

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

© С. И. Спивак¹, И. Р. Салахов^{1*}, О. Г. Кантор²

¹Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450074 г. Уфа, ул. Фрунзе, 32.

²Институт социально-экономических исследований УНЦ РАН
Россия, Республика Башкортостан, 450054 г. Уфа, пр. Октября, 71.

Тел.: +7 (347) 235 55 33.

*Email: salah-off@mail.ru

В данной работе предложен подход к организации информационной поддержки управления при моделировании и прогнозировании численности населения, который позволяет исследователю получить адекватные точечные прогнозные оценки, интервальные прогнозные оценки и оценить их воздействие на объект управления.

Ключевые слова: системная динамика, управление в социальных и экономических системах, точечные и интервальные прогнозные оценки.

Дж. Форрестер писал следующее о системах с обратной связью: «Система с обратной связью существует там, где окружающая среда приводит к принятию решения, вызывающего действие, которое само влияет на окружающую среду и, значит, на дальнейшие решения» [1].

Таким образом система с обратной связью представляет из себя пространство, в котором формируются взаимозависимости управляющих параметров системы, где изменение каких-либо факторов или показателей влечет изменения в исследуемом процессе (рис. 1).

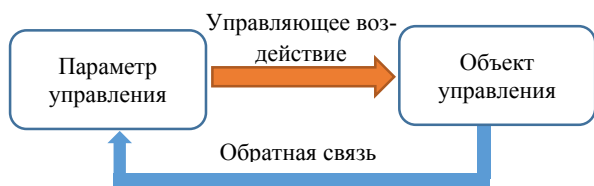


Рис. 1. Схема взаимодействия системы с обратной связью.

Как мы и говорили, во всех этих системах новые результаты приводят к новым решениям и изменениям, данный процесс непрерывен, система находится в постоянном движении. На практике не всегда удается сразу построить устойчивую модель подобной системы. Даже после применения целого комплекса численных методов и анализов при настройке модели, система не защищена от неустойчивых колебаний. Поэтому значительный объем времени всей проделанной работы занимает не построение модели системы с обратной связью, а ее исследование на предмет устойчивости. Именно исследованием и выявляются способы и методы управления системой с обратной связью, где не маловажную роль играет имеющаяся информация. По результатам исследований становится понятным, на сколько корректировка каких-либо параметров в системе вызывает неустойчивость поведения. В реальных системах это означает, каким образом суммарный результат от принятых решений и принимаемых действий могут вызвать недопустимые колебания.

Так или иначе, в любой системе решения принимаются на основе имеющихся фактических данных. По сути, практически любая система является системой с обратной связью, будь то процесс общественный, производственный, экономический, социальный, и определяющими в поведении этих систем будут взаимозависимости соответствующих параметров.

На рис. 2 представлена схема управления демографическим процессом страны в целом. Здесь четко прослеживается взаимодействие элементов системы с обратной связью, где есть и объект управления (численность населения – N), и параметры управления (душевые доходы – D и индекс потребительских цен – I). Как уже говорилось, стратегическое планирование рассматриваемых показателей строится на имеющихся статистических данных. Если же имеются отклонения от фактических значений, то они анализируются, и принимается соответствующее решение об управленческом воздействии на какой-либо из показателей D и I . Однако, смоделировать демографический процесс достаточно непросто. Как правило, неизвестны закономерности взаимозависимостей переменных, данные могут быть искаженными, а учесть все влияющие внешние и внутренние факторы просто невозможно. Демографический процесс – сложная система нелинейных связей, которую следует рассматривать в динамике.

В процессе поддержки принятия управленческого решения были выделены наиболее значимые этапы, в описании которых постараемся изложить суть подхода к задаче организации информационной поддержки (рис. 3).

Одной из основных проблем прогнозирования и моделирования сложных систем, в том числе демографических процессов, является поиск адекватной модели относительно исследуемых объектов, а также оценка степени ее адекватности. Решение данной проблемы заключается в поиске набора параметров модели и ее структуры, обеспечивающих ситуацию, при которой значения расчетных данных исследуемых переменных не отличаются от значений экспериментальных данных, соответствующих статистическим, больше чем на установленную величину. Допустимые погрешности оцениваются исходя из характера исследуемых переменных. Подобные задачи также называют идентификационными, решение которых традиционными подходами может приводить к некорректным задачам, неустойчивым и плохо обусловленным. Исходя из этого, поиск методов и алгоритмов решения подобных задач, позволяющих преодолеть проблему неустойчивости, необходимо для развития возможностей моделирования и прогнозирования как демографических, так и любых сложных экономических, социальных, политических и других процессов, имеющих сложную нелинейную структуру. Логика разработанного подхода описана на рис. 4.

Алгоритм программы, реализующий разработанный подход в среде Delphi, представлен на схеме 1. Каждый элемент алгоритма представляет собой отдель-



Рис. 2. Схема управления демографическим процессом.

ный модуль, разработанный с использованием различных процедур и функций. Далее описаны логические структуры каждого разработанного модуля.



Рис. 3. Жизненный цикл процесса принятия управленческого решения.

Для перехода от гипотетического вида модели, заданного с помощью параметров, к реальным значениям необходимо задать начальное приближение. Модели социальных и экономических систем имеют слабую структурированность, поэтому начальное приближение вероятнее всего будет далеко от критериев оптимальности [2]. В данном случае начальное приближение предлагается задавать с помощью методов эконометрического моделирования. В результате получена модель (1)–(3), графическая иллюстрация результатов численного интегрирования полученной модели представлена на рисунке 5, где A_N, A_D, A_I – средняя ошибка аппроксимации.

$$\Delta N = 8.139 \cdot 10^{-22} \cdot N^{0.05} \cdot S^2 - 64.01 \cdot N^{0.03} \cdot S^{0.3} \quad (1)$$

$$\Delta D = 108.17 \cdot D^{0.35} - 638.87 \cdot I \quad (2)$$

$$\Delta I = 1.23 \cdot I^{-0.5} - 0.0933 \cdot S^{0.08} \quad (3)$$

При каждом уточнении параметров модели или ее изменении необходимо оценивать ее качество и адекватность с точки зрения соответствия экспериментальным данным. Для этого проводилось численное инте-

грирование полученной системы модели. По результатам интегрирования оценивалось качество модели как на основе значений средних ошибок аппроксимации, так и графически (этапы 2 и 3 схемы подхода, рис. 4) [3].

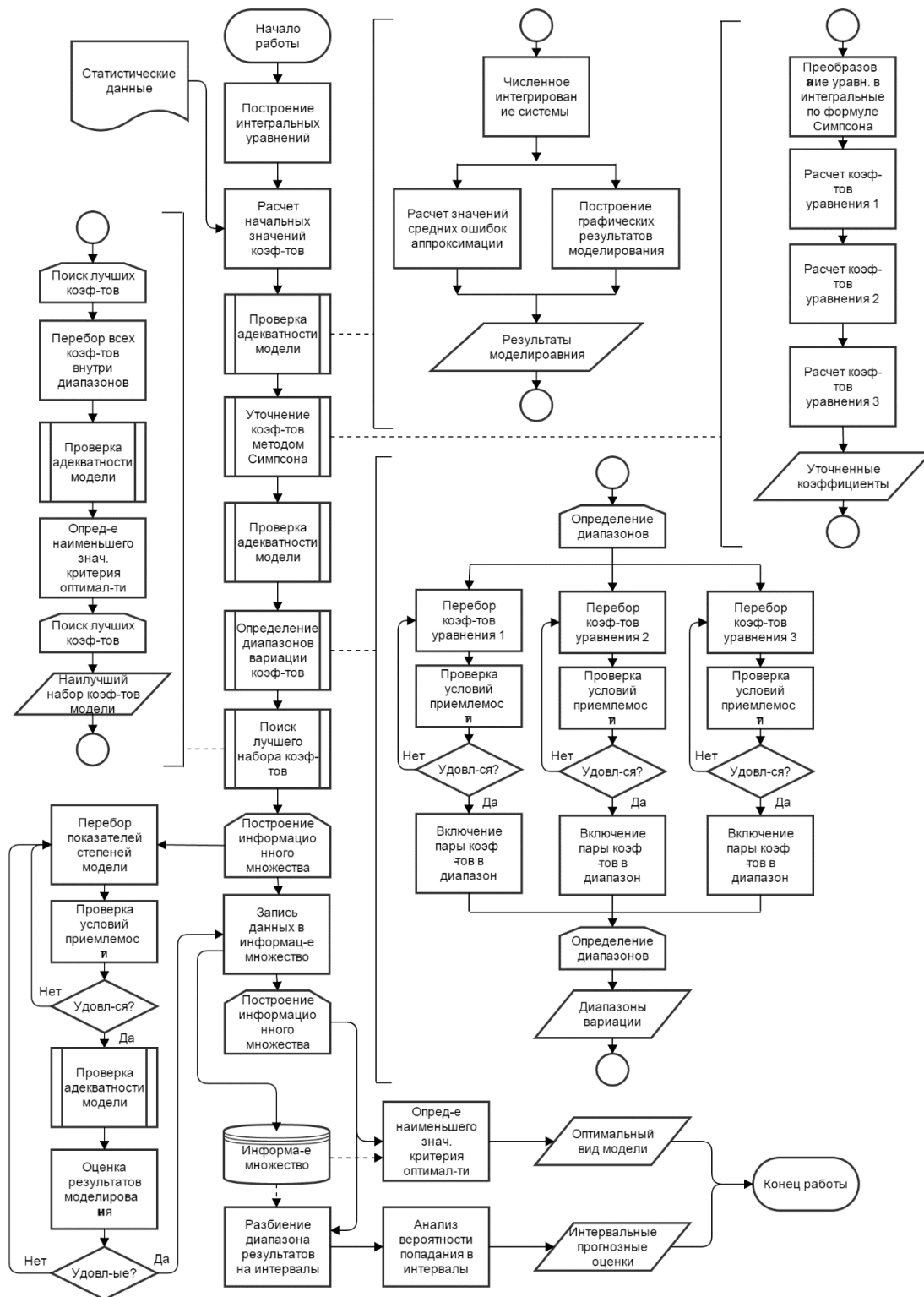


Рис. 4. Графическое изображение логической схемы разработанного подхода.

На следующем этапе проводилось уточнение отдельных линейных коэффициентов системы с помощью метода Симпсона (этап 4 схемы подхода, рис. 4). Принимаемая уточняемый элемент за переменную величину, а остальные за фиксированные, и, интегрируя правую часть уравнения по приближенной формуле Симпсона, получим необходимое значение.

Далее для более тонкого уточнения и рассмотрения параметров модели в совокупности, а не по отдельности как на предыдущем этапе, определялись диапазоны вариации коэффициентов, внутри которых модель отвечает критериям оптимальности. После чего проводился перебор значений параметров внутри получен-

Схема 1. Алгоритм программы



ных диапазонов для подбора наилучшего набора коэффициентов уравнений модели (этапы 5 и 6 схемы подхода, рис. 4) [4].

При переборе показателей степеней переменных модели (этап 7, рис. 4), полученная комбинация оценивалась на соответствие ряду условий, на основе чего формировалось информационное множество (этап 8, рис. 4), одна запись которого представляет из себя ряд интересующих данных о параметрах модели, значениях

отклонений и прогнозных значениях переменных.

На основе анализа информационного множества могут решаться поставленные перед исследователем задачи. Это может быть поиск наиболее оптимального набора параметров модели (этап 9, рис. 4), расчет интервальных прогнозных оценок (этап 10, рис. 4), исследование демографического процесса на предмет возможности обеспечить необходимый прирост и другие задачи управления.

В результате применения разработанного комплекса получена модель (4)–(6), графическая иллюстрация результатов численного интегрирования полученной модели представлена на рис. 6.

$$\frac{dN}{dt} = 8.139 \cdot 10^{-22} \cdot N^{0.05} \cdot S^2 - 64.1 \cdot N^{0.03} \cdot S^{0.3}, \quad (4)$$

$$\frac{dD}{dt} = 560 \cdot D^{0.35} - 9900 \cdot I, \quad (5)$$

$$\frac{dI}{dt} = 0.131 \cdot I^{-0.4} - 0.0072 \cdot S^{0.092}. \quad (6)$$

Важным итогом реализации разработанной в рамках десятого этапа алгоритма процедуры явилась возможность расчета вероятностных оценок [3] прогнозируемых значений величины численности населения Российской Федерации на 2010 г. (рис. 7).

Так, например, уровень вариации прогнозируемого значения численности населения Российской Федерации на 2010 г. в размере 0.6% от фактического значения данного показателя в 2009 г. (141.9 млн чел.) можно было ожидать с вероятностью 0.35.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форрестер, Дж. Динамика развития города / Дж. Форрестер. М.: Прогресс, 1974. 286 с.
2. Спивак С. И., Кантор О. Г., Салахов И. Р. Оценка параметров моделей системной динамики // Журнал Средневолжского математического общества. 2011. Т. 13. №3.
3. Спивак С. И., Кантор О. Г., Салахов И. Р. Моделирование численности населения РФ методом системной динамики // Статистика. Моделирование. Оптимизация. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 339 с.
4. Kantor O. G., Salahov I. R. Estimation of Model Parameters / Book of Abstract 15th GAMM-IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetics and Verified Numerics SCAN'2012. Novosibirsk, September 23–29, 2012. Institute of Computational Technologies, Novosibirsk, 2012. С. 151–152.

Поступила в редакцию 20.08.2015 г.

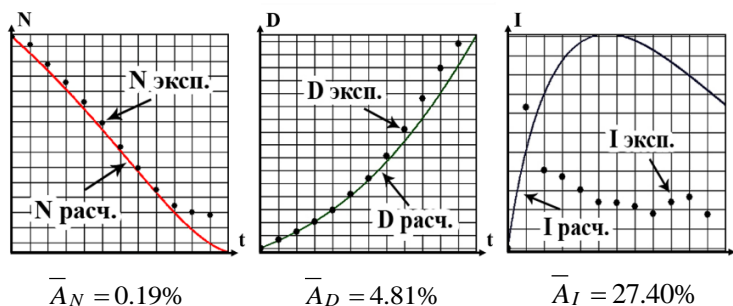


Рис. 5. Графическая иллюстрация результатов численного интегрирования системы (1)–(3).

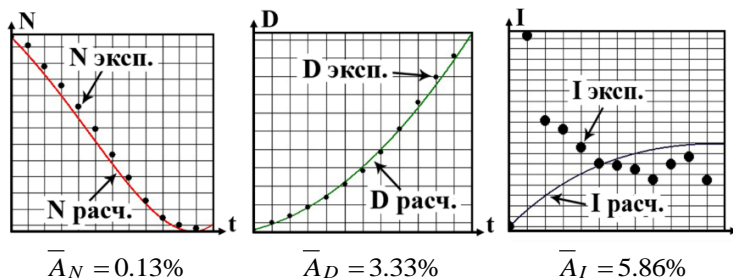


Рис. 6. Графическая иллюстрация результатов численного интегрирования системы (4)–(6).

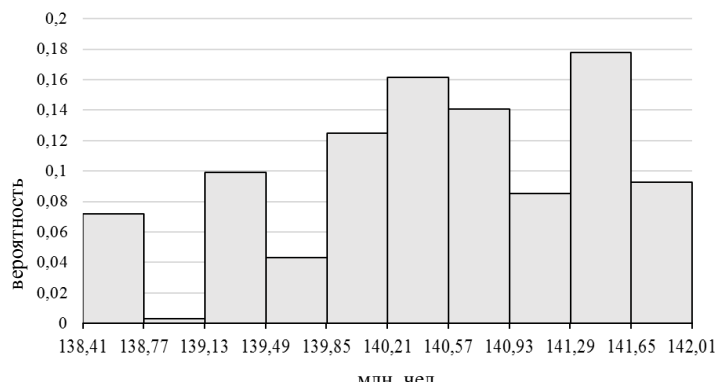


Рис. 7. Гистограмма прогнозной оценки численности населения РФ на 2010 г.

INFORMATION SUPPORT OF POPULATION MODELING

© S. I. Spivak¹, I. R. Salakhov^{1*}, O. G. Kantor²¹Bashkir State University

32 Zaki Validi St., 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.

²Institute for Social and Economic Research

71 Oktyabrya Ave., 450054 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.

Phone: +7 (347) 235 55 33.

*Email: salah-off@mail.ru

In this article, an approach to the organization of information management support for modeling and forecasting of the Russian Federation population is proposed, which allows the researcher to obtain adequate point forecast estimates, interval forecast estimates and assess the impact of exposure to object of management. The developed complex software capable to produce at relatively low use of hardware and time resources hundreds of millions iterations of required solutions search. As a result, the researcher gets the information set, which containing a wide list of the necessary data, analyzing which can solve tasks of forecasting, modeling, identification, decision-making, management, and open new lines of research of this issue. The software consists of tool set of mathematical modeling and numerical algorithms (Runge-Kutta method, Simpson's rule and other). In this article, we propose an approach to constructing models of system dynamics based on the use of econometric modeling methods, approximate and numerical methods of integration and series of numerical experiments, which would allow the researcher to carry out a phased process of adjusting the model in terms of an adequate description of experimental data.

Keywords: *system dynamics, management of social and economic systems, point and interval forecast estimates.*

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Forrester, Dzh. Dinamika razvitiya goroda [Dynamics of city development] / Dzh. Forrester. Moscow: Progress, 1974.
2. Spivak S. I., Kantor O. G., Salakhov I. R. Zhurnal Srednevolzhskogo matematicheskogo obshchestva. 2011. Vol. 13. No. 3.
3. Spivak S. I., Kantor O. G., Salakhov I. R. Statistika. Modelirovanie. Optimizatsiya. Chelyabinsk: Izdatel'skii tsentr YuUrGU, 2011.
4. Kantor O. G., Salakhov I. R. Estimation of Model Parameters / Book of Abstract 15th GAMM-IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetics and Verified Numerics SCAN'2012. Novosibirsk, September 23–29, 2012. Institute of Computational Technologies, Novosibirsk, 2012. Pp. 151–152.

Received 20.08.2015.