

УДК: 519.67

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ВЛАСТЬ – ОБЩЕСТВО» С ПЕРЕМЕННЫМ КОЛИЧЕСТВОМ РЕГИОНОВ

Степанцов М.Е. (Москва)

Классическая непрерывная модель А.П. Михайлова «Власть-общество» [1], основанная на дифференциальных уравнениях, равно как и ее версия для случая трехуровневой иерархической властной структуры [2], учитывающая экономические и социальные факторы, адекватно описывает систему в целом [3]. Однако при попытке использовать ее для исследования региональной динамики (например, [4]) возникают трудности в случае различия социально-экономических, географических и иных особенностей регионов и муниципалитетов.

Модель А.П. Михайлова для трехуровневой властной иерархии представляет собой систему дифференциальных и алгебраических уравнений:

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

Здесь использованы стандартные обозначения классической модели «власть-общество» и модели Солоу, а именно: 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, 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.

Также для этой версии модели введены 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.

Дискретный вариант этой модели, имеющий в своей основе клеточный автомат, разработанный автором, порождает макродинамику, полностью соответствующую динамике непрерывной модели, при этом он позволяет [5] рассмотреть явления, которые не могут быть исследованы при помощи этой непрерывной модели.

В качестве поля данного автомата возьмем ортогональную сетку, каждый муниципалитет будет соответствовать клетке клеточного автомата, а регион – связному множеству клеток. Время в данной модели, естественно, предполагается дискретным, как в любом клеточном автомате.

Каждая клетка характеризуется следующими параметрами.

1. Номер региона, к которому относится данный муниципалитет.

2. Функция реакции общества. Как и в [3], рассмотрим кубическую функцию вида:

$$F(p) = -k_1(p - P_1)(p - P_2)(p - P_3),$$

где параметры P_1, P_2, P_3 ($P_1 < P_2 < P_3$) определяют три стационарных значения уровня полномочий органа власти, два из которых (P_1, P_3) являются устойчивыми и соответствуют партиципаторной и авторитаристской моделям управления [2].

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.

Вспомогательными характеристиками каждой клетки, вычисляемыми на каждом шаге, являются объем произведенного в муниципалитете продукта и удельное потребление. Эти величины представляют собой действительные числа. Переменная $p(t)$, характеризующая каждый конкретный муниципалитет в каждый момент времени, имеет смысл количества власти, реализуемого администрацией данного муниципалитета.

Динамика экономических показателей системы основывается на модели Солоу [6]. Каждой клетке автомата ставится в соответствие набор упомянутых выше величин K, L, X и c . При этом значения K и L являются дополнительными характеристиками состояния клетки, то есть должны быть целыми, а X и c могут принимать любые действительные значения, будучи вычисляемыми по формулам (1).

Таким образом, шаг динамики клеточного автомата состоит из следующих этапов (подробные алгоритмы приведены в [5]):

1. Изменение объема власти инстанции благодаря потокам власти между соседними иерархическими уровнями, причем интенсивность потоков увеличивается по сравнению с моделью, не учитывающей экономику [2], в соответствии с выражениями (1), в $\frac{\gamma}{c}$ раз.

2. Изменение объема власти инстанций за счет влияния общества также происходит аналогично модели, не учитывающей экономику, интенсивность этого изменения также умножается на $\frac{\gamma}{c}$.

3. Изменение численности трудоспособного населения, (которая, в отличие от непрерывной модели, задана целым числом), определяется через отображение:

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

4. Для каждой муниципальной клетки рассчитывается объем продукции, который может быть направлен на инвестиции, округленный в нижнюю сторону до целого числа:

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

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

Таким образом, данная модель позволяет произвольным образом менять любые ее параметры на каждом шаге, устанавливая их набор произвольным образом для каждой клетки, не создавая при этом никакой неустойчивости или иных проблем, возникающих в непрерывных системах.

Эта особенность может быть использована при исследовании процессов, возникающих в системе при изменении количества входящих в ее состав регионов и/или муниципалитетов. В данной работе будет рассмотрен частный случай добавления в систему нового региона.

Выясним, каковы должны быть параметры имитационной системы, при помощи которой будут проводиться вычислительные эксперименты. Хотя в модели заложены возможности высокой точности изображения географических особенностей моделируемой системы путем построения соответствующей конфигурации поля клеточного автомата, эквивалентность макродинамики дискретной и непрерывной моделей [5] была достигнута уже в рамках системы из всего 100 муниципалитетов, распределенных по 8 регионам. Полученные результаты не менялись при увеличении размеров поля автомата (количества муниципалитетов) и количества регионов.

Это связано с тем, что клетки автомата, имеющие одинаковые параметры, при моделировании просто повторяют динамику друг друга, и вполне могут быть заменены одной клеткой. Важно лишь сохранить пропорции между количеством клеток, имеющих те или иные параметры. Поэтому при имитационном моделировании системы «власть-общество» в России [5] необязательно использовать клеточный автомат с восемью десятками регионов и несколькими тысячами муниципалитетов. При этом значения макроэкономических показателей (например, ВВП или численности населения) должны строго соответствовать моделируемой реальности.

Исходя из этого, используем уже упомянутый клеточный автомат, поле которого имеет размер 10x10, моделируя систему, состоящую, таким образом, из 100 муниципалитетов, объединенных в 8 регионов. Семь из них сформируем при помощи вспомогательного клеточного автомата «копируй со случайного соседа» [7], а четыре смежные друг с другом клетки объединим в восьмой, добавляемый в систему регион (рис. 1).

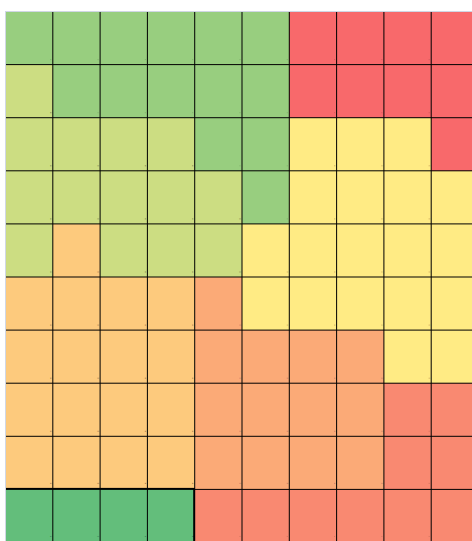


Рис. 1. Поле клеточного автомата, используемого для построения имитационной системы

В рамках того же подхода мы должны принять численность населения системы равной 153 миллионам человек. Можно каждому из четырех муниципалитетов нового региона было приписать значение численности населения, равное двум миллионам, а в семи других регионах поступить следующим образом: 47 муниципалитетам также определить население в количестве двух миллионов, а остальным 49 – по одному миллиону, и равномерно распределить эти муниципалитеты по семи регионам. Экономический блок модели основан на производственной функции Кобба-Дугласа, эластичности которой были взяты напрямую из [8], а коэффициент нейтрального технического прогресса подобран так, чтобы ВВП в масштабах всей системы составил 130 триллионов денежных единиц. Таким образом, производственная функция приобрела вид:

$$X = 0,189K^{0,886}L^{0,246}.$$

Здесь X – величина ВВП, выраженная в триллионах денежных единиц, K – объем основных производственных фондов также в триллионах денежных единиц, L – население в миллионах человек.

Количество власти в модели представляет собой [5] целое число $0 \leq P \leq 10$. Был рассмотрен «авторитаристский» профиль власти, то есть использовалось начальное значение $P = 7$ на всех уровнях исходной системы.

При проведении численных экспериментов были исследованы два варианта увеличения числа регионов. В первом варианте начальное значение количества власти в новом регионе было принято равным 0, то есть рассматривалась ситуация присоединения к системе территорий с населением, где не существовало структуры местной власти, готовой интегрироваться в общую систему, поэтому муниципальный и региональный уровень иерархии необходимо было создать заново.

При помощи построенной имитационной системы были проведены 100 вычислительных экспериментов с одними и теми же начальными данными. Это связано с тем, что клеточный автомат носит стохастический характер, и результаты таких экспериментов могут отличаться. В каждом случае в течение не более чем 60 шагов, что соответствует 60 месяцам или 5 годам реального времени в новых муниципалитетах и регионе количество власти стабилизировалось на уровне 7. По результатам 98 экспериментов в некоторых других муниципалитетах количество власти стабилизировалось на значении 3, причем в большинстве речь шла о муниципалитетах одного региона. На региональных и федеральном уровне количество власти при этом оставалось равным 7 (рис. 2).

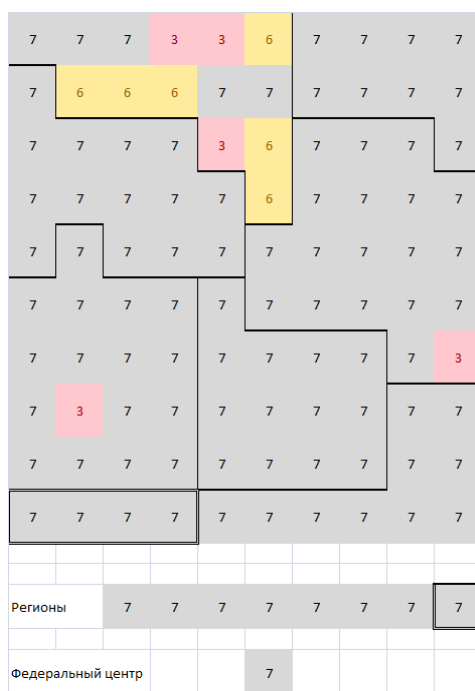


Рис. 2. Пример распределения количества власти по результатам эксперимента

Поскольку изначальный профиль власти в модели был выбран авторитаристским, это можно трактовать как частичную потерю управляемости муниципалитетами и, возможно, целым регионом.

В качестве другого содержательного результата моделирования можно указать падение уровня жизни населения, численным показателем которого в данном случае

является удельное потребление, снижающееся в ходе эксперимента приблизительно на 5% в год, то есть на 23% за период моделирования.

В ходе исследования был рассмотрен дополнительный вопрос о возможных способах преодоления обнаруженной негативной тенденции. Единственным обнаруженным эффективным методом оказались дополнительные внешние инвестиции.

Так, при привлечении дополнительных инвестиций в объеме 8 триллионов темпы падения в год снижаются до 2%, а в случае дополнительных инвестиций в объеме 13 триллионов эффект снижения уровня потребления исчезает. Эти наблюдения сделаны по результатам 100 вычислительных экспериментов для каждого случая (рис. 3).

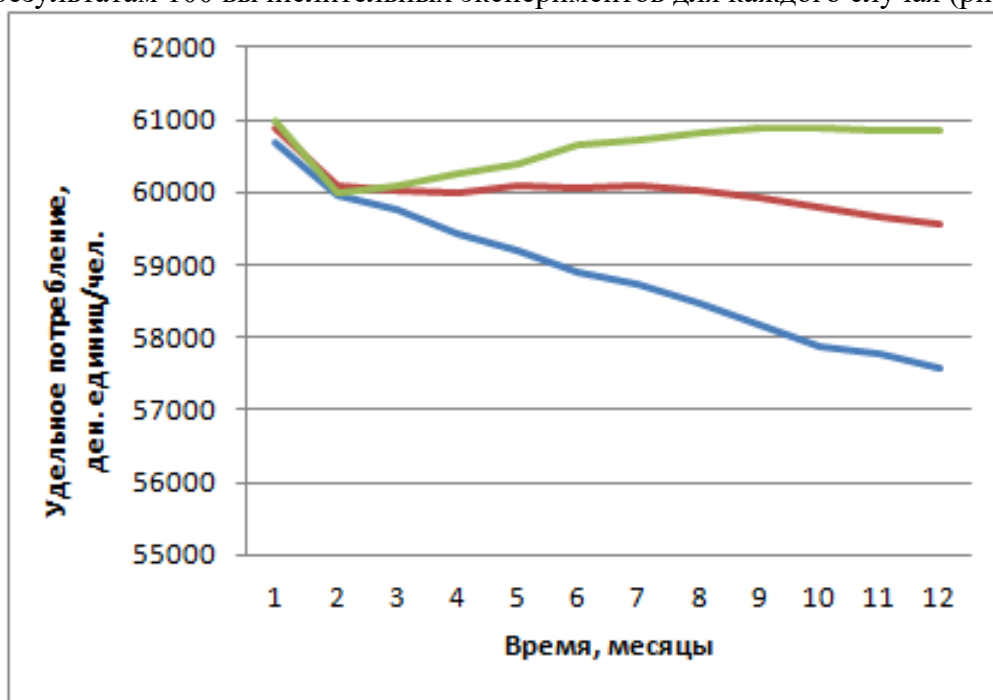


Рис. 3. Динамика удельного потребления в первом варианте моделирования при отсутствии дополнительных инвестиций (синяя кривая), 8 трлн инвестиций (красная кривая) и 13 трлн инвестиций (зеленая кривая)

В качестве второго варианта был рассмотрена ситуация, когда новый регион уже имеет действующую структуру власти, которая просто встраивается в общую систему. Для этого в регионе было задано начальное значение $P = 7$ на региональном и муниципальном уровнях. Остальные параметры и начальные значения были взяты такими же, как и в первом варианте.

По результатам моделирования (также в количестве 100 вычислительных экспериментов для каждого случая) в этом варианте, в отличие от предыдущего, не наблюдалось устойчивого перехода количества власти к значению 3 ни в одном из муниципалитетов или регионов. Что касается снижения уровня жизни, этот эффект сохранился, но заметно ослаб. При отсутствии дополнительных инвестиций такое снижение наблюдалось на уровне около 1% в год, а инвестиции в сумме 4 триллионов приводили к его полному исчезновению (рис. 4).

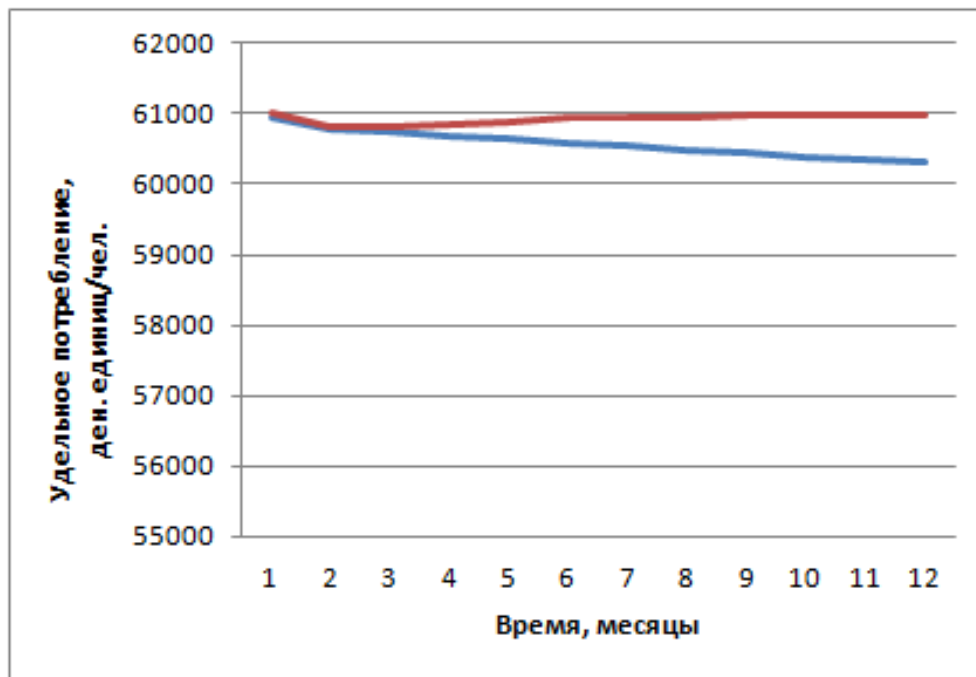


Рис. 4. Динамика удельного потребления во втором варианте моделирования при отсутствии дополнительных инвестиций (синяя кривая) и 4 трлн инвестиций (красная кривая)

Таким образом, имитационное моделирование системы «власть-общество» с параметрами, близкими к современным российским реалиям дало следующие результаты:

1. Добавление в состав системы региона, не имеющего на этот момент сформированной структуры власти, приводит к небольшой потере управляемости.

2. Добавление в состав системы такого региона также приводит к появлению устойчивой тенденции к снижению уровня жизни. Следует уточнить, что здесь речь идет лишь о прямом влиянии присоединения региона, которое проявляется одновременно с другими процессами, происходящими в это же время, не учтенными при проводившихся экспериментах.

3. Единственной обнаруженной в ходе экспериментов мерой, ослабляющей эту тенденцию, является дополнительное внешнее инвестирование. Инвестиции объемом 13 триллионов в течение первого года после присоединения региона полностью нейтрализуют негативные явления. Следует иметь в виду, что речь идет о привлечении внешних средств, не участвующих уже в обороте средств внутри системы. Использование, к примеру, средств государственного бюджета не является такой внешней инвестицией.

4. В случае, если в регионе имеется сформированная структура власти, готовая встроиться в общую систему, потери управляемости не происходит, а тенденция к снижению уровня жизни проявляется значительно слабее и может быть нейтрализована гораздо меньшей суммой инвестиций, а именно – 4 триллиона.

По мнению автора, возможное приближение характеристик имитационной системы к структуре моделируемого объекта (например, использование системы с точным количеством регионов и муниципалитетов) не окажет существенного влияния на представленные выводы.

Литература

1. Михайлов А.П. Математическое моделирование власти в иерархических структурах // Математическое моделирование. 1994. Т. 6, №6. С. 108–138.
2. 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.
3. 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.
4. Ахременко А.С., Петров А.П. Влияние системы перераспределения общественных ресурсов на экономическую эффективность, поддержку власти и социальное неравенство: к динамической математической модели // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 6170–6181.
5. Степанцов М.Е. Моделирование системы «власть-общество-экономика» с элементами коррупции на основе клеточных автоматов // Математическое моделирование. 2017. Т. 29, №9. С. 101–109.
6. Колемаев В.А. Математическая экономика. М.: ЮНИТИ, 1998.
7. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991.
8. Пшеничникова С.Н. Анализ производственной функции Кобба-Дугласа для экономик России и ряда стран региона центральной и Восточной Европы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2017. Т. 7. № 3(24). С. 148–166.