**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ 2016 Т. 8 № 3 С. 561−572**

Ки&М

МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК: 519.67

Дискретная математическая модель системы «власть–общество–экономика» на основе клеточного автомата

М. Е. Степанцов

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН,
НОЦ «Прикладная математика»,
Россия, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4

E-mail: mews@yandex.ru

Получено 26.08.2015, после доработки – 22.03.2016.
Принято к публикации 10.05.2016.

Данная работа посвящена модификации ранее предлагавшегося автором дискретного варианта модели А. П. Михайлова «власть–общество». Эта модификация учитывает социально-экономическое развитие системы и коррупцию в ней по аналогии с непрерывной моделью «власть–общество–экономика–коррупция», но имеет в своей основе стохастический клеточный автомат, описывающий динамику распределения власти в иерархии. Новая версия модели построена путем введения в пространство состояний клетки ранее предлагавшегося клеточного автомата переменных, соответствующих численности населения, объему экономического производства, объему основных производственных фондов и уровню коррупции. Структура социально-экономических зависимостей в системе заимствована из модели Солоу и непрерывной детерминированной модели «власть–общество–экономика–коррупция», однако особенностью новой модели является ее гибкость, позволяющая рассматривать в ее рамках региональные различия во всех параметрах социально-экономического развития, различные модели производства и динамики народонаселения, а также транспортные связи между регионами. Построена имитационная система, включающая три уровня властной иерархии, пять регионов и 100 муниципалитетов, при помощи которой проведен ряд вычислительных экспериментов. В ходе этого исследования получены результаты, указывающие на изменение характера динамики распределения власти при повышении уровня коррупции. Если в отсутствие коррупции (аналогично предыдущей версии модели) распределение власти в иерархии асимптотически стремится к одному из стационарных состояний, то при наличии высокого уровня коррупции объем власти в системе испытывает нерегулярные колебательные изменения и лишь в дальнейшем также сходится к стационарному состоянию. Данные результаты можно содержательно интерпретировать как снижение стабильности властной иерархии при усилении коррупции.

Ключевые слова: система «власть–общество», клеточные автоматы, вычислительный эксперимент, имитационное моделирование, экономика, коррупция

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проекты №№ 15-06-07926 и 15-01-06192

COMPUTER RESEARCH AND MODELING
2016 VOL. 8 NO. 3 P. 561−572

UDC: 519.67

A discreet 'power–society–economics' model based on cellular automaton

M. Ye. Stepantsov[1]

[1] Keldysh Institute of Applied Mathematicsy, REC 'Applied Mathematics'
4 Miusskaya sq., Moscow, 125047, Russia

E-mail: mews@yandex.ru

Retrieved 26.08.2015, after completion – 22.03.2016.
Accepted for publication 10.05.2016.

In this paper we consider a new modification of the discrete version of Mikhailov's 'power–society' model, previously proposed by the author. This modification includes social-economical dynamics and corruption of the system similarly to continuous 'power–society–economics–corruption' model but is based on a stochastic cellular automaton describing the dynamics of power distribution in a hierarchy. This new version is founded on previously proposed 'power–society' system modeling cellular automaton, its cell state space enriched with variables corresponding to population, economic production, production assets volume and corruption level. The social-economical structure of the model is inherited from Solow and deterministic continuous 'power–society–economics–corruption' models. At the same time the new model is flexible, allowing to consider regional differentiation in all social and economical dynamics parameters, to use various production and demography models and to account for goods transit between the regions. A simulation system was built, including three power hierarchy levels, five regions and 100 municipalities. and a number of numerical experiments were carried out. This research yielded results showing specific changes of the dynamics in power distribution in hierarchy when corruption level increases. While corruption is zero (similar to the previous version of the model) the power distribution in hierarchy asymptotically tends to one of stationary states. If the corruption level increases substantially, volume of power in the system is subjected to irregular oscillations, and only much later tends to a stationary value. The meaning of these results can be interpreted as the fact that the stability of power hierarchy decreases when corruption level goes up.

Keywords: 'power–society' system, cellular automata, numerical experiment, simulation, economics, corruption

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2016, vol. 8, no. 3, pp. 561–572 (Russian).

The author acknowledges Russian Foundation for Basic Research for the research grants 15-06-07926 and 15-01-06192, supporting this paper.

Данная работа посвящена развитию дискретного стохастического варианта модели «власть–общество» [Петров, Степанцов, 2014], основанного на клеточном автомате. Ниже предлагается его модификация, позволяющая моделировать систему «власть–общество–экономика–коррупция».

Изложим вначале положения непрерывной детерминированной модели А. П. Михайлова «власть–общество» [Михайлов, 2006], модифицированной для описания динамики распределения власти в иерархии с учетом экономического развития в условиях наличия коррупции [Дмитриев, Павлов, Петров, 2012].

Рассматривается властная иерархия, состоящая из упорядоченных по старшинству инстанций. Если у каждой инстанции (кроме самой нижней) имеется ровно одна починенная ей инстанция, то иерархия называется цепочечной. В более сложной, пирамидальной, иерархии начальник может иметь произвольное количество подчиненных, расположенных в одном иерархическом слое. Таким образом, модель «власть–общество» с пирамидальной иерархией позволяет рассматривать распределенные системы, в которых инстанции соответствуют администрациям территориальных образований.

Описание социально-экономической динамики в рамках системы «власть–общество» при помощи адаптированной модели Солоу было предложено в [Дмитриев, Павлов, Петров, 2012]. Будем придерживаться высказанных там предположений и допущений. Динамика модели определяется системой дифференциальных и алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dp_1}{dt} = \left(k_1\left(p_2 - p_1\right) + F_1\left(p_1, t\right)\right)\dfrac{\gamma}{c}, \\ \dfrac{dp_i}{dt} = \left(k_i\left(p_{i+1} - 2p_i + p_{i-1}\right) + F_i\left(p_i, t\right)\right)\dfrac{\gamma}{c}, \\ \dfrac{dp_n}{dt} = \left(k_n\left(p_{n-1} + p_n\right) + F_n\left(p_n, t\right)\right)\dfrac{\gamma}{c}, \\ L = L_0 e^{\nu t}, \\ \dfrac{dK}{dt} = -\mu K + \rho\left(1 - a - \omega P - m_1 QP\right)X, \\ X = \left(A_1 P - A_2 P^2\right)\left(1 - m_2 Q\right)K^{\alpha} L^{1-\alpha}, \\ c = \left(1 - \rho\right)\left(1 - a - \omega P - m_1 QP\right)\dfrac{X}{L}. \end{cases} \tag{1}$$

Здесь использованы стандартные обозначения классической модели «власть–общество» и модели Солоу с макроэкономической производственной функцией Кобба–Дугласа: p_i — количество власти на i-м уровне иерархии; k_i и F_i — соответствующие коэффициент перетекания власти и функция реакции общества; L — количество занятых в экономике; L_0 — его значение в момент времени, выбранный в качестве начального; ν — коэффициент прироста населения; μ — скорость выбытия основных производственных фондов; K — объем основных производственных фондов; X — валовый выпуск; a — коэффициент прямых затрат; ρ — норма накопления; α — эластичность производственной функции по фондам; c — уровень потребления на одного работающего. Последняя величина использована вместо выражения $\dfrac{C}{L}$, рассматривавшегося в исходной модели, авторы которой предполагают, что уровень реакции общества на действия власти снижается с ростом благосостояния.

Также введены следующие обозначения: P — суммарное количество власти в иерархии и Q — объем коррупции. Коэффициенты γ, ω и $m_{1,2}$ задают соответственно влияние уровня потребления на динамику власти, долю продукта, идущую на нужды властной иерархии, и влияние коррупции на экономическое производство.

Построение модели

Дискретную стохастическую модель, учитывающую социально-экономическое развитие и коррупцию, будем строить аналогично [Петров, Степанцов, 2014] для пирамидальной трехуровневой иерархии, отражающей принятую в России структуру органов власти: федеральный центр, регионы и муниципалитеты.

При построении модели будем учитывать следующие особенности системы:

1) каждый муниципалитет относится к определенному региону; при этом вертикальные потоки власти «регион–муниципалитет» имеют место только между регионом и входящими в него муниципалитетами;

2) муниципалитеты и регионы географически располагаются друг относительно друга определенным образом (некоторые являются соседями, имеющими общую границу; некоторые значительно удалены друг от друга и т. п.);

3) в разных муниципалитетах и регионах функции реакции общества, экономические и социальные параметры и уровень коррупции могут быть различными.

В качестве поля данного автомата, как и ранее [Петров, Степанцов, 2014], примем ортогональную сетку, на которой каждый муниципалитет соответствует клетке клеточного автомата, а регион — связному множеству некоторого количества таких клеток. Для описанных ниже вычислительных экспериментов использовалось поле размерности 10 на 10 клеток; таким образом, моделируемая система состояла из 100 муниципалитетов, объединенных в 5 регионов.

Окрестность клетки в данной модели может быть задана как в соответствии с правилом фон Неймана (и состоять из четырех клеток, называемых соседями, имеющих с данной общую сторону, обозначаемых *North*, *East*, *South*, *West*; данная система обозначений является стандартной и никак не связана с географическими аналогиями в системе «власть–общество»), так и с правилом Мура (восемь клеток, имеющих хотя бы общую вершину). В данной работе будем использовать окрестность фон Неймана [Тоффоли, Марголус, 1991].

Каждая клетка (муниципалитет) характеризуется перечисленными ниже параметрами.

1. Номер региона, к которому относится данный муниципалитет.

2. Набор параметров, характеризующих реакцию общества. Примем предложенное в [Дмитриев, Жукова, Петров, 2004] положение о том, что общественное сознание имеет биполярный характер, при котором существуют два устойчивых распределения власти. Одно из них отличается большим (p_3), а другое — меньшим (p_1) количеством власти у соответствующей инстанции. Функция реакции общества тогда имеет вид

$$F(p) = -k_1(p - p_1)(p - p_2)(p - p_3), \qquad (2)$$

где параметры p_1, p_2, p_3 $(p_1 < p_2 < p_3)$ характеризуют конкретную инстанцию, в данном случае — конкретный муниципалитет.

3. Население муниципалитета.

4. Объем основных производственных фондов муниципалитета.

5. Уровень коррупции в муниципалитете.

Перечисленные параметры задаются натуральными числами из некоторого заданного интервала, поскольку являются характеристиками состояния клетки.

Помимо этого, рассмотрим вспомогательные характеристики каждой клетки: объем произведенного в муниципалитете продукта и удельное потребление. Эти величины представляют собой действительные числа. Время в данной модели предполагается дискретным. Переменная $p(t)$, характеризующая каждый конкретный муниципалитет в каждый момент времени, имеет смысл количества власти, реализуемого администрацией данного муниципалитета.

Правила автомата предусматривают также, что на динамику состояния данной клетки влияют клетки, расположенные за пределами ее окрестности. Такие клетки называются псевдососедями данной [Тоффоли, Марголус, 1991]. В рассматриваемой модели эти клетки вообще не принадлежат полю клеточного автомата и соответствуют регионам и федеральному уровню власти. Состояние этих клеток характеризуется такими же параметрами, за исключением пункта 1.

Следует указать, что в предлагаемом варианте модели мы будем рассматривать в качестве P следующую величину:

$$P = p_{m,j} + \frac{p_{r,i}}{N_i} + \frac{p_f}{n}. \tag{3}$$

Здесь N_i — число муниципалитетов в регионе i; n — общее число муниципалитетов в системе. Таким образом, в качестве величины, определяющей социально-экономическую динамику данного муниципалитета, рассматривается сумма количества местной власти и долей количеств региональной и федеральной властей, приходящихся на данный муниципалитет.

В модели «власть–общество» динамика определяется двумя факторами: перераспределением власти между инстанциями и влиянием гражданского общества. В детерминированной модели этим факторам соответствуют различные слагаемые в дифференциальных уравнениях. В модели на основе клеточного автомата это приводит к тому, что каждый шаг динамики автомата состоит из следующих этапов.

Этап 1. Алгоритм изменения объема власти инстанции ввиду потоков власти между соседними иерархическими уровнями аналогичен использованному в модели «власть–общество» [Петров, Степанцов, 2014], с той разницей, что интенсивность потоков увеличивается в $\frac{\gamma}{c}$ раз, то есть соответствующие вероятности умножаются на этот коэффициент.

d = Region(Center) – Center
a=Random (0, 1)
If d > 0 then
If a < k d γ / c Number(Region(Center)) then Region'(Center) = Region(Center) – 1
If a < k d γ / c then Center' = Center + 1
End If
If d < 0 then
If a < -k d γ / c / Number(Region(Center)) then Region'(Center) = Region(Center) + 1
If a < -k d γ / c then Center' = Center – 1
End If

Здесь *Region(Center)* обозначает псевдососеда клетки, описывающего регион, к которому относится данный муниципалитет, а функция *Number(Region(Center))* возвращает число клеток, для которого данный регион является псевдососедом (то есть число муниципалитетов, относящихся к данному региону). Коэффициент k имеет тот же смысл, что и соответствующий коэффициент из детерминированной модели, и характеризует интенсивность обмена властью между соседними инстанциями (так, в детерминированной модели с непрерывной иерархией, имеющей вид уравнения в частных производных параболического типа, данный коэффициент аналогичен коэффициенту теплопроводности).

Рассмотрим подробнее особенности этого алгоритма. Если количество власти на региональном уровне превышает количество власти на уровне муниципалитета на величину d, то с вероятностью $kd\frac{\gamma}{c}$ количество власти на региональном уровне уменьшается на 1, а с вероятностью $k\frac{d}{N}\frac{\gamma}{c}$ (где N — число муниципалитетов в составе данного региона) увеличивается на 1 количество власти на уровне муниципалитета. Таким образом, хотя при каждом отдельном применении алгоритма суммарное количество власти, приходящееся на данный муниципалитет (3), может не сохраняться, однако среднее его изменение в рамках одного региона после применения алгоритма ко всем клеткам региона равно 0. Если количество власти на региональном уровне меньше количества власти на уровне муниципалитета, то происходит точно такой же процесс перетекания в обратном направлении.

Алгоритм перетекания власти между федеральным и региональным уровнями аналогичен, но вместо числа муниципалитетов используется число регионов.

Этап 2. Изменение объема власти инстанций за счет влияния общества осуществляется следующим образом. Вероятность изменения состояния клетки r на любом уровне иерархии принимается равной

$$r=\frac{\gamma}{c}\min\left\{k_1\frac{F(p)}{F_{\min(\max)}};\ 1\right\}. \tag{4}$$

Здесь отличие от алгоритма модели «власть-общество» также состоит в том, что уровень потребления влияет на степень реакции общества через множитель $\frac{\gamma}{c}$ в соответствии с предположениями [Дмитриев, Павлов, Петров, 2012], отраженными в непрерывной модели (1).

Применение формулы (4) требует предварительного вычисления величин $F_{\min(\max)}$. Для этого находим точки экстремумов функции (2):

$$p_{\min(\max)}=\frac{p_1+p_2+p_3\pm\sqrt{p_1^2+p_2^2+p_3^2-p_1p_2-p_1p_3-p_2p_3}}{3}$$

и вычисляем наибольшее или наименьшее значение функции в этих точках.

Алгоритм изменения количества власти за счет влияния общества, таким образом, имеет следующий вид:

```
F = -(Center – p1) (Center – p2)(Center – p3)
If F > 0 then
pextr = (p1 + p2 + p3 + sqrt(p1 p1 + p2 p2 + p3 p3 – p1 p2 – p1 p3 – p2 p3)) / 3
else
pextr = (p1 + p2 + p3 - sqrt(p1 p1 + p2 p2 + p3 p3 – p1 p2 – p1 p3 – p2 p3)) / 3
End if
Fextr = –(pextr – p1)(pextr – p2)(pextr – p3)
r = k1 F / Fextr
a=Random (0, 1)
If a < γr/c and F > 0 then Center’ = Center + 1
If a < γr/c and F < 0 then Center’ = Center – 1
```

Алгоритмы изменения объема власти на федеральном и региональном уровнях аналогичны.

Алгоритмы этапов 1 и 2 построены таким образом, чтобы в среднем динамика количества власти описывалась уравнениями (1).

Что касается моделирования экономических и коррупционных величин, не будем строго привязываться к макродинамике социально-экономических параметров, заданной в непрерывной модели для всей системы в целом, а рассмотрим изменение этих параметров для каждой клетки в отдельности, поскольку в первом случае мы получили бы просто прямой аналог непрерывной модели, ничем не хуже, но и не лучше таковой. Однако наша цель — воспользоваться дополнительными возможностями, которые дает модель на основе клеточного автомата; и первый шаг к этому уже был сделан, когда каждой клетке были приписаны свой уровень коррупции и свои социально-экономические показатели, которые в общем случае могут быть различными для различных клеток. Разумеется, мы будем основываться на прежней схеме изменения социально-экономических показателей, использованной в модели Солоу (рис. 1).

Здесь крупными стрелками показано перераспределение произведенного продукта. Тонкие стрелки отображают влияние уровня потребления на интенсивность потоков власти и объема власти на коэффициент в макроэкономической производственной функции.

Припишем каждой муниципальной клетке автомата некоторое значение уровня коррупции Q, а также уже упомянутых величин K, L, X и c. При этом значения Q, K и L будем рассматривать как дополнительные характеристики состояния клетки (следовательно, они будут задаваться целыми числами из некоторого выбранного интервала), но X и c не будем включать в состояние клеток, эти величины будут рассчитываться в соответствии с формулами (1).

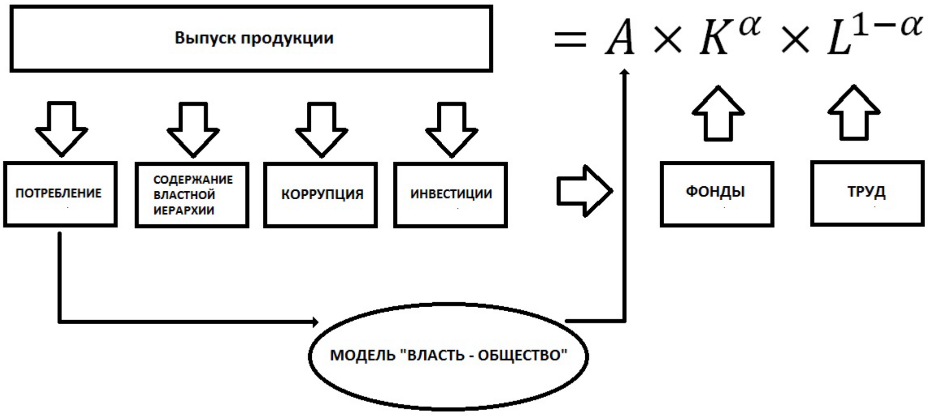

Рис. 1. Взаимное влияние факторов в модели «власть–общество» с добавленными социально-экономическими показателями и коррупцией

Значения K и L для региональных и федеральной клеток определяются как сумма по всем входящим в регион муниципалитетам, а для федеральной клетки — как сумма этих величин по всем муниципальным или региональным клеткам (оба варианта, естественно, должны давать один и тот же результат).

Следует напомнить, что в качестве суммарного объема власти, определяющего социально-экономическую динамику данного муниципалитета, рассматривается выражение (3). Сделанное в рамках непрерывной модели предположение означает (благодаря множителю $A_1P - A_2P^2$ в выражении для объема производства в системе уравнений (1)), что для каждого муниципалитета существует некоторое оптимальное количество власти:

$$P_{\mathrm{opt}} = \frac{A_1}{2A_2},$$

при котором экономика региона функционирует наиболее эффективно.

Итак, рассмотрим следующие этапы изменения состояния клеток, задающие динамику величин K и L в каждом из муниципалитетов.

Этап 3 не требует записи в виде алгоритма. Изменение численности трудоспособного населения (которая, в отличие от непрерывной модели, задана целым числом) может быть в соответствии с моделью Солоу задано естественным образом через отображение

$$L' = L(1+\nu).$$

При построении имитационной схемы, моделирующей реальную страну, коэффициент прироста населения может быть задан различным для различных территорий, а также переменным во времени. Если модель планируется использовать в иллюстративных целях, в него также может быть добавлена случайная составляющая. Вообще, предлагаемая модель позволяет использовать вместо этого любой представимый в виде функциональной или стохастической зависимости закон динамики численности занятого в экономике населения. Однако в изложенных ниже пробных численность экономически активного населения была принята постоянной.

Этап 4 определяет динамику объема основных производственных фондов K. Вначале для каждой муниципальной клетки рассчитывается объем продукции, который может быть направлен на инвестиции, округленный в нижнюю сторону до целого числа:

$$I = \left[\rho(1-a)X\right].$$

После этого для каждой единицы потенциальных инвестиций разыгрываются варианты ее использования: затраты на поддержку властной иерархии, потери на коррупцию или собственно инвестиции. Алгоритм этой операции выглядит следующим образом:

```
For i=1 to I
a=Random (0, 1)
If a>ωP then
        a=Random (0, 1)
        If a>QP then
                K=K+1
        End if
End if
Next i
K'=K(1–μ)
```

Кроме того, в модель может быть введена возможность обмена продукцией между клетками-муниципалитетами. Более уместно было бы ввести такое дополнение при рассмотрении многопродуктовой модели, а в рамках рассматриваемой ситуации, в которой производимая продукция не разделяется по видам, можно ограничиться возможностью перетекания продукции в регионы, где ощущается ее нехватка.

Это потребует введения в модель еще одного матричного параметра $T=\left(t_{ij}\right)$, характеризующего интенсивность обмена товарами между клетками i и j. Положим $0 \le t_{ij} < 1$; отсутствие транспортного сообщения между клетками задается $t_{ij}=0$, считаем, что $t_{ii}=0$. Теперь на каждом шаге по времени перед этапом 4 выполняем следующий алгоритм (**этап 3а**):

```
For i=1 to n
For j=1 to n
a=Random (0, 1)
If a>t(i,j) then
        If I(i)>I(j) then
                I(i)= I(i)–1
                I(j)= I(j)+1
        End if
        If I(i)<I(j) then
                I(i)= I(i)+1
                I(j)= I(j)-1
        End if
End if
Next j
Next i
```

Следует указать на возможность модификации предлагаемой модели, где транспортные потоки между клетками описываются не таким примитивным образом, а на основе подхода, изложенного в [Степанцов, 2013]. Однако в данной работе будем придерживаться приведенного выше алгоритма

Вычислительные эксперименты с дополненной моделью

Для пробных численных экспериментов рассматривалась модель системы «власть–общество–экономика–коррупция» с пятью регионами и 100 муниципалитетами, случайно распределенными по этим регионам (рис. 2).

Как и в базовой модели, для всех клеток значения параметров функции реакции общества, заданной формулой (2), были взяты равными $p_1=2,\ p_2=5,\ p_3=7$. Были использованы следующие значения параметров модели Солоу: $\mu = 0.02$, $a = 0.5$, $\rho = \alpha = 0.3$ (оптимальная по Солоу норма накопления), $A_1 = 10$, $A_2 = 1$ (что дает оптимальное количество власти 5, то есть значение, соответствующее неустойчивой равновесной точке в функции реакции общества). Начальные значения переменных модели были приняты $K = 1000$ и $L = 1000$ в каждом муниципалитете, причем численность занятого в экономике населения L оставалась неизменной, доля расходов на поддержание властных структур была принята $\omega = 0.04$ (при максимальном объеме власти 10 это соответствует доле ВВП, идущей на государственные расходы, равной 40 %).

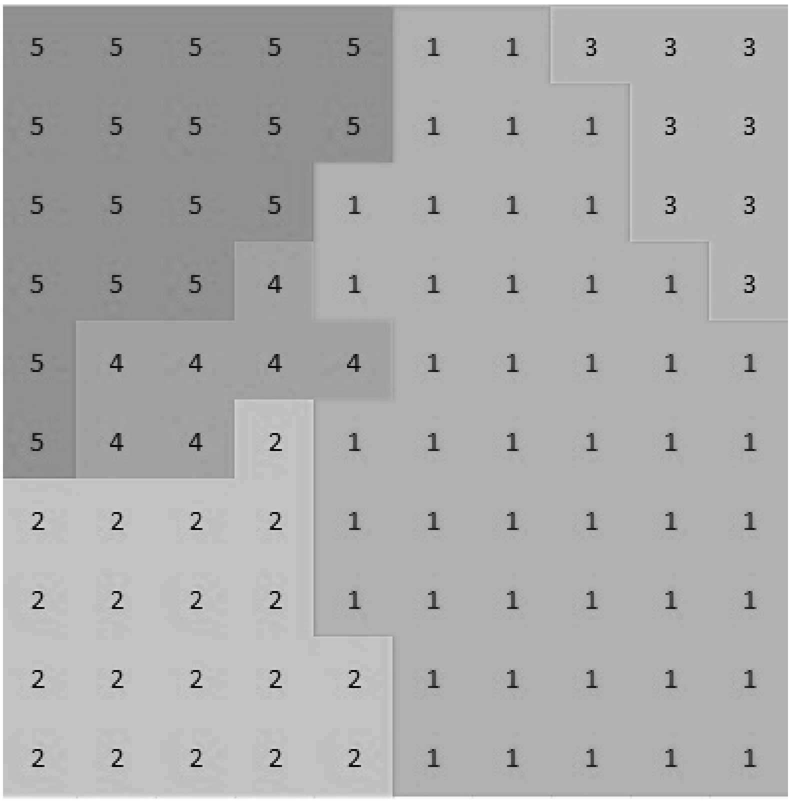

Рис. 2. Пример распределения муниципалитетов по регионам при проведении вычислительных экспериментов с моделью

В ходе вычислительных экспериментов задавался различный уровень коррупции, а также менялись некоторые приведенные выше начальные значения переменных и параметров. Для каждого набора начальных данных проводилась серия из 20 экспериментов, каждый из которых продолжался 1000 условных единиц времени (1 единица времени соответствует 1 шагу клеточного автомата).

Разумеется, без калибровки модели на основании реальных статистических данных и привязки ее к географической реальности нельзя говорить о каких-либо количественных результатах. Однако некоторые из большого числа проведенных экспериментов дали интересные качественные результаты, которые изложены ниже.

Сравнивая динамику среднего значения количества власти в системе при случайном начальном распределении количества власти в отсутствие коррупции и при наличии коррупции на уровне $Q = 0.3$, получаем следующую картину.

В отсутствие коррупции наблюдается сходимость среднего количества власти в системе к одному из устойчивых стационарных значений. Приблизительно через 200–250 шагов по времени количество власти на всех уровнях иерархии во всех муниципалитетах и регионах системы устанавливается на уровне этого значения. При этом благодаря стохастическому характеру модели происходят незначительные осцилляции этого показателя.

В большинстве экспериментов среднее количество власти в системе сходилось в зависимости от его начальной величины к значению 7 (если начальная величина была больше 5, рис. 3) или к значению 2 (если начальная величина была меньше 5, рис. 4). Однако эта закономерность не является однозначной из-за стохастической составляющей модели.

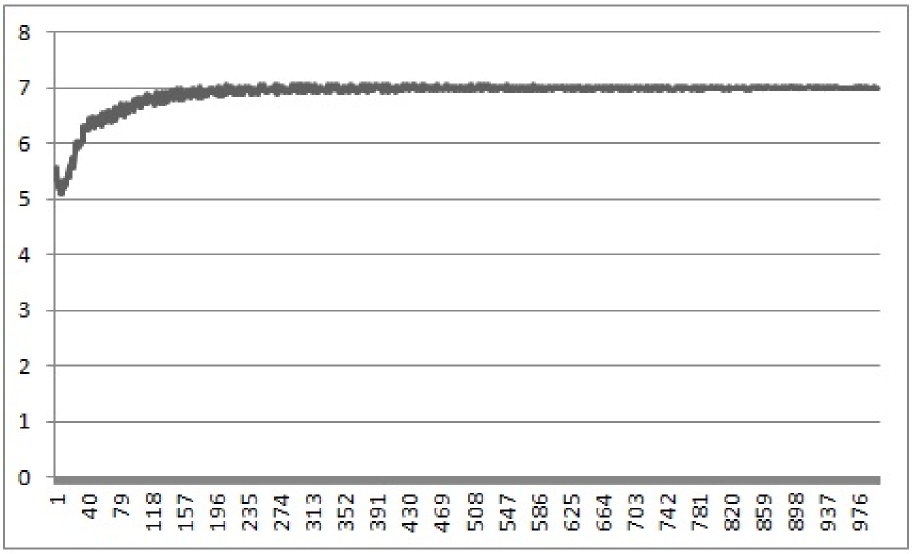

Рис. 3. Среднее количество власти в системе без коррупции сходится к значению 7. По вертикальной оси отложено количество власти, по горизонтальной — время

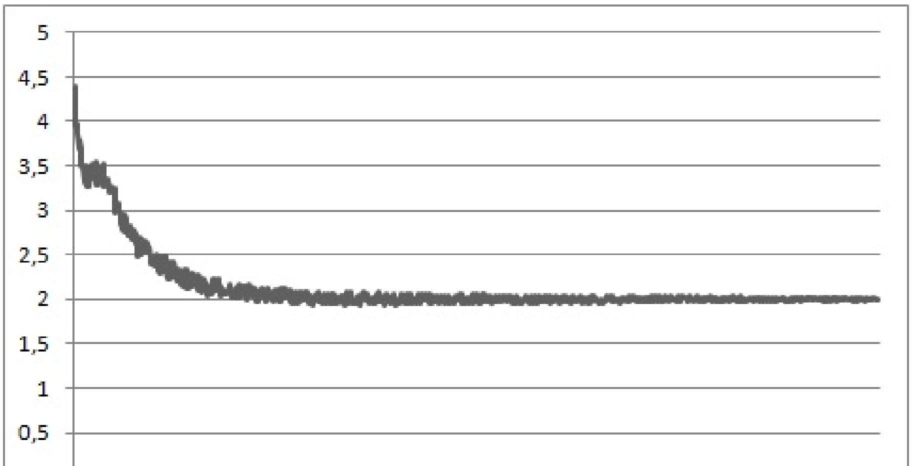

Рис. 4. Среднее количество власти в системе без коррупции сходится к значению 2. По вертикальной оси отложено количество власти, по горизонтальной — время

При наличии коррупции ($Q = 0.3$) среднее количество власти в системе в масштабе 1000 шагов по времени также стремится к одному из устойчивых стационарных значений. Однако в этом случае стабилизация динамики происходит лишь через 350–450 шагов по времени, а сходимости к стационарному значению предшествуют нерегулярные колебательные изменения среднего количества власти.

При этом зависимость того, к какому стационарному значению будет стремиться этот показатель, от его начального значения становится гораздо менее явной, поскольку она «размывается» упомянутыми колебательными изменениями (рис. 5 и 6).

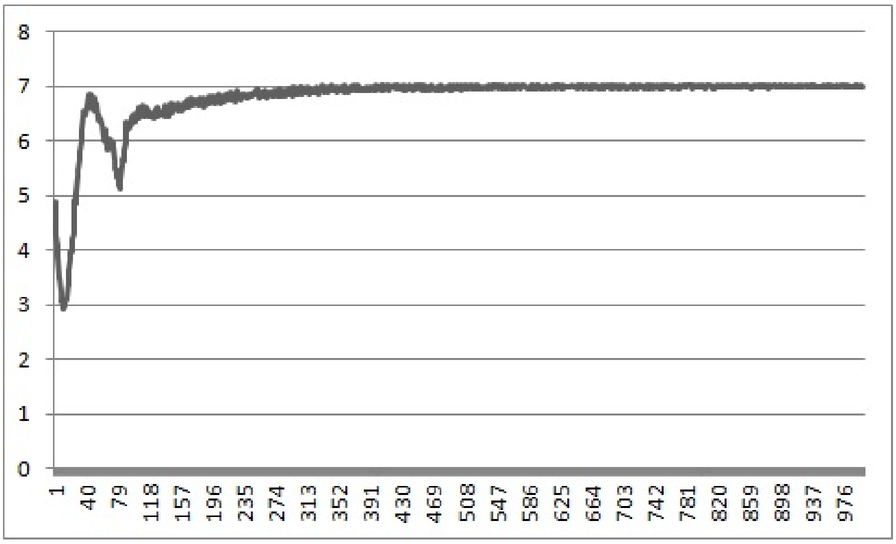

Рис. 5. Среднее количество власти в системе с коррупцией сходится к значению 7. По вертикальной оси отложено количество власти, по горизонтальной — время

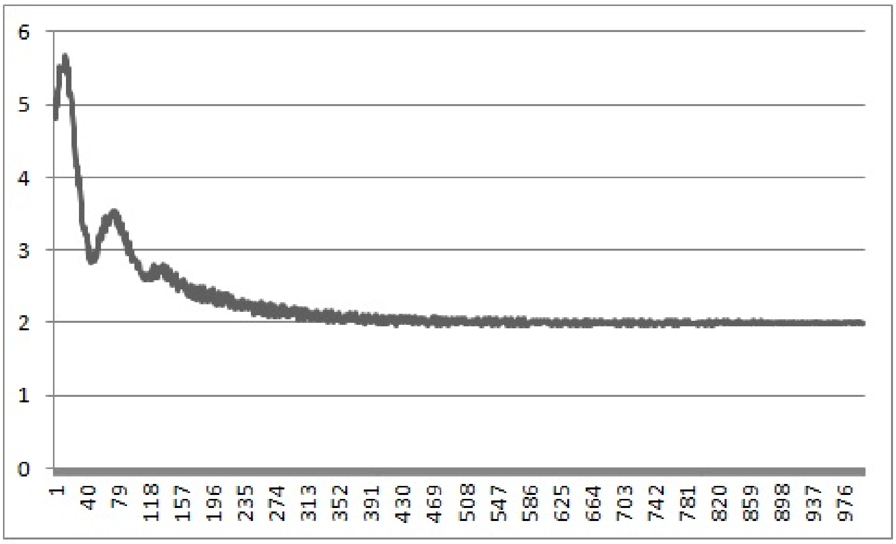

Рис. 6. Среднее количество власти в системе с коррупцией сходится к значению 2. По вертикальной оси отложено количество власти, по горизонтальной — время

Наличие достаточно высокого уровня коррупции, как видим, приводит к сильным изменениям количества власти в системе, которая в каком-то смысле мечется между устойчивыми состояниями. Отсюда можно сделать вывод, что коррупция отрицательно влияет на стабильность ситуации в системе управления.

Отличительной чертой предлагаемого подхода к моделированию системы «власть–общество» при помощи клеточных автоматов является его значительная гибкость. Он не подразумевает того, чтобы ограничиваться при построении имитационных систем рассмотренными выше переменными и параметрами, и в заключение хотелось бы указать еще несколько направлений его усовершенствования. Помимо уже упомянутого в данную модель могут быть непосредственно введены, например, возможность миграции населения внутри системы или за ее пределы, зависимость коэффициента прироста населения от социально-экономической ситуации или зависимость уровня коррупции от структуры и количества власти. Последнее, правда, станет возможным только в случае построения сколь-нибудь адекватной социологической модели взаимного количественного влияния системы власти и коррупции в ней.

Список литературы (References)

Дмитриев М. Г., Жукова Г. С., Петров А. П. Асимптотический анализ модели «власть–общество» для случая двух устойчивых распределений власти // Математическое моделирование. — 2004. — Т. 16, № 5. — С. 23–34.

Dmitriev M. G., Joukova G. S., Petrov A. P. Asimptoticheskij analiz modeli “vlast’–obschestvo” dlya sluchaya dvuh ustojchivyh raspredelenij vlasti [Asymptotic analysis of the “authority-society” model in case of two stable authority profiles] // Matematicheskoe modelirovanie. — 2004. — Vol. 16, No. 5. — P. 23–34 (in Russian).

Дмитриев М. Г., Павлов А. А., Петров А. П. Модель «власть–общество–экономика» для случая слабо коррумпированной дискретной иерархии // Математическое моделирование. — 2012. — Т. 24, № 2. — С. 120–128.

Dmitriev M. G., Pavlov A. A., Petrov A. P. Model’ “vlast’–obschestvo–ekonomika” dlya sluchaya slabo korrumpirovannoj ierarxii [The “power–society–economy” model with a slightly corrupt discrete hierarchy] // Matematicheskoe modelirovanie. — 2012. — Vol. 24, No. 2. — P. 120–128 (in Russian).

Михайлов А. П. Моделирование системы «власть–общество». — М.: Физматлит, 2006. — 144 с.

Mixajlov A. P. Modelirovanie sistemy “vlast’–obschestvo”. — M.: Fizmatlit, 2006. — 144 p. (in Russian).

Петров А. П., Степанцов М. Е. Моделирование трехуровневой системы «власть–общество» на основе клеточных автоматов // Математическое моделирование. — 2016. — Т. 28, № 3. — С. 119–132.

Petrov A. P., Stepantsov M. E. Modelirovanie trehurovnevoj sistemy “vlast’–obschestvo” na osnove kletochnyh avtomatov [Simulation of three-tier system "power–society" based on cellular automata] // Matematicheskoe modelirovanie. — 2016. — Vol. 28, No. 3. — P. 119–132 (in Russian).

Степанцов М. Е. О возможной модификации дискретной математической модели динамического развития транспортной сети // Компьютерные исследования и моделирование. — 2013. — Т. 5, № 3. — С. 395–401.

Stepantsov M. E. O vozmozhnoj modifikatsii diskretnoj matematicheskoj modeli dinamicheskogo razvitiya transportnoj seti [A possible modification of the discrete mathematical model of transport network dynamics] // Computer Research and Modeling. — 2013. — Vol. 5, No. 3. — P. 395–401 (in Russian).

Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. — М.: Мир, 1991. — 283 с.

Toffoli T., Margolus N. Cellular Automata Machines. A New Environment for Modeling. MIT Press, 1987. — 279 p. (Russian ed.: *Toffoli T., Margolus N.* Mashiny kletochnyh avtomatov. — M.: Mir, 1991. — 283 p.).