ПРИМЕНЕНИЕ RMD ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ СОЦИОЛОГИИ

APPLICATION OF RMD (RAND MODEL DESIGNER) FOR MODELING APPLIED PROBLEMS OF SOCIOLOGY

Д. Козырева

Аннотация

Среда визуального моделирования RMD (RandModelDesign) предназначена для изучения сложных систем. У нее простой и удобный интерфейс и высокоуровневый язык моделирования. Одним из преимуществ пакета является возможность применения его к трудно формализованным системам. Большое количество моделей, описывающих сложные процессы в обществе, - это динамические системы или неавтономные дифференциальные и разностные уравнения с большим количеством параметров. В связи с этим выбор RMD как соответствующего инструмента для реализации математических методов в социологии имеет большое значение. Мы рассматриваем результаты применения RMD для исследования ряда социологических моделей, имеющих сложное поведение.

Ключевые слова

Динамические системы, компьютерное моделирование, среда визуального моделирования RMD

Abstract

The environment for visual modeling RMD (Rand Model Designer) is designed for studying complex systems. It has simple and convenient interface and high-level modeling language. One of the advantages of the package is the possibility to apply it to difficultly formalized systems. A great body of models describing complex processes in society are dynamical systems or non-autonomous differential and difference equations with a large number of parameters. In this connection the choice of RMD as the appropriate tool for implementing mathematical methods in sociology is of considerable importance. We consider results of RMD applications to investigation of several sociological models having complex behavior.

Key words

Dynamical systems, computer modeling, visual modeling environment RMD

RMD (www.mvstudium.com) - среда для разработки компонентных моделей сложных динамических систем. RMD использует интуитивно понятный объектно-ориентированный язык моделирования высокого уровня, позволяющий быстро и качественно создавать сложные модели и проводить с ними сложные интерактивные вычислительные эксперименты [3, 6] даже непрограммисту-социологу, освоившему RMD на уровне пользовательского интерфейса.

Отметим, что моделирование динамических систем является одной из наиболее сложных и актуальных задач в социологии.

Математические модели давно и успешно применяются в исследовании многих социальных процессов. Хорошо известна модель Ричардсона (гонки вооружений) [12], вероятностные цепочки для описания процессов распределения ресурсов [4]. В настоящее время широко применяются гендерные системы, модели социальных групп, социальных институтов, модели поведения отдельных индивидов и межличностных взаимодействий.

Но, несмотря на то, что созданию и исследованию этих моделей посвящается всё больше и больше работ, многие задачи так и остаются нерешенными. Это связано, прежде всего, со сложностью формализации используемых понятий. Как известно, для исследователя-социолога важно не только количественно описать объект исследования, но и учесть его необходимую интерпретацию. Например, объект «семья» в системе социальных институтов семнадцатого века и объект «семья» в системе социальных институтов двадцатого века – это абсолютно разные с точки зрения социологического исследования объекты. Из-за этого некоторые социологи придерживаются мнения, что социологию вследствие её сложности невозможно изучить с помощью математических методов. На самом деле, проблема заключается в «плавающих» формулировках и в отсутствии корректно поставленных условий на ранних этапах исследования. Для её решения в компьютерном моделировании успешно применяются модели с динамической структурой, то есть с возможностью добавления и удаления переменных, компонент и связей между ними в процессе выполнения работы (в частности, в RMD это реализовано).

Но обзор литературы показывает, что хотя для проведения вычислительных экспериментов с социологическими моделями используются различные программные средства:

1) языки программирования и среды разработки аналогичные VisualStudio;
2) среды имитационного моделирования, например, SWARM или CORMAS;
3) стандартные математические компьютерные системы, например, MATLAB или MATHEMATICA.

Наиболее часто социологами используются инструменты для построения «агентных» моделей – AnyLogic, Arena, SWARM, CORMAS, в которых, описывая правила поведения отдельных «агентов», результат наблюдения приписывают всему обществу. Однако для использования сред агентного необходимы специальные навыки, которые есть не у всех исследователей. При использовании языков программирования тоже возникают проблемы.

Желание самому строить и исследовать нужные модели приводит к тому, что используются среды и пакеты, которые у всех на слуху, и в результате пакет выбирается практически случайно, без оценки его возможностей и приспособленности для создания и исследования определенных типов моделей. Известны случаи даже использования среды Excel. Оправданным является выбор математических пакетов, таких как Maple, Mathematica, но их стоит использовать для моделирования однокомпонентных систем, при дополнительном условии, что вычислительный эксперимент с моделями сведется к построению нескольких графиков или таблиц.

Наиболее часто используются так называемые «базовые» методы и модели. Они, как правило, хорошо изучены и четко сформулированы, что позволяет использовать их в качестве основы в более сложных случаях.

Рассмотрим одну такую модель, предложенную в [4], которая может быть применена при описании социальной диффузии. Согласно [5], диффузия - распространение черт, культуры (например, религиозных убеждений, технологических идей, форм языка и т.д.) или социальной практики одного общества (группы) другому. Авторы использовали средства EXCEL для изучения поведения рассматриваемой модели.

Мы исследуем предлагаемую модель аналитически и проиллюстрируем полученные результаты с помощью RMD.

Математическую модель социальной диффузии можно записать в следующем виде:

$$x_n = k_n(N_n - x_{n-1}) + x_{n-1}, \quad (1)$$

где x_n - количество элементов на шаге n;

n - порядковый номер шага;

k_n - коэффициент на шаге n;

N_n- размер генеральной совокупности на шаге n.

В зависимости от выбора параметров могут возникнуть разные ситуации.

В случае, когда k_n и N_n постоянные, мы получаем дискретную динамическую систему

$$x_n = (1-k)x_{n-1} + kN, \qquad (2)$$

которая представляет собой разностное уравнение с постоянными коэффициентами. В этом случае основные характеристики системы можно получить аналитически. Прежде всего, определим неподвижные точки системы и их устойчивость. Для этого решим уравнение

$$x = (1-k)x + kN. \qquad (3)$$

Тогда x=N и неподвижная точка не зависит от значения параметра k.

Напомним, что графически неподвижная точка есть точка пересечения графиков $y = f(x)$и $y = x$. В нашем случае $f(x) = (1-k)x + N$и неподвижная точка есть точка пересечения двух прямых.

Устойчивость неподвижной точки определяется из условия $|f'(x)| < 1$, что приводит к неравенству $|1 - k| < 1$, решение которого дает 0<k<2. Таким образом, при k>2 неподвижная точка является неустойчивой.

Поведение траекторий как в устойчивом, так и неустойчивом случае легко иллюстрируется в пакете с помощью временной диаграммы (где переменная z2 обозначает решение разностного уравнения) и диаграммы Ламерея (Рис. 1-3).

В диаграмме Ламерея переменная Ft обозначает изменения времени, а Fx – траекторию диаграммы Ламерея, на каждой итерации в зависимости от изменения значения параметра.

Значение N было выбрано равным 100.

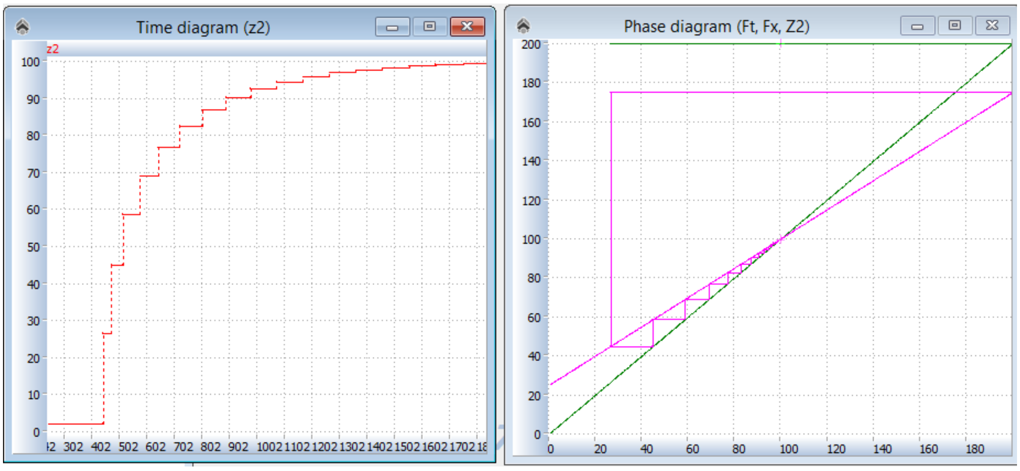

Рис. 1. Устойчивый случай. Апериодический выход на стационарное положение. k=0.25 (0<k<1)

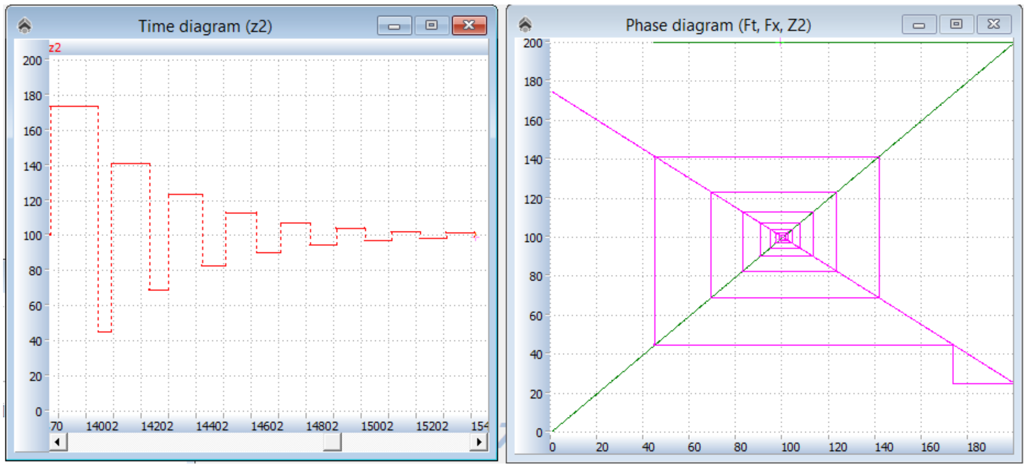

Рис. 2. Устойчивый случай. Затухающие колебания. k=1.75 (1<k<2)

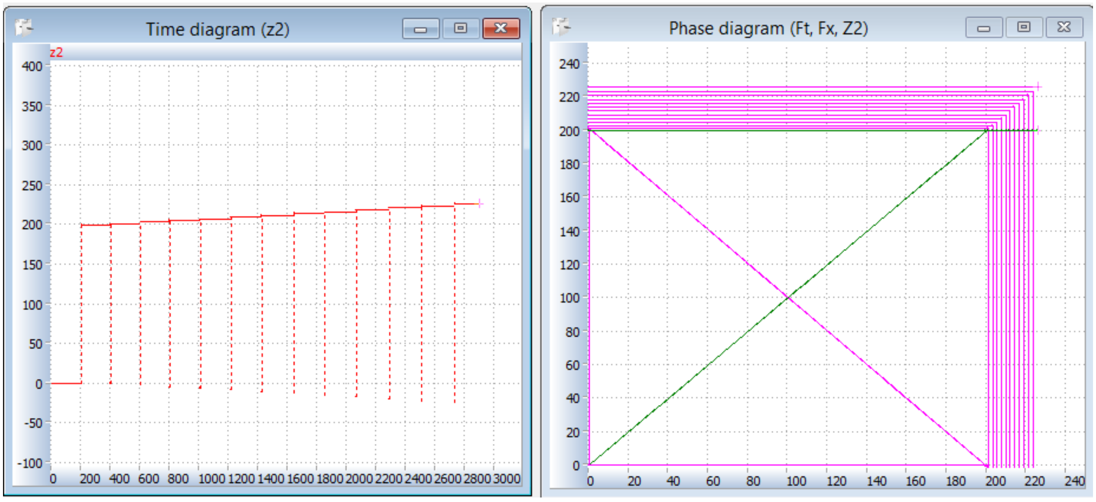

Рис. 3. Неустойчивый случай. k=2.01

Полученные результаты моделирования легко проверить, так как разностное уравнение (2) с начальными данными $x_0 = x0$ имеет решение

$$x_n = N - (N - x0)(1 - k)^n.$$

Рассмотрим вопрос о существовании периодических орбит. Рассмотрим случай $f^2(x) = x$.

$$f\big(f(x)\big) = f(x(1-k) + kN) = (x(1-k) + kN)(1-k) + kN$$

$$= x(1-k)^2 + kN(1-k) + kN.$$

Тогда для нахождения периодических точек периода 2 нужно решить уравнение

$$x(1-k)^2 + kN(1-k) + kN = x.$$

Это равносильно системе

$$(1-k)^2 = 1$$

$$kN(1-k) + kN = 0.$$

Решение существует при k=2.

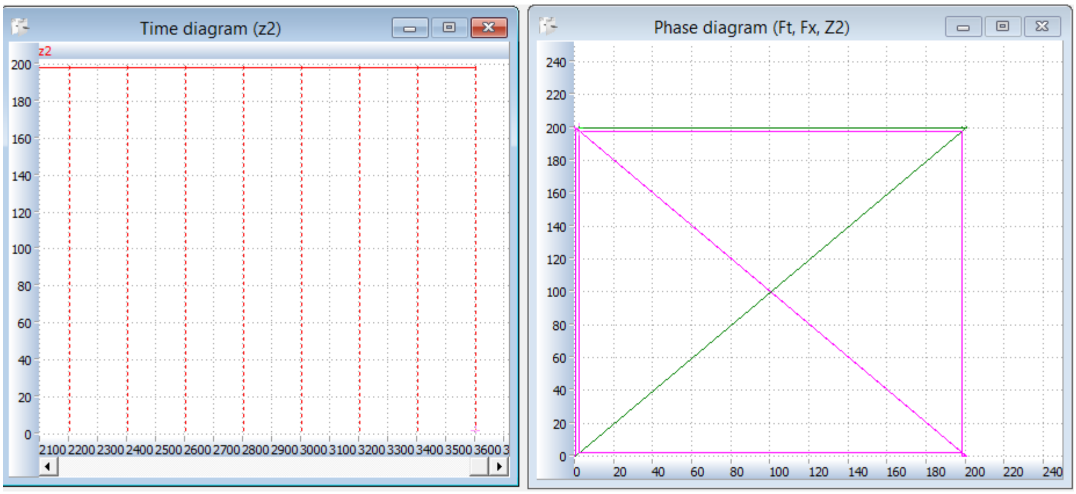

Рис. 4. Цикл с периодом 2 для k=2

Решение уравнения $f^n(x)$=x приводит к системе

$$(1-k)^n = 1$$

$$kN((1-k)^{n-1} + \cdots + 1 - k + 1) = 0.$$

Для четных значений n система имеет решение при k=2, для нечетных - при k=0. Таким образом, для значения параметра k=2 существует цикл периода 2, и, следовательно, циклы периода 2^l, которые представляют собой l обходов цикла периода 2.

Рассмотрим более сложную модель - модель социогенеза, предложенную и исследованную в статье [9].

Социогенез – процесс исторического и эволюционного формирования общества. В основе модели социогенеза, описанной в статье [9], разделение общества на подсистемы по Т. Парсонсу: экономическая и политическая системы, социетальное сообщество – единый коллектив, подчиняющийся заданным нормам (обеспечивает единство общества), система поддержания институциальных этнических образцов.

В качестве управляющего параметра взят уровень *Пассионарного напряжения*. По определению Л.Н.Гумилева *Пассионарное напряжение* - пассионарность, приходящаяся на одного члена общества. Пассионарность – способность и стремление этнического сообщества к изменению окружения; уровень активности этнического сообщества. Внутренняя энергетика этноса является движущей силой культурного, политического и геополитического созидания.

На основе построенной системы дифференциальных уравнений реализована компьютерная модель социогенеза и, таким образом, дан пример построения, исследования и использования модели трудно формализуемого социального процесса.

Предполагается, что динамика системы описывается следующими составляющими:
G(t) – функция, описывающая политическую систему;
E(t) – экономическую;
K(t) – социетальное общество;
D(t) – система поддержания институциональных этнических образцов.

Основным управляющим параметром является пассионарное напряжение P. Чтобы не усложнять запись и не дублировать описание, данное в работе [9], мы обозначим за u вектор, содержащий все остальные параметры.

Таким образом, мы получили систему:

$$\begin{cases} \dfrac{d\mathrm{G(t)}}{dt} = a_{11}(P,u)G(t) + a_{12}(u,E(t))E(t) + a_{13}(P,u)\big(K(t)+D(t)\big)G(t) \\ \dfrac{dE(t)}{dt} = a_{21}(P,u)E(t) - a_{22}(u,G(t))G(t) - a_{23}(P,u)\big(K(t)+D(t)\big)E(t) \\ \dfrac{d\mathrm{K(t)}}{dt} = a_{31}(u)\big(\mathrm{G}^2(t) + \mathrm{E}^2(t)\big) - a_{32}(P,u,K(t)K(t) - a_{33}(u)\mathrm{D}^2(\mathrm{t}) \\ \dfrac{d\mathrm{D(t)}}{dt} = a_{41}(u)\mathrm{G}^2(t) - a_{42}(P,u,D(t))D(t) - a_{43}(u)\mathrm{K}^2\,(\mathrm{t}) \end{cases}$$

При заданных начальных условиях на функции $G|_{t=0} = 0$, $E|_{t=0} = 0.1$, $K|_{t=0} = 0.01$, $D|_{t=0}=0$, значения коэффициентови значении параметра P=0.011 была реализована компьютерная модель социогенеза и, таким образом, дан пример построения, исследования и использования модели трудноформализуемого социального процесса.

В рассматриваемой статье было показано, что в исследуемой системе при заданных значениях параметров возникает бифуркация Хопфа, а именно существует такое пассионарное напряжение P_0, которое является точкой бифуркации рождения цикла. Доказывается появление периодического решения при $P>P_0$. Приведенные на рис. 5 графики иллюстрируют этот результат.

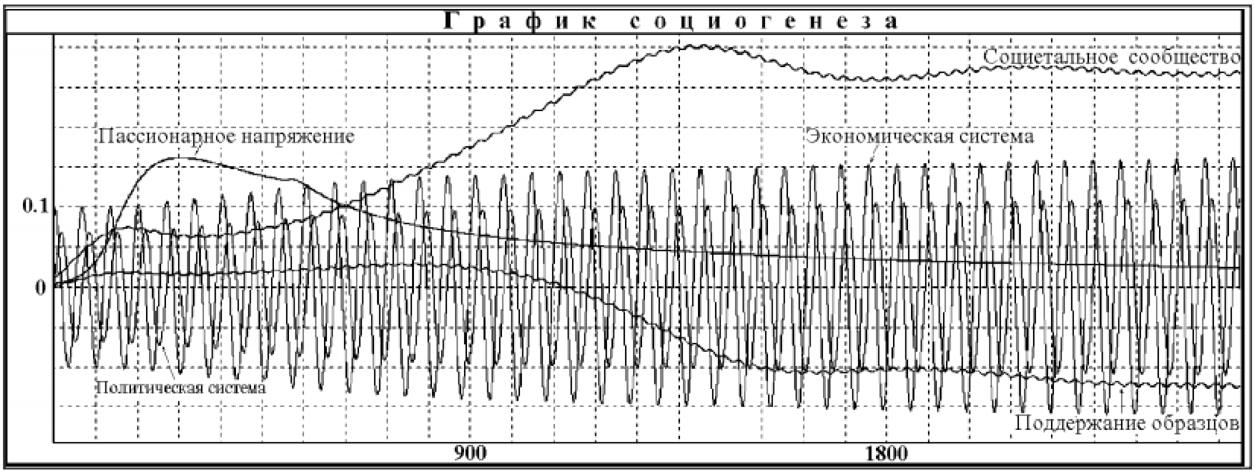

Рис 5. График социогенеза полученный в [9]

Проведем исследование приведенной системы средствами пакета RMD и рассмотрим временную диаграмму развития общества с течением времени.

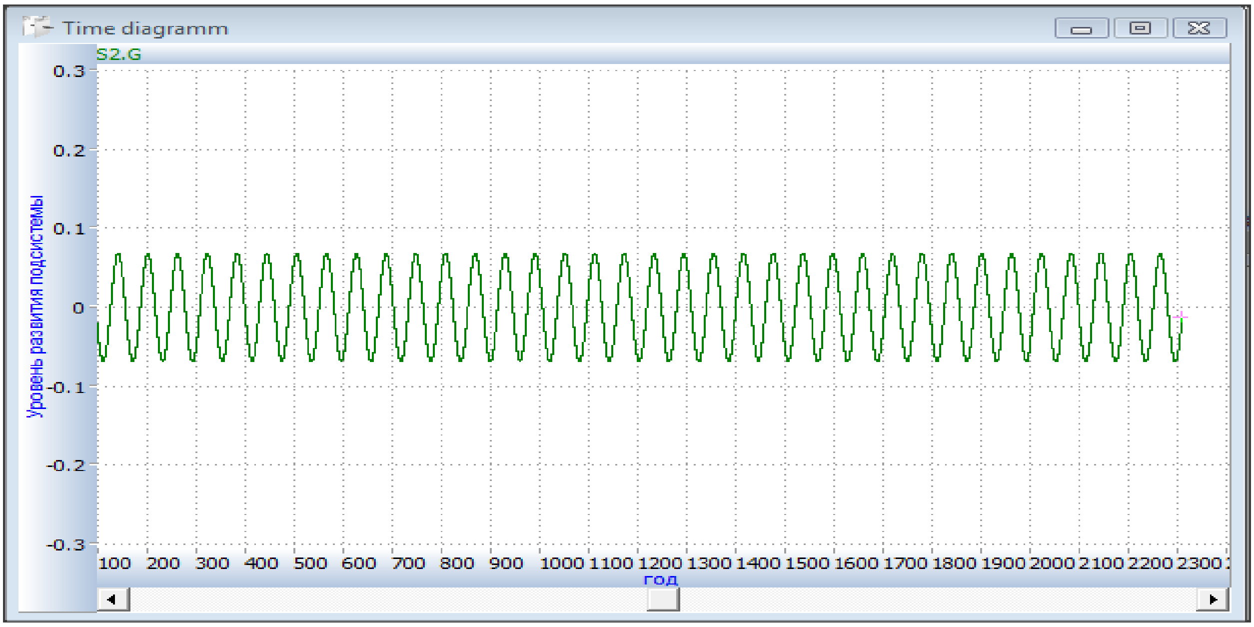

Рис. 6. График функции политической системы при Р =0.011.

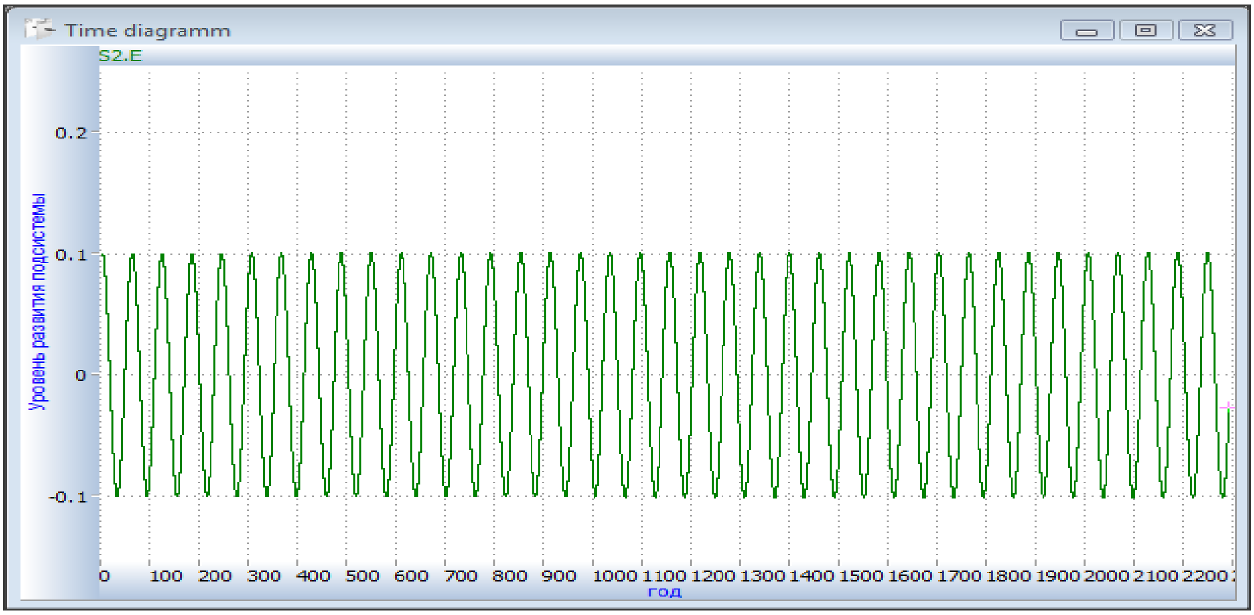

Рис. 7. График функции экономической системы при P =0.011.

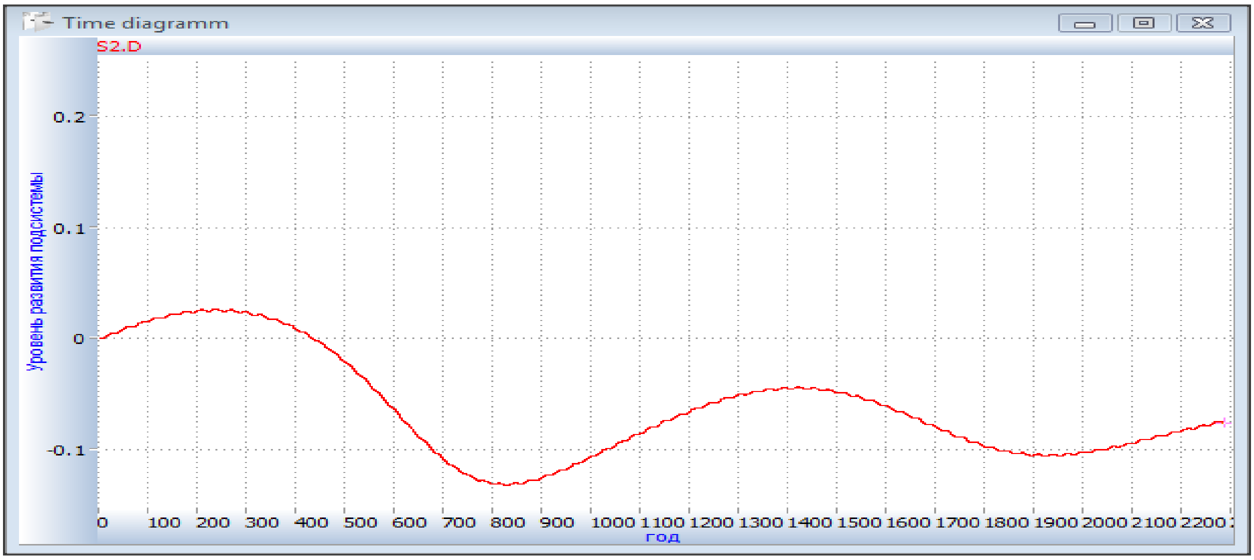

Рис. 8. График поддержания институциональных этнических образцов при P =0.011.

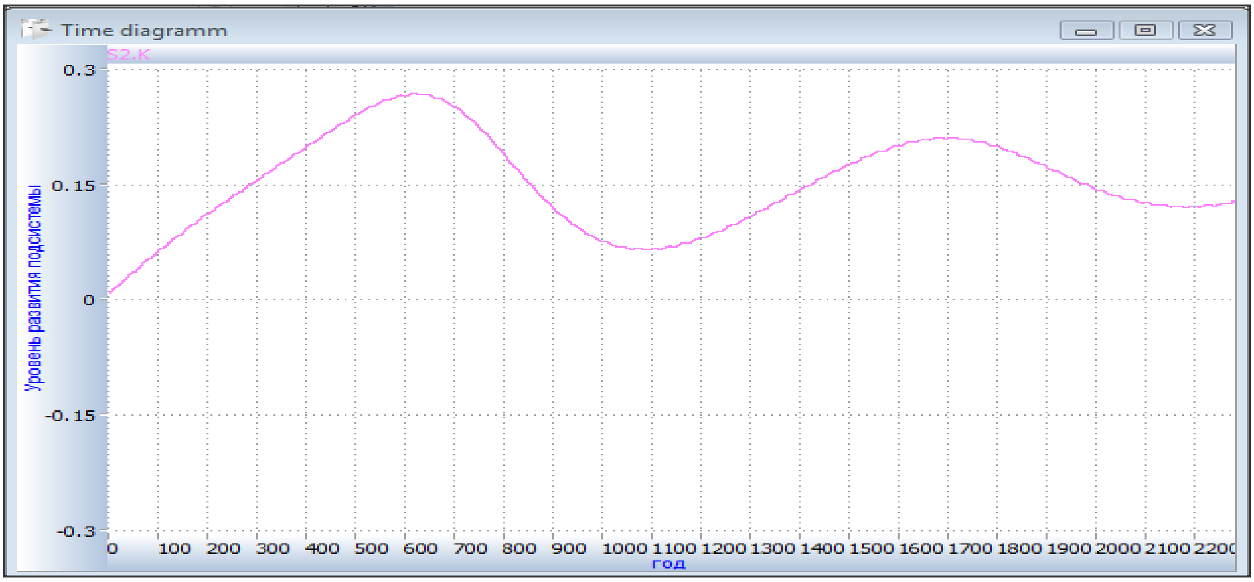

Рис. 9. График социетальное общество при P =0.011.

Легко видеть, что полученный в [9] график (рис. 5) похож на график, полученный средствами пакета RMD (рис. 6-9). Разница определяется различным заданием пассионарного напряжения. Кроме того, можно отметить, что уровень пассионарного напряжения в обществе мало отображается на поведении политической и экономической функции общества. Это легко заметить, в случае, когда пассионарное напряжение изменяется согласно принципам, определенным Гумилёвым (через некоторый промежуток времени происходит спад пассионарного напряжения), отображено на рис. 10.

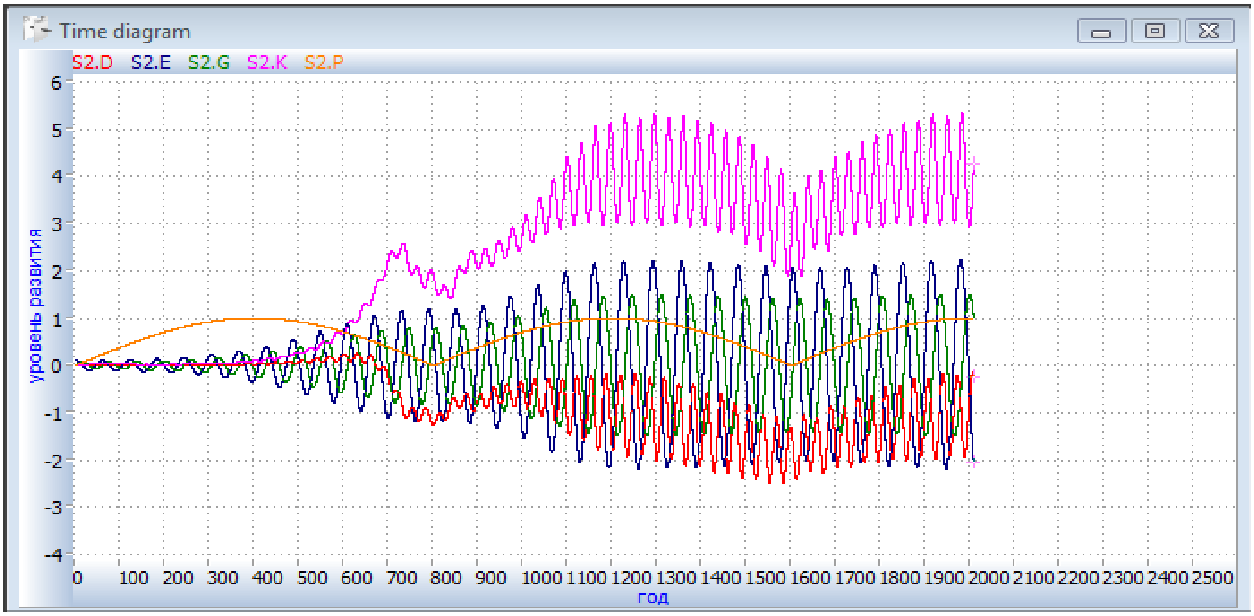

Рис. 10. График социогенеза при переменном P .

Найдём координаты особой точки системы при P = 0.01, по аналогии с [9].
Получим точку (G, E, K, D) = (0, 0, -87.07474302, -72.93258276).
Получаем следующую матрицу Якоби по G, E, K, D.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.07070351169 & 0 & 0 \\ -0.1515075250 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0. & -41.51024294 & 10.21056159 \\ 0. & 0 & 1.741494860 & -8.621602584 \end{bmatrix}$$

Составим характеристическое уравнение:

$x^4 + 50.13184552 * x^3 + 340.1138894 * x^2 + 0.5370180475 * x + 3.643224029 = 0$

Решая характеристическое уравнение, получим следующие точки:

$x_1 = 0.1034993433i$
$x_2 = - 8.089547808$
$x_3 = - 42.04229771$
$x_4 = - 0.1034993433i$

Соответственно, получаем устойчивый узел (-8.089547808; - 42.04229771) и центр (0.1034993433i; - 0.1034993433i). Фазовые портреты представлены на рис. 11-12.

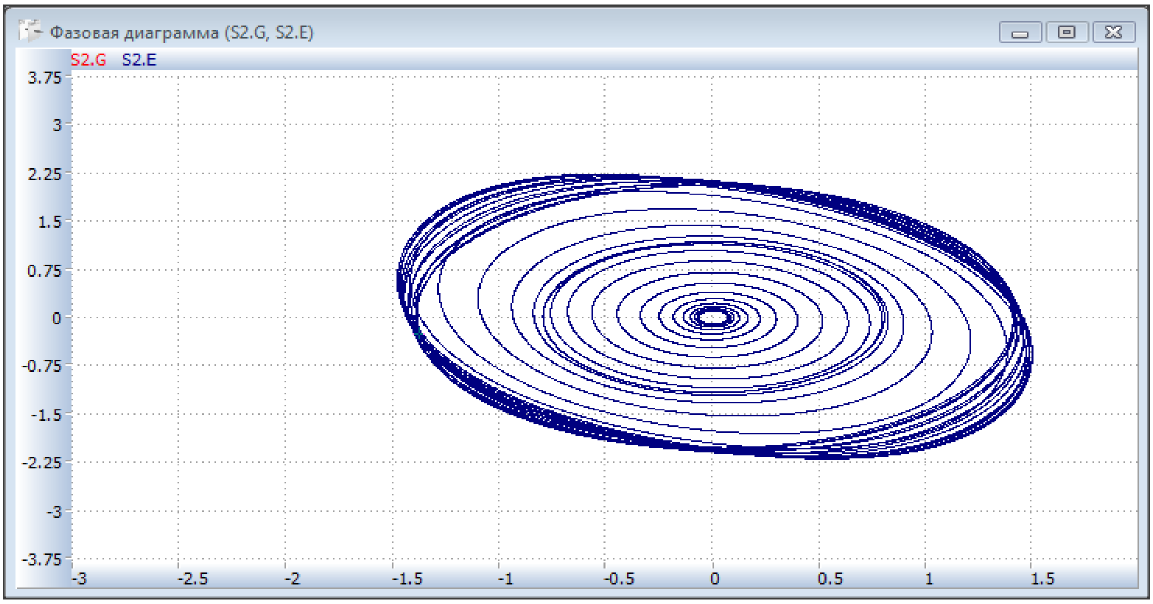

Рис. 11. Фазовый портрет.

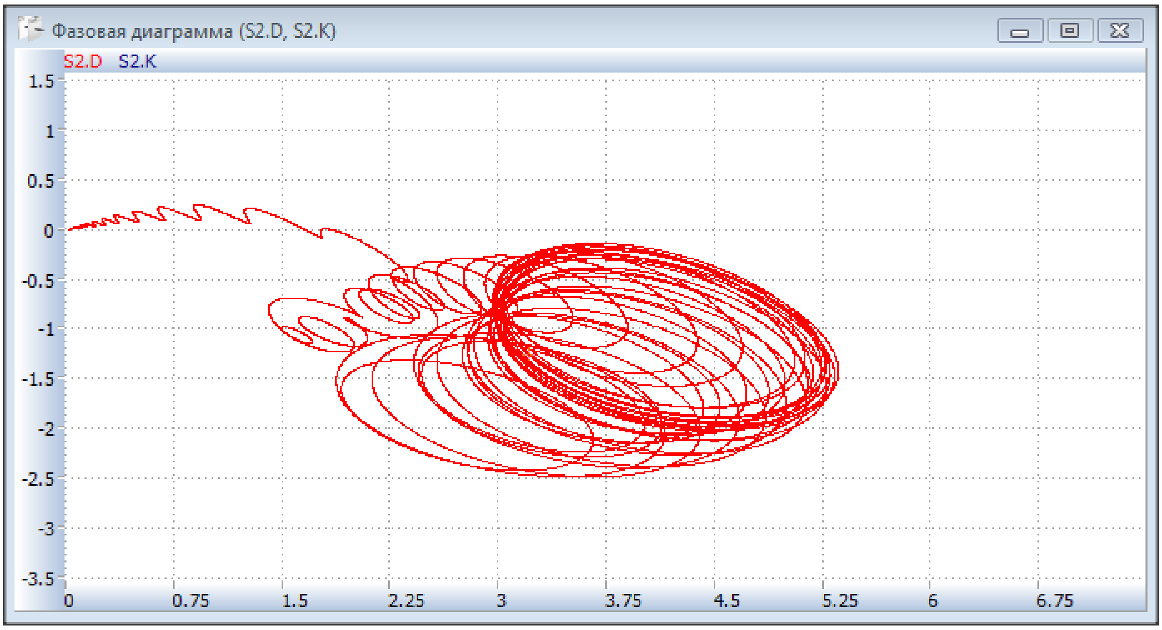

Рис. 12. Фазовый портрет.

На примерах моделей социальной диффузии и социогенеза, обладающих сложным динамическим поведением, было показано применение среды визуального моделирования RandModelDesigner 7 для моделирования задач социологии. Для моделей, представимых в виде дифференциальных и разностных уравнений, таких как рассмотренные выше, от пользователя потребовалось лишь математически сформулировать задачу, весь анализ проводился исключительно стандартными средствами пакета. В то же время, среда позволяет не только исследовать модели стандартными средствами, но и самостоятельно создавать нужные инструменты, как это было продемонстрировано на примере диаграмм Ламерея. Возможности среды моделирования много шире, чем описано в этой статье, и это становится очевидным при исследовании многокомпонентных систем – например, различных сообществ, взаимодействующих между собой по заданным правилам. Современные версии среды позволяют строить и «агентные» системы. Таким образом можно использовать одну среду и для исследования классических однокомпонентных динамических систем, многокомпонентных систем, и «агентных».

Список литературы

1. M. Sonis. Discrete non linear probabilistic chains. Functional differential equations, v.10, 2003, n.3-4, p.593-639.
2. Арапов М.В., Херц М.М. Математические методы в лингвистике. М., 1974
3. Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем – СПб.: БХВ-Петербург,2002.- 464 с.
4. Давыдов А. Об одной математической модели социальной динамики. М., 2001.
5. Джери Д., Джери Д. Большой толковый социологический словарь (Collins). Том 1 (А-О). М.: Вече, АСТ, 2001. 544 с.
6. Колесов Ю. Б. Сениченков Ю. Б. Объектно-ориентированное моделирование в среде RandModelDesigner 7 - учебно-практическое пособие. Москва: Проспект, 2016.- 256 с.
7. Конюховский П. В. Математические методы исследования операций в экономике. СПб: Питер, 2000
8. Коробицын В.В., Фролова Ю.В. Имитационное моделирование социализации индивида: «Математические структуры и моделирование»№ 2 (6) / 2000
9. Лаптев А.А. Математическое моделирование социальных процессов // МСиМ. 1999. №1 (3).
10. Нелюбин Л.Л. Перевод и прикладная лингвистика. М.: Высшая школа1983, 207.
11. Петров И.Б. Математическое моделирование в медицине и биологии на основе моделей механики сплошных сред. ТРУДЫ МФТИ, 2009,№1
12. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов: Учебное пособие для высших учебных заведений. - Изд. 2-е, М.: Логос, 2001.-296 с.

Сведения об авторе

Козырева Дарья Дмитриевна
Аспирант кафедры информатики СПбГУ
Санкт-Петербургский государственный университет
198504 Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр-т 28, кафедра информатики

Daria D. Kozireva, PhD student, Computer Science Department SPbSU
dmi7580@yandex.ru