

**А. З. ПОДГОРНЫЙ, А. Г. ЯНКОВОЙ, Е. В. КОРОБКИНА,
Т. В. ПОГОРЕЛОВА**

КОМПЛЕКСНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Предлагается новый подход к прогнозированию уровней рождаемости, смертности и естественного прироста населения на основе трендовых моделей и принципа баланса переменных. Приводятся результаты прогнозирования показателей естественного движения населения Одесской области.

Одной из актуальных проблем в демографических исследованиях по-прежнему остается поиск и совершенствование имеющихся методов прогнозирования параметров естественного движения населения. При этом особое значение приобретает сбалансированность получаемых прогнозных оценок или, по крайней мере, их непротиворечивость.

Существует ряд практических подходов, позволяющих довольно успешно решать указанную проблему и получать удовлетворительные результаты экстраполяции трендов демографических показателей. Это, прежде всего, качественный анализ изучаемого процесса, охватывающий его внутреннюю логику и механизм формирования во взаимосвязи с другими явлениями и условиями. Однако возможности такого анализа обычно ограничены. Он позволяет вскрыть характер динамики показателей естественного движения населения в самых общих чертах, что чаще всего недостаточно для обоснованного выбора формы тренда. Поэтому качественный анализ, являясь содержательной основой прогнозирования, дополняется исследованием эмпирических данных о рождаемости, смертности и естественном приросте населения.

В статистической науке разработан ряд методов (графический анализ, расчет последовательных разностей и характеристик прироста), которые обладают определенными достоинствами и недостатками и часто дают вполне удовлетворительные результаты при прогнозировании демографических показателей, рассматриваемых изолированно [4]. Однако ситуация принципиально изменяется, когда осуществляется одновременный прогноз нескольких взаимозависимых переменных типа численность всего населения, мужчин и женщин; уровни рождаемости, смертности и естественного прироста населения и т. п.

В демографических исследованиях такие показатели преобладают, поскольку различные стороны процесса воспроизводства населения тесно взаимоувязаны, образуют единый комплекс развивающихся во времени явлений и процессов общественной жизни. В этом случае приведенные выше методы выбора формы трендов не исключают опасности получения ошибочного, "расходящегося" прогноза, нарушающего основополагающие качественные соотношения и взаимосвязи. Как бы ни были глубоко и

тщательно разработаны приемы экстраполяции отдельных изолированных рядов динамики, они не могут застраховать от получения "веера" прогнозов, отличающегося абсурдностью предсказываемых значений изучаемых признаков с точки зрения их внутренней зависимости.

Во избежание отмеченных недостатков при комплексном статистическом прогнозировании демографических показателей, между которыми имеются объективные взаимосвязи, мы предлагаем выбор формы трендов осуществлять на основе принципа баланса переменных. Он может быть сформулирован следующим образом: окончательный вывод о приемлемости тех или иных форм кривых определяется степенью соблюдения для прогнозируемых значений демографических показателей некоторого балансового соотношения, справедливого для периода предыстории.

Рациональность такого подхода не вызывает сомнения, ибо о будущем мы знаем точно только то, что в нем сохранятся те же взаимосвязи между признаками, которые имели место в прошлом и в настоящем. Принцип баланса переменных выполняет роль внешнего дополнения, несущего новую информацию об изучаемом демографическом процессе. Это означает, что он может и должен применяться наряду с уже разработанными статистической теорией и апробированными на практике методами выбора форм трендов.

По своему содержанию принцип баланса переменных является главным по всей совокупности принципов статистического прогнозирования, так как он базируется на абсолютно достоверной информации о будущем состоянии демографической системы: каковы бы ни были отдельные значения переменных, для них должен соблюдаться определенный баланс, вытекающий из сущности изучаемых признаков. Поэтому критерии, построенные на основе принципа баланса переменных, должны занимать приоритетное положение в иерархии критериев отбора форм трендов. Удовлетворение им является необходимым и достаточным условием получения наиболее точных и достоверных прогнозов.

Принцип баланса переменных впервые был выдвинут в теории самоорганизации (одно из направлений технической кибернетики, возглавляемое академиком А. Г. Ивахненко) при моделировании сложных вероятностных систем с помощью метода группового учета аргументов [1, 2]. Интересные результаты применения принципа баланса переменных и построенных на его основе критериев в сфере экономики и демографии приведены в работах [3, 5, 6]. Рассмотрим его использование на примере среднесрочного прогнозирования показателей рождаемости Y_1 , смертности Y_2 и естественного прироста Y_3 населения Одесской области по данным за 1960-1989 гг. (рис. 1).

Очевидно, что для данных показателей справедливо соотношение

$$Y_3 = Y_1 - Y_2, \quad (1)$$

которое далее будем называть исходным балансовым соотношением. Оно выражает внутреннюю взаимосвязь изучаемых демографических показателей.

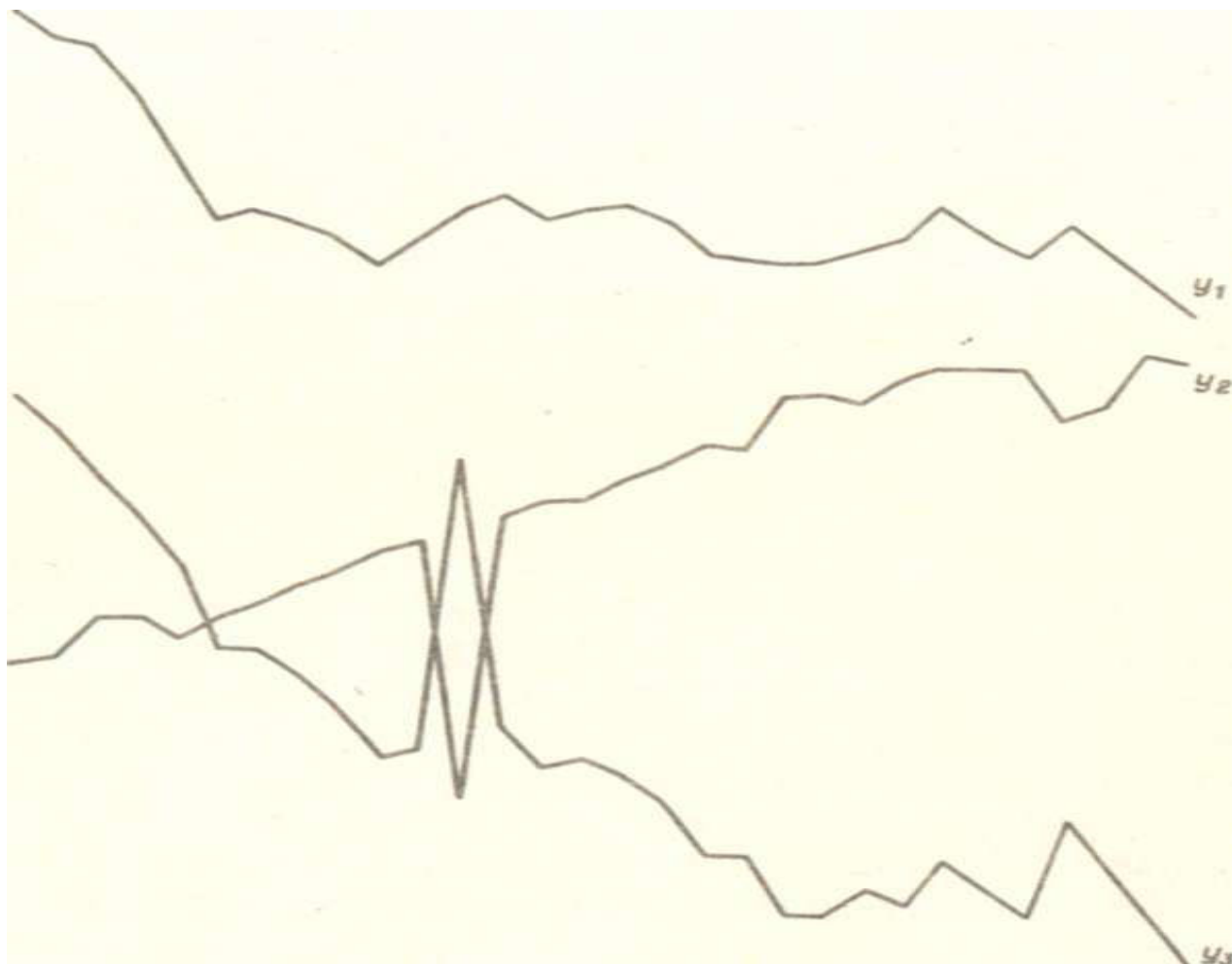


Рис. 1. Общие коэффициенты рождаемости, смертности и естественного прироста населения Одесской области за 1960-1989 гг.

Естественный прирост населения, характеризующий в обобщенном виде жизненный уровень народа, демографическую ситуацию и социально-политическое положение трудящихся в стране, определяется как разность между показателями рождаемости и смертности. Их ряды динамики, взятые за период предыстории, можно представить с помощью трендовых моделей типа

$$Y_i = f_i(t) + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где t — фактор времени; ε_i — случайная компонента. Тогда процесс прогнозирования состоит из четырех основных стадий.

1. *Определение возможных функций-кандидатов*, наиболее точно описывающих динамику изучаемых демографических показателей. На этой стадии широко применяются традиционные методы статистического моделирования: качественный демографический анализ, визуальное изучение графиков, расчет последовательных разностей и других параметров, включая критерии математической статистики. В результате на первой стадии из всего перечня отбирается несколько главных, наиболее адекватных процессам рождаемости, смертности и естественного прироста.

Так, визуальный анализ графиков рядов динамики Y_1 , Y_2 , Y_3 показал, что для них характерно наличие криволинейных (монотонно возрастающих для смертности и убывающих для рождаемости и естественного прироста населения) тенденций, которые на коротких отрезках времени достаточно хорошо аппроксимируются прямой линией (рис. 2).

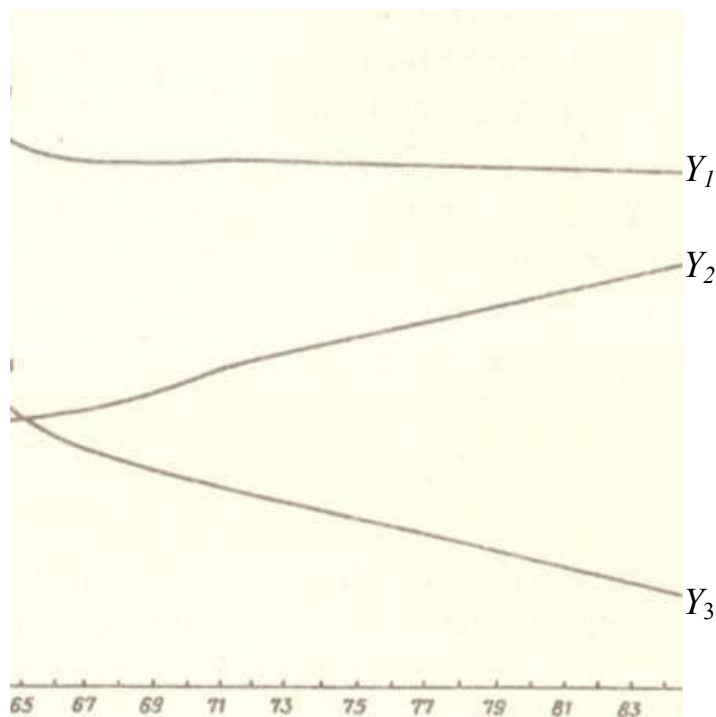


Рис. 2. Тренды общих коэффициентов рождаемости, смертности и естественного прироста населения за 1963-1989 гг. и прогноз до 1995 г.

Поэтому для их описания использовались следующие функции: 1) линейная; 2) парабола 2-й степени; 3) гипербола; 4) линейно-гиперболическая; 5) экспонента; 6) линейно-логарифмическая; 7) степенная; 8) 1-я функция Торнквиста; 9) логистическая. Анализ статистических критериев построенных уравнений позволил выделить 17 трендов, наиболее точно описывающих изучаемые демографические показатели (табл. 1).

2. *Последовательный перебор ограниченного числа функций*, выделенных на предыдущей стадии. В качестве оценки каждой комбинации прогнозных трендов выступает степень соблюдения исходного балансового соотношения для всех точек периода упреждения. Их число определяется произведением $n_1 n_2 n_3$ (n_i — количество первоначально выделенных функций для соответствующего взаимосвязанного показателя). В данном примере оно равняется $8 \times 4 \times 5 = 160$.

Наилучшая комбинация (предиктор) соответствует минимальному значению критерия баланса переменных:

$$B_j = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} (\hat{Y}_{3t} - \hat{Y}_{1t} - \hat{Y}_{2t})^2}{\sum_{t_1}^{t_2} \hat{Y}_{3t}^2}, \quad (3)$$

где $t_1 - t_2$ – период упреждения.

Таблица 1

Наиболее точные тренды, описывающие динамику показателей
естественного движения населения Одесской области

№ п/п	Уравнение тренда	Средняя ошибка аппроксими- зации	Критерий Дарбина- Уотсона	Коэффициент множествен- ной детер- минации (R^2)	Критерий Фишера (F)
Рождаемость (Y_1)					
1.	$Y = 17,036 - 0,105 t$	0,050	0,312	0,474	25,254
2.	$Y = 18,515 - 0,383 t + 0,009 t^2$	0,040	0,498	0,679	28,499
3.	$Y = 14,629 + 5,815 t^{-1}$	0,035	0,872	0,694	63,625
4.	$Y = 15,391 - 0,039 t + 4,656 t^{-1}$	0,036	0,817	0,733	36,974
5.	$Y = 18,772 - 1,354 \ln t$	0,037	0,559	0,731	76,094
6.	$Y = 2,936 t^{-0,083}$	0,036	0,600	0,746	82,064
7.	$Y = 0,068 t (-0,021 + t)^{-1}$	0,038	0,965	0,608	43,446
8.	$Y = 0,012 (1 + 0,832 e)^{-1}$	0,036	0,468	0,689	62,152
Смертность (Y_2)					
1.	$Y = 6,816 + 0,202 t$	0,072	1,777	0,758	87,895
2.	$Y = 6,489 + 0,263 t - 0,002 t^2$	0,068	1,807	0,763	43,406
3.	$Y = 6,749 + 0,204 t + 0,189 t^{-1}$	0,072	1,779	0,759	42,422
4.	$Y = 1,947 e^{0,021 t}$	0,081	1,659	0,740	79,844
Естественный прирост (Y_3)					
1.	$Y = 10,220 - 0,307 t$	0,232	1,146	0,795	108,600
2.	$Y = 12,027 - 0,647 t + 0,011 t^2$	0,167	1,606	0,855	79,757
3.	$Y = 8,642 - 0,243 t + 4,465 t^{-1}$	0,177	1,546	0,842	71,939
4.	$Y = 2,463 e^{-0,059 t}$	0,158	1,571	0,853	162,061
5.	$Y = 13,607 - 3,272 \ln t$	0,176	1,541	0,844	150,980

B_j характеризует суммарный относительный разбаланс комплексного прогноза изучаемых показателей естественного движения населения. Чем ближе он к нулю, тем правильнее выбран предиктор и наоборот. Следовательно, критерий (3) позволяет осуществить оптимизацию определения предиктора на множестве первоначально выделенных функций. Если на первой стадии не пропущена ни одна пригодная функция, достаточно точно описывающая динамику исследуемых показателей, то множество значений B_j по мере перебора форм трендов обязательно проходит через минимум, определяющий оптимальную комбинацию.

В нашем примере для 5 точек периода упреждения (1991-1995 гг.) был осуществлен расчет всех значений критерия (3). В табл. 2 приведены наименьшие значения B_j , определяющие лучшие комбинации трендов рождаемости, смертности и естественного прироста населения.

Данные табл. 2 показывают, что наиболее сбалансированный прогноз дает комбинация 4-3-3 (см. № п/п в табл. 1), когда динамика всех трех показателей описывается линейно-гиперболической функцией. На втором месте по точности стоит комбинация 1-1-1 (линейная функция), но показатель ее разбалансированности в 1,5 млн. раз выше, чем у варианта линейно-гиперболического прогноза. Отметим, что в тройку лучших попала также и параболическая комбинация 2-2-2, т. е. наиболее точная аппроксимация при комплексном прогнозировании достигается, по-видимому, в случае одновременного использования одинаковых форм связи.

Таблица 2

Минимальные значения критерия баланса переменных для комбинаций трендов показателей естественного движения населения Одесской области

Комбинации трендов	4-3-3	1-1-1	2-2-2	4-1-3	1-3-1
B_j	$1,446 \times 10^{-15}$	$2,174 \times 10^{-9}$	$8,979 \times 10^{-6}$	$3,874 \times 10^{-6}$	$4,277 \times 10^{-6}$

Таким образом, можно сделать вывод: линейно-гиперболическая функция является наиболее адекватной формой трендов для описания динамики показателей естественного движения населения Одесской области.

3. *Выбор оптимальной длины периода предыстории.* Известно, что динамика рождаемости и смертности населения подвержена колебаниям по правилам демографической амортизации. Поэтому очень важно правильно определить длину периода предыстории, уловить современные тенденции, чтобы прогнозируемое значение не противоречило логике демографического развития. С этой целью применяется итеративный метод. Его сущность состоит в образовании новых усеченных с начала рядов динамики путем исключения из исходных рядов S ($S = 1, 2, \dots, n/2$) первых точек. По каждому усеченному ряду строятся трендовые модели, определяются прогнозные значения и находятся величины (3). Иными словами, исследуется поведение критерия баланса переменных при постепенном сокращении длины периода предыстории.

Такой подход позволяет осуществить адаптацию трендового предиктора к новым условиям демографического процесса, освободиться от влияния "старых" наблюдений, усилить роль последних точек ряда динамики, что очень важно при краткосрочном и среднесрочном прогнозировании показателей естественного движения населения.

В табл. 3 приведены значения критерия баланса переменных для линейно-гиперболического предиктора при постепенном исключении исходных рядов динамики S ($S = 0, 1, \dots, 15$) первых точек. Данные табл. 3 показывают, что наиболее сбалансированный линейно-гиперболический прогноз наблюдается при $S = 3$ ($B_3 = 1,197 \times 10^{-16}$), когда период предыстории охватывает 1963-1989 гг. Примерно в 3 раза хуже прогноз при $S = 4$ ($B_4 = 3,653 \times 10^{-16}$) и в 6 раз хуже прогноз при $S = 12$; 1 ($B_{12} = 6,260 \times 10^{-16}$ и $B_1 = 6,750 \times 10^{-16}$). Однако все они точнее исходного прогноза при $S = 0$.

Резкие изменения значений B_S , например, при переходе от $S = 11$ к $S = 12$, свидетельствуют о начале или окончании действия каких-то новых, неучтенных факторов в развитии рождаемости и смертности населения, нарушающих общую эволютарную картину развития.

Таблица 3

Значения критерия баланса переменных при усечении рядов динамики

S	B_S	S	B_S
0	$1,446 \times 10^{-15}$	8	$1,942 \times 10^{-9}$
1	$6,750 \times 10^{-16}$	9	$1,968 \times 10^{-9}$
2	$9,435 \times 10^{-10}$	10	$1,963 \times 10^{-9}$
3	$1,197 \times 10^{-16}$	11	$9,696 \times 10^{-4}$
4	$3,653 \times 10^{-16}$	12	$6,260 \times 10^{-16}$
5	$9,715 \times 10^{-10}$	13	$9,607 \times 10^{-10}$
6	$9,715 \times 10^{-6}$	14	$9,496 \times 10^{-10}$
7	$1,915 \times 10^{-9}$	15	$2,344 \times 10^{-4}$

Рассмотрим полученный в результате расчетов предиктор при $S = 3$ (за 1963-1989 гг.):

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_1 = 14,72963 - 0,00675 t + 2,78854 t^{-1} \\ Y_2 = 7,25291 + 0,20988 t + 0,21443 t^{-1} \\ Y_3 = 7,47707 - 0,21665 t + 2,57339 t^{-1} \end{array} \right. \quad (4)$$

Анализируя коэффициенты построенных уравнений, нельзя не отметить очевидной взаимосвязи между ними: коэффициенты тренда, описывающего динамику естественного прироста населения, приближенно равны разности соответствующих коэффициентов трендов, описывающих изменение рождаемости и смертности. В самом деле, расхождения составляют: $\Delta a_0 = 0,00035$; $\Delta a_1 = 0,00002$; $\Delta a_2 = 0,00072$. Отсюда такая высокая сбалансированность выровненных значений переменных и для точек периода упреждения.

Мы считаем, что указанные факты – глубокий минимум критерия $B_j(S)$ и соблюдение исходного балансового соотношения для самих коэффициентов предиктора (4) свидетельствуют о проявлении сложившегося в последние годы линейно-гиперболического закона рождаемости, смертности и естественного прироста населения Одесской области. Этот закон характеризуется монотонным ростом смертности ($a_1 > 0$; $a_2 > 0$) и монотонным снижением рождаемости и естественного прироста населения ($a_1 < 0$; $a_2 > 0$), как это показано на рис. 2.

4. *Определение точечных и интервальных значений прогноза.* Эта стадия завершает процесс комплексного прогнозирования взаимосвязанных демографических показателей и представляет собой обычную экстраполяцию

построенных трендов и расчет доверительных интервалов по известным статистическим формулам (табл. 4).

Таким образом, с вероятностью 95% можно утверждать, что в 1992 г., например, рождаемость в Одесской области будет находиться в пределах 14,2-15,1 ‰, смертность – в пределах 12,7-14,5‰, естественный прирост населения – в пределах 0,03-2,1 ‰.

Таблица 4

Точечный и интервальный прогнозы показателей естественного движения населения Одесской области, ‰ (1 - α = 0,95)

Показатель	1991	1992	1993	1994	1995
1. Рождаемость	14,630 ± ± 0,417	14,620 ± ± 0,444	14,610 ± ± 0,470	14,601 ± ± 0,497	14,591 ± ± 0,524
2. Смертность	13,347 ± ± 0,856	13,556 ± ± 0,909	13,766 ± ± 0,964	13,975 ± ± 1,019	14,186 ± ± 1,074
3. Естественный прирост	1,283 ± ± 0,972	1,063 ± ± 1,032	0,844 ± ± 1,094	0,625 ± ± 1,157	0,405 ± ± 1,220

По мере получения новой информации об изучаемых демографических показателях коэффициенты предиктора (4) следует пересчитывать с учетом необходимости определения оптимальной длины периода предыстории.

Кроме самостоятельного значения полученные результаты прогнозирования могут использоваться при перспективных расчетах численности населения области с переменным режимом воспроизводства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ивахненко А. Г., Мюллер Й. А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. – К.: Техника, 1985. – 223 с.
2. Ивахненко А. Г., Дукарский О. М., Браверман В. Я. Модели и методы управления энергетическим строительством. – К.: Будивельник, 1985. – 120 с.
3. Подгорный А. З., Янковой А. Г. Опыт комплексного прогнозирования показателей естественного движения населения / Тез. докл. VII Всесоюзной конф. по исторической демографии. – Донецк, 1991. – Ч. 2. – С. 18-19.
4. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.
5. Янковой А. Г. Краткосрочное прогнозирование взаимосвязанных показателей на базе критерия баланса переменных / Тез. докл. Всесоюзной конф. «Организация управления производством в новых условиях хозяйствования». – Одесса, 1990. – С. 148-150.