors, imitation modeling, correlation analysis, regression analysis, system dynamics model, means of storage, pathways, parameters.

References

Bayazitov G. A., Gibadullin A. R. Modelirovaniye transportnykh resheniy [Modeling of transport decisions]. IPTI RAS Official website, 2011. URL: http://itas2017.iitp.ru/media/papers/1570390944_k89pv8U.pdf [date of visit: 09.09.17].

Berseneva A. Bitva za vysokiy ball [The battle for a high score]. The web portal Gazeta.Ru, 2015. URL: <https://www.gazeta.ru/social/2015/06/11/6837493.shtml> [date of visit: 21.07.17].

Edinaya mezhvedomstvennaya informacionno-statisticheskaya sistema [Unique interdepartmental information and statistical system]. The web portal. URL: <https://fedstat.ru> [date of visit: 16.09.17].

Filipova A. G., Yes’kova A. V. Prognoznyye varianty razvitiya sistemy «Sotzial’ny potencial detstva v regione». O vozmozhnostiakh imitacionnogo modelirovaniya. [Forecasting options for the development of the system “Social Potential of Childhood in the Region”. On the possibilities of simulation modeling]. Navstrechu buduschemu. Prognozirovaniye v sotziologicheskikh issledovaniyakh. Materialy VII mezhdunarodnoy Grushinskoy konferentsii. Moscow, RCMPO publ., 2017, pp. 90–93.

Filipova A. G., Yes’kova A. V., Shtefan Ch. A. Model’ sistemnoy dinamiki «sotzial’nyy potencial regiona». [Model of system dynamics “social potential of the region”] Mnogomernyye statisticheskiye modeli i ikh primeneniye v sotziologicheskikh issledovaniyakh detstva. Vladivostok, 2017, pp. 236–242.

Imitacionnoye modelirovaniye. Istoriya, printsipy, primery [Imitative modeling. History, principles, examples]. Vspomogatel'naya informatsiya dlia studentov i shkol'nikov. The website. URL: <https://ek-ek.jimdo.com> [date of visit: 03.09.17].

Kriazhev A. Expert: ocenka kachestva obrazovaniya ne mozhet byt' osnovana tol'ko na EGE [Expert: the evaluation of the quality of education can not be based solely on the USE]. RIA Novosti Official website, 2017. URL: https://ria.ru/sn_educ/20170905/1501806092.html [date of visit: 06.09.17].

Lemutkina M. Minobrnauki ne razreshit brat' v vuzy s EGE nizhe 60 ballov [The Ministry of Education and Science will not allow students to enter universities with an exam of less than 60 points]. Moskovskiy Komsomoletz Official website, 2017. URL: <http://www.mk.ru/social/2017/02/15/minobrnauki-ne-razreshit-brat-v-vuzy-s-ege-nizhe-60-ballov.html> [date of visit: 10.02.17].

Lychkina N. N. Retrospektiva i perspektiva sistemnoy dinamiki. Analiz dinamiki razvitiya [Retrospective and perspective of system dynamics. Analysis of the dynamics of development]. Biznes-informatika, 2009, no 3. pp. 55–67.

Materialy VIII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Imitatsionnoye modelirovaniye. Teoriya i praktika» [Working papers of the Eighth All-Russian Scientific and Practical Conference on Imitative Modeling and its Applications in Science and Industry Imitation Modeling. Theory and practice], 2017. The website [Simulation.su](http://simulation.su). URL: http://simulation.su/static/ru-immod-2017.html?utm_source=AnyLogic+Newsletter&utm_campaign=5cdb212b23-EMAIL_CAMPAIGN_2017_10_10&utm_medium=email&utm_term=0_2961a0e400-5cdb212b23-44327657 [date of visit: 04.09.17].

Modeli sistemnoy dinamiki [Models of system dynamics]. The website [Radiomaster.ru](http://radiomaster.ru), 2009. URL: <http://radiomaster.ru/articles/view/262/> [date of visit: 01.09.17].

Piniaeva A. Imitacionnoye modelirovaniye: optimiziruyem biznes-processy. [Imitative modeling: optimizing business processes]. “Sovremennyye tekhnologii upravleniya” Official website, 2016. URL: <http://www.businessstudio.ru/articles/article/primenenie-imitatsionnogo-modelirovaniya-na-prakti> [date of visit: 10.09.17].

Regiony Rossii. Social'no-ekonomicheskiye pokazateli 2015 [Regions of Russia. Socio-economic indicators 2015]. Moscow, Rosstat, 2016. 1326 p.

Sistemnaya dinamika [System dynamics]. The website HR-Portal, 2005. URL: <http://www.hr-portal.ru/article/sistemnaya-dinamika> [date of visit: 08.09.17].

Sotzial'nyye processy [Social processes]. The AnyLogic Company Official website, 2017. URL: <https://www.anylogic.ru/social-processes/> [date of visit: 11.09.17].

Sterman J. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw Hill, 2000. 982 p.

The AnyLogic Company Official website. URL: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation> [date of visit: 08.09.2017].

Zdravookhraneniye [Health care] The AnyLogic Company Official website, 2017. URL: <https://www.anylogic.ru/healthcare> [date of visit: 11.09.17].