УДК 330.43

DOI: 10.18384/2310-6646-2018-2-51-60

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИБЕРНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПОВОЗРАСТНОЙ РОЖДАЕМОСТИ

Дорохина Е.Ю., Маркелова Н.А.

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлен кибернетический подход к моделированию рождаемости, позволяющий отразить влияние мер демографической политики на повозрастные коэффициенты рождаемости. Воспроизводство населения рассматривается как динамическая система, обладающая входами и выходами. Через входы в некоторые моменты времени поступают ресурсы и информация; в другие моменты результаты процессов их преобразования отправляются во внешнюю среду через выходы. Реагирование повозрастной рождаемости на комплекс мер демографической политики мы предлагаем описывать с помощью переходной функции. Последняя может быть использована для прогнозирования динамики рождаемости.

Ключевые слова: моделирование рождаемости, переходные функции, демографическая политика, системный подход.

THE USE OF THE CYBERNETIC APPROACH TO MODELING AGE-RELATED BIRTH RATES

E. Dorokhina, N. Markelova

Plekhanov Russian University of Economics

36, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russian Federation

Abstract. The article presents a cybernetic approach to birth rate modeling, which allows of reflecting the impact of demographic policy measures on the age-related birth rates. The reproduction of population is considered as a dynamic system with inputs and outputs. The inputs provide resources and information and the outputs release the results of information processing in asynchronous with the inputs regime. We propose to describe the response of the age-related birth rate to a set of demographic policy measures by using the transitional function. The latter can be used to predict the birth rate dynamics.

Key words: birth rate modeling, transition functions, population policy, systemic approach.

В последние десятилетия с демографическими проблемами (снижением рождаемости, старением населения и др.) столкнулось большинство развитых стран. Как отмечается в послании Президента Федеральному Собранию, «в России в 2017 г. численность населения в трудоспособном возрасте сократилась почти на миллион. В ближайшие годы такая тенденция к сокращению сохранит-

ся, что может стать серьёзным ограничением для экономического роста. Необходимо ответить на эти вызовы, и в предстоящее десятилетие обеспечить устойчивый естественный рост численности населения России» [5].

Демографическая политика направлена на формирование желаемого (или на сохранение существующего) типа воспроизводства населения [2; 3]. Современная демографическая политика располагает арсеналом разнообразных методов, но материальные и финансовые ресурсы, выделяемые на её проведение, всегда ограничены [13]. В связи с этим среди множества методов необходимо выделить наиболее действенные, наиболее эффективные на данный момент [7]. Критерием такого выбора может послужить возможная реакция рождаемости на введение конкретных мероприятий, которая выражается в потенциальной величине прироста рождаемости и сроках достижения целевых установок [12]. Для оценки двух последних показателей мы предлагаем использовать кибернетический подход.

Воспроизводство населения будем рассматривать как систему, т. е. совокупность взаимосвязанных элементов [4]. Такими элементами являются люди, которые в процессе воспроизводства вступают в некоторые отношения (супруги, родители – дети и др.) [15]. Состав элементов (в нашем случае половозрастной состав населения) и способ их объединения определяют структуру системы, от которой во многом зависят её свойства, образующие внутреннее состояние системы.

Воспроизводство населения – динамическая система, обладающая входами и выходами (см. рис. 1) [14]. Через входы из внешней среды в некоторые моменты времени поступают ресурсы и информация; в другие моменты времени результаты процессов их преобразования отправляются во внешнюю среду через выходы [8; 11].

Входами ($x_j(t)$) являются отдельные мероприятия демографической политики, выходами ($y_i(t)$) – показатели демографического поведения.

Особенность подхода состоит в том, что при описании связей между входами и выходами не рассматривается внутреннее состояние системы.

Рис. 1. Воспроизводство населения как подсистема общественного производства

Полагая, что система испытывает воздействие извне только через входы, а сама воздействует на внешнюю среду только через выходы, мы представляем воспроизводство населения как относительно обособленную систему. На самом деле взаимосвязи между воспроизводством населения и внешней средой гораздо шире и многообразнее, но для анализа оказывается удобным абстрагироваться от части внешних связей [9], сосредотачиваясь на тех, которые существенны для изучаемых функций системы.

При выборе входов и особенно выходов необходимо учитывать то обстоятельство, что воспроизводство населения является подсистемой системы более высокого ранга – общественного производства [10]. Другими словами, выходные показатели должны заключать в себе наиболее ценную информацию с точки зрения всего процесса социально-экономического развития. В нашем случае такими показателями являются повозрастные коэффициенты рождаемости.

Свой выбор мы объясняем следующими причинами.

1. Именно влиянием на рождаемость определяется специфика демографической политики.

2. В повозрастных коэффициентах рождаемости элиминировано влияние половозрастного состава населения на рождаемость.

Исходному предположению о существовании реакции рождаемости на комплекс мер демографической политики отвечает модель типа переходной функции. Её вариант, связывающий между собой отклик (прирост) повозрастного коэффициента рождаемости и меры воздействия на него, может быть выражен следующим дифференциальным уравнением:

$$v_i \frac{dy_i}{dt} + y_i(t) = \alpha_i x_i(t), \quad (1)$$

$$\text{где } x_i(t) = \begin{cases} x_i', & t > 0; \\ 0, & t \leq 0; \end{cases}$$

где x_i' – величина, определяющая количественное выражение мероприятий демографической политики по изменению (увеличению) рождаемости в i -й возрастной группе; α_i – коэффициент пропорциональности, характеризующий прирост показателя рождаемости в i -й возрастной группе, приходящийся на единицу (тыс. руб.) стоимости таких мероприятий при отсутствии запаздывания реакции рождаемости на их введение (т. е. максимальный прирост); v_i – показатель запаздывания в i -й возрастной группе. Очевидно, что в силу инерционности демографических процессов прирост рождаемости не сразу достигнет максимума, а будет стремиться к нему постепенно. Чем больше величина v_i , тем медленнее идёт этот процесс. На рис. 2 v^1 соответствует кривая (а), v^2 – кривая (б), $v^1 < v^2$. $y_i(t)$ – переходная функция, показывающая прирост коэффициента рождаемости в i -й возрастной группе в году t по сравнению с уровнем базисного года.

Рис. 2. Реакция коэффициента рождаемости на введение мер демографической политики

Начальными условиями для решения уравнения (1) по всем возрастным группам являются соотношения $y_i(0) = 0$. Прирост рождаемости в момент t с учётом его зависимости от реализуемых в 0-й момент времени мероприятий определяется как

$$y_i(t) = \alpha_i x_i' (1 - e^{-t/v_i}). \quad (2)$$

С учётом выражения (2) уровень возрастного коэффициента рождаемости в момент t определяется как

$$Y_i(t) = Y_i(0) + y_i(t), \quad (3)$$

где $Y_i(t)$ и $Y_i(0)$ – уровни рождаемости в i -й возрастной группе соответственно в t -м и базисном годах.

Во взаимодействии элементов системы воспроизводства населения практически всегда имеет место лаг. Мы показали, что инерционность демографического поведения находит отражение в структуре дифференциального уравнения (1), описывающего динамическую зависимость между входами и выходами системы. Однако во многих случаях более целесообразно пользоваться двумя типами моделей – моделью (1) и моделью задержки (с длительностью задержки, равной наблюдаемому лагу).

Формально-математическая запись такой системы моделей

$$\begin{cases} v_i \frac{dy_i}{dt} + y_i(t) = \alpha_i x_i(t); \\ y_i(t) = y_i^\circ(t - \Theta_i); \\ x_i(t) = \begin{cases} x_i', & t > 0; \\ 0, & t \leq 0, \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

где $y_i^{\circ}(t)$ – потенциальное значение прироста коэффициента рождаемости в i -й возрастной группе в году t , если бы не было задержки (см. рис. 3); $y_i(t)$ – фактический прирост коэффициента рождаемости в i -й возрастной группе в году t ; Θ_i – величина задержки реакции рождаемости в i -й возрастной группе.

Федеральным законом «О дополнительных мерах государственной поддержки семей, имеющих детей» от 29.12.2006 № 256-ФЗ [6] в Российской Федерации была введена выплата так называемого материнского (семейного) капитала, право на который получили женщины, родившие второго ребёнка, начиная с 2007 г.

Рис. 3. Задержка реакции коэффициента рождаемости на введение мер демографической политики

Отклик повозрастных коэффициентов рождаемости на меры демографической политики был описан с помощью модели (1).

Параметр x'_i , характеризующий среднегодовые выплаты на одну женщину, родившую второго ребёнка, был принят равным 117 тыс. руб.

Мы предположили, что отклик повозрастной рождаемости будет продолжаться в i -й возрастной группе T_i^* лет, за которые фактический прирост коэффициента рождаемости достигнет не менее 95% максимального прироста, т. е.

$$1 - e^{-\frac{T_i^*}{v_i}} = 0,95. \quad (5)$$

Из выражения 5 следует, что

$$v_i = -T_i^* / \ln(0,05). \quad (6)$$

Далее были оценены параметры $\alpha_i(t)$ и α_i по следующим формулам:

$$\alpha_i(t) = \frac{y_i(t)}{x'_i \left(1 - e^{-\frac{T_i^*}{v_i}}\right)}, \quad (7)$$

$$\alpha_i = \frac{\sum_{t=1}^{T_i^*} \alpha_i(t)}{T_i^*}. \quad (8)$$

При этом T_i придавались значения от 7 до 10 лет, с шагом в четверть года. Параметр T_i^* обеспечивал минимальную сумму отклонений расчётных коэффициентов рождаемости в i -й возрастной группе от фактических. Таким образом, при оценке параметров модели (1) мы придерживались кусочно-оптимальной тактики.

Оценки параметров модели (1) представлены в табл. 1, а результаты расчётов по моделям – в табл. 2.

Таблица 1

Оценки параметров модели (1) для Российской Федерации по данным за период с 2006 по 2016 гг.

Возрастная группа	x'_i , тыс. руб.	T_i^* , лет	v_i^* , лет	α_i %/ тыс. руб.
25–29 лет	117	9	3,00427	0,26285
30–34 года		10	3,33808	0,27960
35–39 лет		10	3,33808	0,16141

Из табл. 1 следует, что максимальный прирост рождаемости в расчёте на тыс. руб. государственных расходов на одну женщину может составить 0,2796% в возрастной группе 30–34 года. Действительно, это возраст, в котором осознанно принимается решение о рождении второго ребёнка. Немного меньше прирост рождаемости в возрастной группе 25–29 лет, а в возрастной группе 35–39 лет он уже на 73% меньше по сравнению с приростом в возрастной группой 30–34 года.

Прирост рождаемости во всех возрастных группах наблюдался уже в 2007 г. и составил в группах 25–29 лет и 30–34 года соответственно 8,5 и 7,5‰. Как того и следовало ожидать, несколько ниже он был в возрастной группе 35–39 лет (4,1‰). Максимальный прирост рождаемости в возрастной группе 25–29 лет реализовался в 2015 г., далее рождаемость стала уменьшаться. В возрастных группах 30–34 года и 35–39 лет максимальный прирост рождаемости был достигнут в 2016 г., т. е. на год позже, чем в группе 25–29 лет.

Таблица 2

**Фактические и расчётные приросты повозрастной рождаемости
в Российской Федерации за период с 2006 по 2016 гг., ‰**

Возрастная группа		Годы									
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
25–29 лет	факт.*	8,5	14,0	17,5	20,8	21,4	28,2	29,4	31,8	34,4	
	расч.	8,7	14,9	19,4	22,6	24,9	26,6	27,8	28,6	29,2	
30–34 года	факт.	7,5	13,4	17,0	20,7	21,6	27,7	29,6	33,2	36,4	37,8
	расч.	8,5	14,7	19,4	22,8	25,4	27,3	28,7	29,7	30,5	31,1
35–39 лет	факт.	4,1	7,2	9,0	11,4	12,8	16,3	18,2	20,4	21,2	22,4
	расч.	5,3	9,2	11,9	13,9	15,3	16,3	17,0	17,6	17,9	18,2

*Фактические приросты рассчитаны по Демографическому ежегоднику России, 2017 [1, с. 64]

Анализ табл. 2 показывает, что в период с 2007 по 2013 гг. модель достаточно точно аппроксимирует приросты рождаемости. Однако в 2014–2016 гг. наблюдается заметное расхождение между фактическими и расчётными показателями. В частности, в 2016 г. в возрастной группе 35–39 лет оно составило более 21% (максимальное расхождение). Заметим, что фактические приросты оказались больше, чем прогнозные. Таким образом, расчёты на долгосрочный период нуждаются в соответствующей корректировке.

Предложенный нами кибернетический подход к моделированию рождаемости может успешно использоваться для построения среднесрочных прогнозов рождаемости с учётом мер государственной политики по поддержке семей с детьми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демографический ежегодник России. 2017: стат. сб. М.: Росстат, 2017. 263 с.
2. Дорохина Е.Ю., Маркелова Н.А. Прогнозирование динамики возрастной структуры населения Москвы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 5–4. С. 682–683.
3. Дорохина Е.Ю., Маркелова Н.А. Современные подходы к прогнозированию воспроизводства населения // ECONOMICS, LAW, SOCIETY: RESUME OF 2016. The International Scientific and Practical Web-Congress of Economists and Jurists. ISAE “Consilium”. [2016].
4. Маркелова Н.А. Проблемы воспроизводства населения регионов Российской Федерации // Проблемы современных интеграционных процессов и пути их решения: сборник статей Международной научно-практической конференции, Киров, 23 мая 2016 г. Т. 1. Ч. 1. Уфа: ОМЕГА-САЙНС, 2016. С. 127–129.
5. Путин: В предстоящие десятилетия необходимо обеспечить устойчивый рост численности населения России [Электронный ресурс] // ОНФ: [сайт]. [01.03.2018]. URL: <https://onf.ru/2018/03/01/putin-v-predstoyashchie-desyatiletia-neobhodimo-obespechit-ustoychivyy-rost-chislennosti> (дата обращения: 30.04.2018).
6. Федеральный закон от 29.12.2006 № 256-ФЗ (последняя редакция) «О дополнительных мерах государственной поддержки семей, имеющих детей» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: справочная правовая система: [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64872 (дата обращения: 30.04.2018).

7. Alders M., Beer J. de Assumptions on Fertility in Stochastic Population Forecasts // *International Statistical Review*. 2004. Vol. 72. No. 1. P. 65–79.
8. Alho J.M., Spencer B.D. *Statistical Demography and Forecasting*. New York: Springer-Verlag Inc., 2005. 431 p.
9. Girosi F., King G. *Demographic Forecasting*. Princeton: Princeton University Press, 2008. 272 p.
10. Hyndman R.J., Booth H. Stochastic population forecast using functional data models for mortality, fertility and migration // *International Journal of Forecasting*. 2008. Vol. 24. No. 3. P. 323–342.
11. Keyfitz N., Caswell H. *Applied Mathematical Demography*. Springer Science+Business Media Inc., 2005. 558 p.
12. Peristera P., Kostaki A. Modeling fertility in modern populations // *Demographic Research*. 2007. No. 16. P. 141–194.
13. Schmertmann C.P. A system of model fertility schedules with graphically intuitive parameters // *Demographic Research*. 2003. Vol. 9. No. 5. P. 81–110.
14. Schmitt Ch. The Effects of Labour Market Participation on Fertility Decisions: Gender Differences in Cross-National Perspective [Электронный ресурс] // PUB: [сайт]. URL: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn:nbn:de:hbz:361-14772> (дата обращения: 18.03.2018).
15. Swanson D.A., Siegel J.S. *The Methods and Materials of Demography*. Academic Press, 2004. 819 p.

REFERENCES

1. *Demograficheskii ezhegodnik Rossii. 2017* [Demographic Yearbook of Russia. 2017]. Moscow, Rosstat Publ., 2017. 263 p.
2. Dorokhina E.Yu., Markelova N.A. [Forecasting the Dynamics of the Age Structure of Moscow Population]. In: *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2016, no. 5–4, pp. 682–683.
3. Dorokhina E.Yu., Markelova N.A. [Modern Approaches to Forecasting Population Reproduction]. In: *ECONOMICS, LAW, SOCIETY: RESUME OF 2016. The International Scientific and Practical Web-Congress of Economists and Jurists ISAE "Consilium"*, 2016.
4. Markelova N.A. [Problems of Population Reproduction in the Russian Regions]. In: *Problemy sovremennykh integratsionnykh protsessov i puti ikh resheniya: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kirov, 23 maya 2016 g. T. 1. Ch. 1.* [The Problems of Modern Integration Processes and Ways of Solving Them: the Proceedings of International Scientific-Practical Conference, Kirov, May 23, 2016 Vol. 1. Part 1.]. Ufa: OMEGA-SAYNS Publ., 2016, pp. 127–129.
5. [Putin: a Sustainable Growth of the Population of Russia Must be Ensured in the Forthcoming Decade]. In: *ONF*, 01.03.2018. Available at: <https://onf.ru/2018/03/01/putin-v-predstoyashchie-desyatiletia-neobhodimo-obespechit-ustoychivyy-rost-chislennosti> (accessed: 30.04.2018).
6. [Federal Law "dated 29.12.2006 No. 256-FZ (the latest version) On Additional State Measures to Support Childbearing Families"]. In: *Konsul'tantPlyus: spravochnaya pravovaya sistema* [ConsultantPlus: Reference Legal System]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64872 (accessed: 30.04.2018).
7. Alders M., Beer J. de Assumptions on Fertility in Stochastic Population Forecasts. In: *International Statistical Review*, 2004, vol. 72, no. 1, pp. 65–79.

8. Alho J.M., Spencer B.D. Statistical Demography and Forecasting. New York; Springer-Verlag Inc., 2005. 431 p.
9. Girosi F., King G. Demographic Forecasting. Princeton, Princeton University Press, 2008. 272 p.
10. Hyndman R.J., Booth H. Stochastic population forecast using functional data models for mortality, fertility and migration. In: *International Journal of Forecasting*, 2008, vol. 24, no. 3, pp. 323–342.
11. Keyfitz N., Caswell H. Applied Mathematical Demography. Springer Science+Business Media Inc., 2005. 558 p.
12. Peristera P., Kostaki A. Modeling fertility in modern populations. In: *Demographic Research*, 2007, no. 16, pp. 141–194.
13. Schmertmann C.P. A system of model fertility schedules with graphically intuitive parameters. In: *Demographic Research*, 2003, vol. 9, no. 5, pp. 81–110.
14. Schmitt Ch. The Effects of Labour Market Participation on Fertility Decisions: Gender Differences in Cross-National Perspective. In: PUB: Available at: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn:nbn:de:hbz:361-14772> (accessed: 18.03.2018).
15. Swanson D.A., Siegel J.S. The Methods and Materials of Demography. Academic Press, 2004. 819 p.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект «Разработка стратегий перехода России к расширенному воспроизводству населения», № 18-010-00513.

ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Foundation for Basic Research, the project «Designing Strategies for Russia's Transfer to Extended Reproduction of Population» No. 18-010-00513.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дорохина Елена Юрьевна – доктор экономических наук, профессор Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова;
e-mail: elena_dorokhina@mail.ru

Маркелова Нелля Александровна – аспирант Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова;
e-mail: semina_nellya@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena Yu. Dorokhina – Doctor of Economics, professor, Plekhanov Russian University of Economics;

e-mail: elena_dorokhina@mail.ru

Nellya A. Markelova – postgraduate student, Plekhanov Russian University of Economics;

e-mail: semina_nellya@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Дорохина Е.Ю., Маркелова Н.А. Использование кибернетического подхода к моделированию повозрастной рождаемости // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2018. № 2. С. 51–60

DOI: 10.18384/2310-6646-2018-2-51-60

FOR CITATION

Dorokhina E.Yu, Markelova N.A. The Use of the Cybernetic Approach to Modeling Age-Related Birth Rates. In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics*, 2018, no. 2, pp. 51–60

DOI: 10.18384/2310-6646-2018-2-51-60