

## 10. БИЗНЕС-РЕИНЖИНИРИНГ

### 10.1. АНАЛИЗ МОДЕЛИ ХЕНИНГА И ЕЕ МОДИФИКАЦИИ

Белоусов Ф.А., научный сотрудник, соискатель

Центральный экономико-математический институт Российской Академии наук

[Перейти на Главное МЕНЮ](#)  
[Вернуться к СОДЕРЖАНИЮ](#)

На основе модели Хэнинга, модели поведения особей в популяции, представлена модификация данной модели, в которой, вместо особей рассматриваются хозяйствующие субъекты. Исходная модель Хэнинга посвящена изучению условий приводящих к полному вымиранию всей популяции за счет внутрипопуляционных причин. В новой интерпретации, когда агенты являются хозяйствующими субъектами, исчезновение всех агентов рассматривается как наступление кризисного состояния в отдельной отрасли, либо в экономике в целом. Кроме этого, предложенные в работе модификации данной модели учитывают некоторые недостатки исходной модели Хэнинга.

#### ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена изучению динамики развития экономических агентов в зависимости от разных типов взаимодействий между ними. Отдельно изучаются условия, когда наблюдается эффект, при котором, все хозяйствующие субъекты в какой-то период прекращают своё существование, т.е. разоряются. В данной работе исследование проводится на основе модели [7], а также ее модификаций, для которых будут характерны различные правила поведения между агентами.

В своей модели Хэнинг моделировал поведение особей внутри популяций. В своих моделях ему якобы удалось получить результат, в котором наблюдается полное вымирание целой популяции при наличии в равной степени как положительных, так и отрицательных внутрипопуляционных воздействий. В этой статье в терминах экономических агентов были проведены соответствующие эксперименты, которые показали, что данный результат имеет место только при достаточно малом начальном количестве агентов в популяции. Если значение этого параметра увеличивать, то модель перестает обладать данным свойством. В качестве выхода из сложившейся ситуации автором данной работы было принято решение ввести так называемую антисимметрию во взаимоотношениях между агентами, т.е. рассмотрены случаи, когда хозяйствующие субъекты оказывают больше негативного влияния друг на друга, нежели позитивного, в частности, изучено влияние фактора агрессии, которая может возникать вследствие высокой конкуренцией.

Еще одной важной особенностью данной модели является тот факт, что взаимодействие агентов формируется экзогенно. Т.е. в модели нет обоснования, почему агенты начинают относиться друг к другу именно так. С одной стороны, это можно рассматривать как недостаток модели, с другой – такой подход позволяет сделать эту модель предельно простой, что в свою очередь позволяет более пристально изучить причины полученных результатов.

Рассмотрение экономических агентов вместо особей популяции является одним из нововведений данной статьи. Такой подход позволяет получить интересные результаты относительно не динамики жизни популяции, а относительно экономических явлений. Вопрос вымирания популяций, а также вопросы внутривидовой агрессии представляет немалый научный интерес. В частности, внутривидовая агрессия была рассмотрена в одной из модификаций хорошо известной «сахарной модели» [5]. Кроме этого, можно выделить статью S. Younger [16], в которой также изучаются вопросы насилия. Кроме этого есть работы, изучающие положительное внутрипопуляционное взаимодействие между особями. Например, изучаются популяции, в которых есть агенты, способные на альтруистические поступки. Среди работ, в которых рассмат-

риваются указанные вопросы, можно выделить статьи С. Боулза [3, 4], а также работа E. Blume [2].

#### Описание модели Хэнинга в экономической терминологии

Модель Хэнинга характеризуется вектором состояний  $\Omega$ , который представляет из себя  $n$ -мерный вектор, элементы которого могут принимать значения либо ноль, либо единица

$$\Omega = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix},$$

где  $x_i \in \{0, 1\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Если  $x_i = 0$ , то  $i$ -й экономический агент разорен, если  $x_i = 1$ , то хозяйствующий субъект продолжает функционировать в конкурентной среде. Из периода в период состояние системы меняется – какие-то агенты разоряются, какие-то появляются. Состояние системы в момент времени  $k$  обозначим через  $\Omega^k$ .

Опишем алгоритм перехода из состояния  $\Omega^{k-1}$  в состояние  $\Omega^k$ . В нулевой период предполагается, что все агенты функционируют, т.е.  $\Omega^0$  есть  $n$ -мерный вектор, все элементы которого равны единице. Вводится в рассмотрение  $(n \times n)$ -матрица перехода  $M^k$ , которая в нулевой период совпадает с единичной матрицей.

Опишем процедуру, по которой осуществляется переход от матрицы  $M^{k-1}$  к  $M^k$ . В каждой строке матрицы  $M^{k-1}$  выбирается один элемент и заменяется на некоторую случайную величину, распределенную равномерно на интервале от минус единицы до единицы ( $U[-1, 1]$ ). Так матрица  $M^k$  примет вид:

$$M^k = \begin{pmatrix} 1 & \dots & \alpha_{1,j_1} & \dots & 0 \\ \vdots & 1 & \dots & \alpha_{2,j_2} & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \alpha_{n,j_n} & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

где для всех  $i = \overline{1, n}$  случайно выбирается целое значение  $j_i \sim U[1, n]$ , а также некоторое значение

$\alpha_{i,j_i} \sim U[-1, 1]$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Здесь  $U[-1, 1]$  – равно-

мерное распределение в диапазоне  $[-1, 1]$ , а  $U[1, n]$  – целочисленное равномерное распределение, в соответствии с которым случайным и равновероятным образом выбирается целое число из диапазона от единицы до  $n$ . Описанную процедуру обозначим через  $F$ , т.е. для любого  $x_i \in N \cup \{0\}$  будет справедливо

$$F(M^{k-1}) = M^k.$$

Далее вычисляется промежуточный параметр  $\omega^k = M^k \Omega^k$ . Тогда вектор состояний  $\Omega^{k+1}$  будет определяться по правилу

$$\Omega_j^{k+1} = \begin{cases} 1, & \omega_j^k > 0; \\ 0, & \omega_j^k \leq 0. \end{cases}$$

Элемент матрицы  $M^k$ ,  $M_{ij}^k$ ,  $k=1, 2, \dots$  характеризует воздействие  $j$ -го агента на баланс агента  $i$  в период  $k$ . Если  $M_{ij}^k > 0$ , то воздействие на баланс агента  $i$  положительно, если  $M_{ij}^k < 0$ , то воздействие отрицательно. Итоговое воздействие на агента  $i$  в  $k$ -й период определяется по формуле  $\omega_i^k = \sum_{j=1}^n M_{ij}^k \Omega_j^k$ . Формально итоговое воздействие на агента  $i$  это произведение  $i$ -й строки матрицы  $M^k$  на вектор состояний  $\Omega^k$ .

Таким образом, вектор  $\omega^k$  характеризует баланс агентов, т.е. если  $\omega_i^k > 0$ , то хозяйствующий субъект  $i$  по итогам текущего периода оказался в прибыли, либо появляется новый агент, в противном случае данный агент становится банкротом и к следующему периоду он ликвидируется (допускается, что при  $\omega_i^k = 0$  агент также оказывается банкротом).

Описанное выше алгоритм преобразования матрицы  $M^{k-1}$  в матрицу  $M^k$  означает, что каждый период времени изменение воздействия на любого агента  $i$ ,  $i = \{1, n\}$  происходит со стороны другого, случайно выбранного агента  $j_i$  на случайную величину  $\alpha_{i,j_i}$ .

Видно, что в такой интерпретации эта модель описывает взаимодействие между фирмами в конкурентной среде. Следовательно, вымирание всех агентов в таких терминах означает кризисное состояние в некоторой отрасли или во всей экономике в целом, в зависимости от исходных предположений.

**Результаты работы модели Хенинга**

Были проведены ряд опытов работы модели Хенинга. Главный результат этих опытов состоит в том, что вопреки утверждениям из [7], в рамках этой модели, при достаточно большом значении максимального количества агентов (т.е. при достаточно большом значении параметра  $n$ ), полного исчезновения всех агентов не наблюдается. Ниже приведена одна из реализаций модели Хенинга в случае, когда  $n = 100$ ,  $T = 500$  (рис. 1, 2).

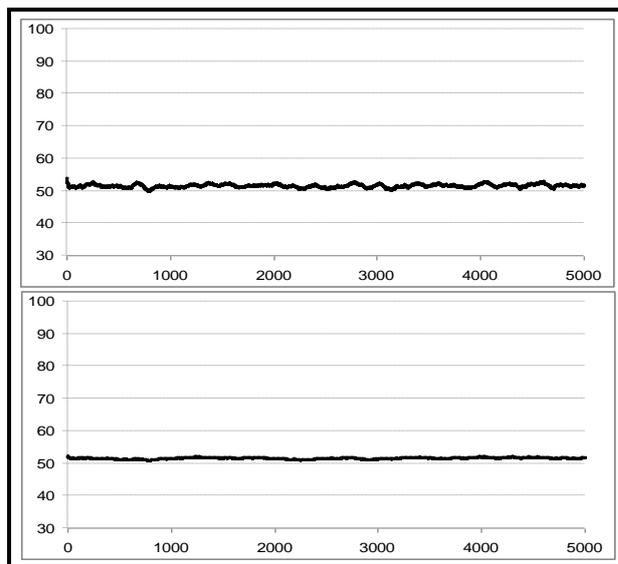


Рис. 1. Результат работы модели Хенинга в случае  $n = 100$ ,  $T = 5000$ <sup>1</sup>

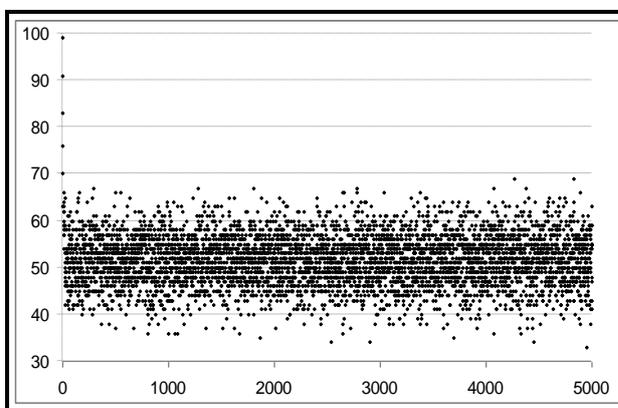


Рис. 2. Результат работы модели Хенинга в случае  $n = 100$ ,  $T = 5000$

**Модификация модели Хенинга (введение антисимметрии)**

Для получения эффекта исчезновения всех агентов введем в модель Хенинга некоторые изменения. А именно, в процедуре  $F$ , которая была определена в описании исходной модели Хенинга, случайные величины  $\alpha_{i,j_i}$  имеют распределение  $U[-1,1]$ . Заменим это распределение на другое –  $U[-1, a]$ , где  $a \leq 1$ . Оказалось, что величина параметра  $a$  оказывает решающее влияние на выживаемость популяции агентов.

Можно экспериментально определить, при каком максимальном значении  $a$  наблюдается эффект разорения всех агентов. Численные эксперименты показали, что указанный эффект наблюдается при  $a = 0,74$ . На рис. 3 и 4 приведена одна из реализаций работы этой модели в случае  $n = 100$ ,  $T = 5000$ .

<sup>1</sup> Усреднение за 100 периодов (верхний график) и за 400 периодов (нижний график).

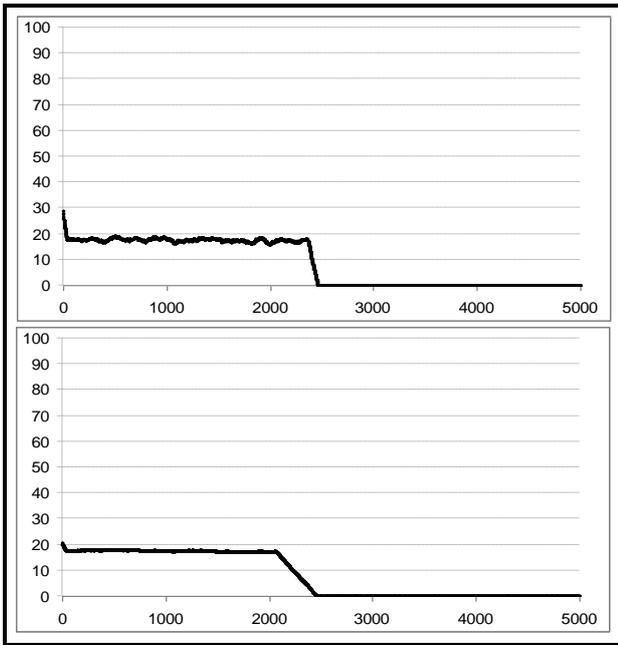


Рис. 3. Результат работы модели Хенинга с антисимметрией в случае  $n = 100, T = 5\ 000^2$

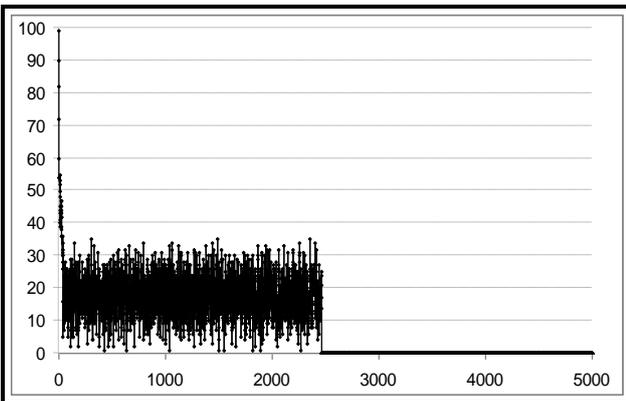


Рис. 4. Результат работы модели Хенинга с антисимметрией в случае  $n = 100, T = 5\ 000$

Таким образом, видно, что одним из способов реализации эффекта исчезновения является введение антисимметрии во взаимоотношения между агентами путем увеличения количества негативных воздействий по сравнению с количеством положительных воздействий.

### Модификация модели Хенинга (введение фактора мести)

В этом разделе рассмотрим другую модификацию модели Хенинга. Дадим агентам возможность реагировать на оказываемое на них воздействие. Процедура  $F$ , описанная выше, останется без изменений, а именно, в каждый момент времени  $k$  в каждом столбце  $i$  матрицы  $M^{k-1}$  произвольно выбранный элемент  $M_{i,j_i}^{k-1}$  заменяется на случайную величину  $\alpha_{i,j_i} \sim U[-1,1]$ . Далее, введем дополнение в эту процедуру. А именно, после ее выполнения выбираются только отрицательные значе-

<sup>2</sup> Усреднение за 100 периодов (верхний график) и за 400 периодов (нижний график).

ния  $\alpha_{i,j_i}, i = \overline{1, n}$ . Если  $\alpha_{i,j_i} < 0$ , то на место симметричного элемента  $M_{j_i,i}^{k-1}$  будет ставиться случайно реализованная величина, распределенная по закону  $U[-1,0]$ . Таким образом, если некоторый агент оказывает негативное воздействие на другого агента, то этот агент также окажет негативное воздействие на первого агента. То есть возникает фактор, который нередко можно наблюдать в высококонкурентной среде. Ниже представлены результаты одной из реализаций данной модификации исходной модели (рис. 5).

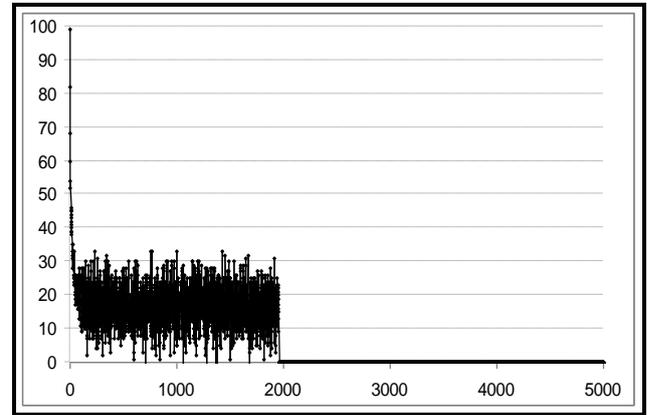


Рис. 5. Результат работы модели Хенинга с мстительными агентами в случае  $n = 100, T = 5\ 000$

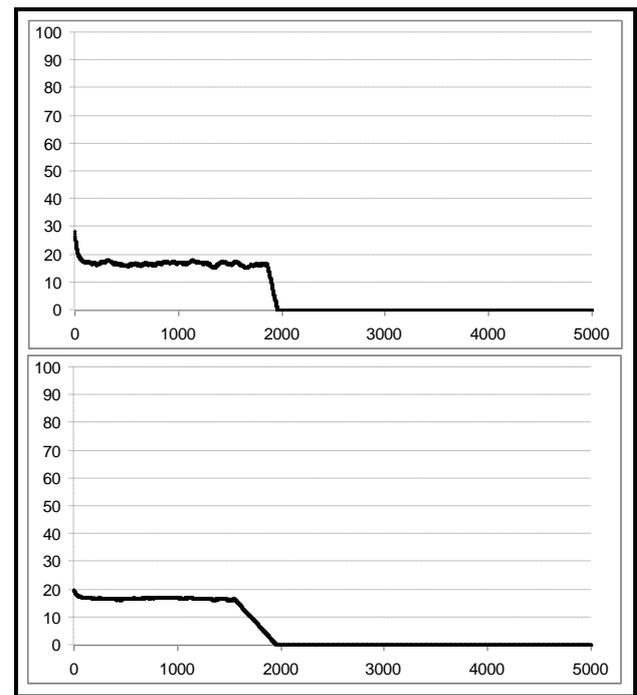


Рис. 6. Результат работы модели Хенинга с мстью в случае  $n = 100, T = 5\ 000^3$

Эксперименты показывают, что в среднем в среде с агентами кризисы наступают реже по сравнению со случаем, когда агенты реагируют антисимметрично. Помимо этого можно отметить, что в случае наличия

<sup>3</sup> Усреднение за 100 периодов (верхний график) и за 400 периодов (нижний график).

популяция быстрее выходит на равновесное состояние развития по сравнению со случаем наличия антисимметрии (рис. 6).

## ВЫВОДЫ

Численные эксперименты показали, что в исходной модели Хенинга популяция достаточно быстро начинает развиваться вокруг некоторого равновесного состояния и эффект полного вымирания не наблюдается. Для получения такого эффекта приходится вводить некоторую антисимметрию во взаимоотношениях так, чтобы негативного взаимодействия между агентами было больше чем положительного.

Общий вывод данной работы достаточно интуитивен – чем больше негативного во взаимодействиях между экономическими агентами, тем более уязвима рассматриваемая отрасль или экономика в целом для кризисных явлений. И наоборот – чем больше положительного влияния экономические агенты оказывают друг на друга, тем с меньшей вероятностью можно ожидать кризисных явлений.

Таким образом, если перекладывать эти результаты на реальную рыночную экономику и рассмотреть роль государства в экономике, то получается, что вмешательство государства может оказывать положительное влияние. А именно имеет смысл такое государственное регулирование, при котором коммерческие организации могут наименьшим образом умышленно навредить своим конкурентам.

*Белоусов Федор Анатольевич*

## Литература

1. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики [Текст] / А.Р. Бахтизин. – М. : Экономика, 2008. – 279 с.
2. Blume L.E. Evolutionary equilibrium with forward-looking players. Mimeo, Cornell University, 1995.
3. Bowles S. Individual interactions, group conflict, and the evolution of preferences // Social dynamics. 2001. Vol. 155, 190.
4. Bowles S., Choi, Hopfensitz A. The co-evolution of individual behaviors and social institutions // Journal of theoretical biology. 2003. Vol. 223. Pp. 135-147.
5. Epstein J., Axtell R. Growing artificial societies: social science from the bottom up. Brookings institute press, 1996.
6. Ermentrout G.B., Edelstein-Keshet L. Cellular automata approach to biological modeling // Journal of theoretical biology. 1993. Vol. 160. Pp. 97-133.
7. Henning P.A. Computational evolution // Lecture notes in economics and mathematical systems. 2008. Pp. 175-193.
8. Gould S.J. The structure of evolutionary theory. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, 2002.
9. Jager W., Popping R., van de Sand H. Clustering and fighting in two-party crowds: simulating the approach-avoidance conflict // Journal of artificial societies and social simulation. 2001. Vol. 4. URL <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/3/7.html>.
10. Knauft B.M. Reconsidering violence in simple human societies // Current anthropology. 1987. Vol. 28. Pp. 457-500.
11. Poundstone W. The recursive universe. Chicago, IL: ContemporaryBooks, 1985.
12. Schelling T.S. Micromotives and macrobehavior. W.W. : Norton and Co, N.Y., 1978.
13. Sole R., Manrubia S. Extinction and self-organized criticality in a model of large-scale evolution // Physical review. 1996. B54(8):R42-R45.
14. Wilensky .U. NetLogo heatbugs model. Center for connected learning and computer-based modeling, Northwestern Unieversity, Evanstone, IL, 2004. URL <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Heatbugs>.
15. Wilensky U., Reisman K. Connected science: learning biology through constructing and testing computational theories – an Embodied modeling approach // International journal of complex systems, 1999.

16. Younger S. Violence and renegeance in egaliterian societies. Journal of artificial societies and social simulation. 2005. Vol. 8. URL <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/4/11.html>.

## Ключевые слова

Модель Хенинга, искусственные общества, виртуальный мир, агенто-ориентированное моделирование, вымирание популяции.

## РЕЦЕНЗИЯ

В работе рассматривается динамика жизни популяций, а также изучаются условия, при которых наблюдается вымирание эти популяции исключительно за счет внутренних причин. Представлена новая интерпретация данной модели, а именно все агенты в модели рассматриваются как экономические агенты, смерть такого агента означает его разорение. Тогда вымирание всех агентов говорит о наступлении кризиса в экономике. Анализ проведен на основе модели, предложенной Хенингом в работе 2008 г. Указаны некоторые недостатки представленной модели, а также приведены дальнейшие ее модификации, которые уточняют и улучшают полученные Хенингом результаты. Модификации были сделаны на основе введения таких факторов, как месть, а также так называемой антисимметрии во взаимоотношениях между агентами в популяции. Эта тема представляет значительный научный интерес в силу того, что в истории как человечества, так и дикой природы существует немало примеров исчезновения целых народов и популяций без видимых внешних причин.

Полученные в работе выводы интуитивно понятны – чем больше негативного во взаимоотношениях между особями, тем менее жизнеспособна популяция в целом. И наоборот – чем больше позитивного влияния особи оказывают друг на друга, тем более живучей оказывается популяция.

Считаю, что данная работа выполнена хорошо и достойна быть напечатанной в журнале «Аудит и финансовый анализ».

*Бахтизин А.Р., д.э.н., проф., в.н.с. Центрального экономико-математического института Российской Академии наук*

[Перейти на Главное МЕНЮ](#)  
[Вернуться к СОДЕРЖАНИЮ](#)