

ПРИМЕР ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЕМОГРАФИИ

Чучкалова С. В.

С помощью имитационного математического моделирования строится модель демографии Кировской области с учетом социально-экономических факторов. Прогнозируется динамика численности людей моложе трудоспособного возраста, трудоспособного возраста и старше трудоспособного возраста. Полученные результаты подтверждаются статистическими данными. По прогнозам модели население Кировской области будет уменьшаться

Введение. Тенденция уменьшения численности населения в Кировской области сохраняется на протяжении последних лет. С 1989 г. по 2006 г. население области уменьшилось на 207,36 тыс. человек. Население области продолжает «стареть», доля лиц старше трудоспособного возраста в общей численности населения выросла с 11% в 1990 году до 22% в 2006 году. Отмечается устойчивое ускорение миграционной убыли, за 2006 год на 4,5 тыс. человек число выехавших за пределы области превышало количество прибывших на ее территорию. Не смотря на то, что в последнее время рождаемость увеличивается, смертность все же превышает рождаемость в два раза. Демографические проблемы в Кировской области настолько остры, что от их решения во многом зависит экономическое и геополитическое будущее региона. Поэтому очень важно исследовать факторы, влияющие на рождаемость и смертность. Среди факторов, наиболее сильно влияющих на демографическую ситуацию в области, в частности на высокую смертность, можно выделить неблагоприятную экологическую ситуацию, высокий уровень потребления алкоголя и наркотических веществ, социальный стресс.

Модель. Рассмотрим предлагаемую имитационную модель. В данной модели с помощью компьютерного имитационного эксперимента появляется возможность вносить коэффициенты-поправки для каждой возрастной группы. К внешним характеристикам в модели демографического процесса относятся количества $x_{m,t,a}$, $x_{w,t,a}$ соответственно, мужчин и женщин, которым в году t исполняется a лет.. Здесь $t = t_0, t_0 + 1, \dots, T$, а $a = 1, 2, \dots, 100$. Любому человеку, которому в году t исполняется, a лет, в следующем $t+1$ году должно исполниться, $a+1$ лет. Т. к. не каждый человек доживает до следующего года и существует процесс миграции, динамику численности мужчин и женщин можно представить в виде уравнений:

$$x_{m,t+1,a+1} = x_{m,t,a} (1 - \beta_{m,t,a}) (1 + \gamma_{m,t,a}) + y_{m,t+1,a+1},$$

$$x_{w,t+1,a+1} = x_{w,t,a} (1 - \beta_{w,t,a}) (1 + \gamma_{w,t,a}) + y_{w,t+1,a+1},$$

$$t = t_0, t_0 + 1, \dots, T; a = 1, 2, \dots, 100,$$

где $\beta_{m,t,a}$, $\beta_{w,t,a}$, $\gamma_{m,t,a}$, $\gamma_{w,t,a}$, $y_{m,t,a}$, $y_{w,t,a}$ – коэффициенты смертности, рождаемости и миграция для мужчин и женщин в году t .

Распределения $x_{m,t,a}$, $x_{w,t,a}$, где $t = t_0, t_0 + 1, \dots, T$; $a = 1, 2, \dots, 100$, позволяют рассчитать следующие демографические характеристики области, относящиеся к каждому году:

$$pop_t = \sum_{m=1}^2 \sum_{a=1}^{100} x_{m,t,a} \text{ – общую численность населения;}$$

$$men_t = \sum_{a=1}^{100} x_{m,t,a} \text{ – общую численность мужчин;}$$

$$women_t = \sum_{a=1}^{100} x_{w,t,a} \text{ – общую численность женщин.}$$

В общем виде соотношение, описывающее эволюцию численности населения, примет вид:

$$x_{t+1} = x_t(1 - \beta_t)(1 + \gamma_t) + y_t.$$

Данное соотношение учитывает количество умерших людей, родившихся и миграцию населения: x_t – численность населения, γ_t – коэффициент рождаемости, β_t – коэффициент смертности, y_t – миграционный прирост в году t (разность между въехавшими и выехавшими людьми).

Коэффициент рождаемости будет рассчитываться по формуле:

$$\gamma_t = r0 * rvyb * rzdr * ralk * rpivo,$$

где $r0$ – «номинальный» коэффициент рождаемости; $rvyb$ – мультипликативная поправка, учитывающая зависимость коэффициента рождаемости от уровня качества vyb окружающей среды; $rzdr$ – мультипликативная поправка, учитывающая зависимость коэффициента смертности от расходов zdr на здравоохранение; $ralk$ – мультипликативная поправка, учитывающая зависимость коэффициента рождаемости от потребления крепких алкогольных напитков; $rpivo$ – мультипликативная поправка, учитывающая зависимость коэффициента рождаемости от потребления пива. Потребление пива выбирается отдельно потому, что в статистических данных данное потребление приводится отдельно от потребления алкогольных напитков и объем продаж пива с каждым годом увеличивается. Аналогичным образом рассчитывается коэффициент смертности:

$$\beta_t = s0 * svyb * szdr * salk * spivo [1].$$

Следует отметить, что применение мультипликативных коэффициентов встречается уже в работах Форрестора, Медоузов (Д.Х. и Д.Л.). В предложенном Форрестором понятии «качество жизни» сама функция записывается, как произведение множителей, зависящих от материального уровня жизни, от загрязнения, от питания, от плотности населения [2].

Мультипликативные поправки, «номинальные» коэффициенты рождаемости и смертности представлены в виде регрессионных зависимостей от времени. Рассмотрим несколько примеров зависимостей. Так, например, «номинальный» коэффициент рождаемости будет равен:

$$r0 = (50 / (1 + 5,44 * e^{-0,05t})) / 1000.$$

Мультипликативная поправка, учитывающая зависимость коэффициента рождаемости от вредных выбросов в окружающую среду:

$$r_{vyb} = 1 - \frac{vyb}{kvyb}, \quad (1)$$

где $kvyb$ – отражает влияние количества выбросов vyb на рождаемость. Так как коэффициент корреляции между коэффициентом рождаемости и вредными выбросами в окружающую среду равен -0,7, поэтому выражение (1) записывается разностью.

Количество вредных выбросов представлено в виде регрессионной зависимости от времени:

$$vyb = 15,6 + 25,97 * t - 11,17 * t^2 + 1,3 * t^3.$$

Мультипликативная поправка, учитывающая зависимость коэффициента рождаемости от расходов на здравоохранение:

$$r_{zdr} = 1 + \frac{zdr}{kzdr}, \quad (2)$$

где $kzdr$ – отражает влияние расходов на здравоохранение на коэффициент рождаемости. Связь положительная корреляционная с коэффициентом 0,8, поэтому выражение (2) записано суммой. Расходы на здравоохранение задаются в виде регрессионной зависимости от времени:

$$zdr = -756,42 + 980,08 * t.$$

Мультипликативная поправка, учитывающая зависимость коэффициента рождаемости от потребления населением крепких алкогольных напитков:

$$r_{alk} = 1 - \frac{alk}{kalk}, \quad (3)$$

где $kalk$ - отражает влияние количества потребленных алкогольных напитков alk на рождаемость. Так как между рождаемостью и потреблением алкоголя отрицательная корреляционная связь, то выражение (3) берется в виде разности.

Потребление крепких алкогольных напитков представлено в виде регрессионной зависимости количества проданных алкогольных напитков от времени:

$$alk = 5,475 + 15,45 * t - 8,273 * t^2 + 1,7 * t^3 - 0,122 * t^4.$$

Аналогично задаются поправки и регрессионные зависимости для коэффициента смертности. Коэффициенты, отражающие степень влияния факторов подбираются в ходе имитационного эксперимента.

Общая миграция задается уравнением:

$$migr = (133,8 + 21,66 * t - 1503,07 * t^2 + 319,7 * t^3 - 21,9 * t^4) * (-1)$$

Так как получаем миграционную убыль населения, то выражение рассматривается со знаком «-».

Результаты. Все население области разобьем на три возрастные группы: моложе трудоспособного возраста, трудоспособного возраста, старше трудоспособного воз-

раста. Каждая такая группа еще делится по полу и по проживанию в городе или селе области. Таким образом, получаем двенадцать подгрупп.

При реализации модели в пакете Ithink значение численности каждой возрастной группы в начальный момент времени находится в отдельном резервуаре. Каждый резервуар представляется в виде двумерного массива: по строкам – пол человека, по столбцам – регион проживания. Резервуары сообщаются между собой, на каждом шаге (каждый год) происходит обмен между группами населения. При этом также учитываются смертность и миграционный прирост каждой группы населения. Также учитываются различное влияние факторов: уровень загрязнения окружающей среды, расходов на здравоохранение и потребления крепких алкогольных напитков и пива, на различные возрастные группы населения с помощью коэффициентов.

Рассмотрим результаты, полученные по модели. Начальные значения численностей групп населения были взяты за 2001г. Проанализируем данные, получаемые в диапазоне с 2001г. по 2010г.

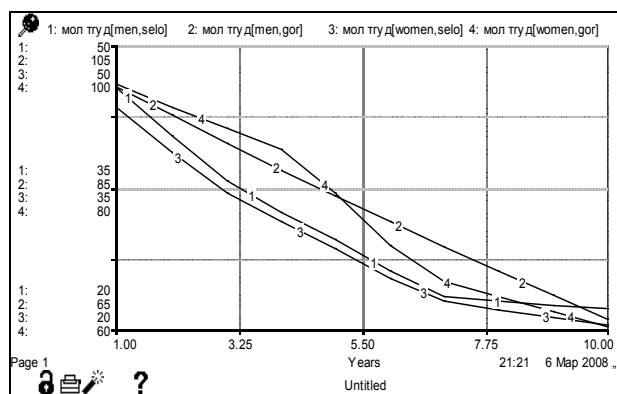


Рис. 1. Графики численностей для мужчин и женщин села и города в группе «моложе трудоспособного возраста»

Из рис.1. видим, что тенденция уменьшения численности наблюдается во всех четырех группах.



Рис. 2. Графики численностей для мужчин и женщин села и города в группе « трудоспособного возраста»

Как и на предыдущем рисунке, численность всех четырех подгрупп убывает.

По модели после 2007 года наметится рост в группе «старше трудоспособного возраста» у женщин села, города и мужчин села, а численность мужчин города продолжает уменьшаться (рис.3).

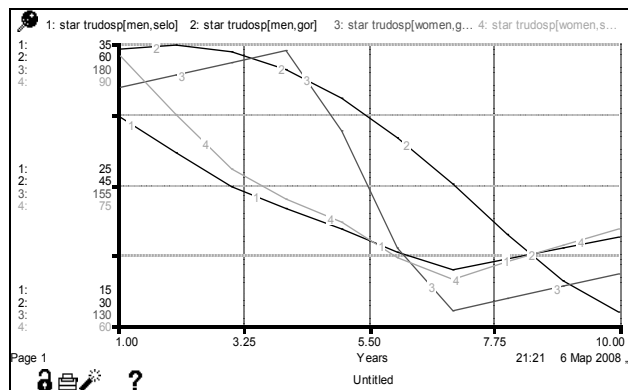


Рис. 3.Графики численностей для мужчин и женщин села и города в группе «старше трудоспособного возраста»

А сейчас при моделировании рассмотрим население только крупных городов области: Киров, Кирово-Чепецк, Котельнич, Слободской, Вятские Поляны. Все население также разобьем на три группы: моложе трудоспособного возраста, трудоспособного возраста, старше трудоспособного возраста. При таком разбиении увеличение численности аналогично наблюдается только в группе «старше трудоспособного возраста». Еще раз модель подтверждает тот факт, что население продолжает «стареть», доля лиц старше трудоспособного возраста в общей численности населения в 2014 году составит 24%.

Выше было уже отмечено о миграционной убыли населения Кировской области. По данным государственного комитета статистики за 2006 год по Приволжскому округу наша область по этому показателю замыкает список. Прогнозы модели также дают неутешительные результаты.

Если протестировать модель для России в целом, то также наблюдается тенденция уменьшения в группах моложе трудоспособного возраста и трудоспособного возраста и рост группы старше трудоспособного возраста. Но по прогнозам модели после 2013 года по России коэффициент рождаемости превысит коэффициент смертности.

Что будет, если...Рассмотрим несколько сценариев развития демографической ситуации в Кировской области в зависимости от внешних параметров. Например, отследим степень влияния потребления алкоголя на динамику численности. Каким должен быть миграционный прирост, чтобы изменить тенденцию убыли населения? За начальный год взят также 2001 г. Для простоты сценарий демографии при полученных выше параметрах назовем «нормальным», а сценарий с лучшими демографическими показателями назовем «оптимистическим».

В настоящее время в области смертность в два раза больше рождаемости. Снизив потребление алкоголя населением в два раза, получаем коэффициент рождаемости выше коэффициента смертности. В целом же по модели этот положительный факт несущественно влияет на численность населения, так как данный сценарий прогнозирует лишь на 2-3 тыс. большую численность всего населения области, чем по «нормальному» сценарию. Поэтому для кардинального изменения сложившейся ситуации этого не достаточно.

Уже отмечалось, что в нашей области миграционная убыль набирает темпы с каждым годом, причем уезжают люди трудоспособного возраста (экономический потенциал области). Исследуем миграцию по «нормальному» сценарию и по «оптимистическому» (сценарий, рассмотренный выше плюс положительный миграционный прирост). По «нормальному» сценарию после 2010 года должна наступить стабилизация численности мужчин села примерно на числе 160 тыс. человек, женщин села на 205 тыс. человек, женщин города на 525 тыс. человек, а после 2020 года численность мужчин города будет приближаться к значению 350 тысяч. По «оптимистическому» сценарию численности перечисленных четырех групп будут приближаться к следующим значениям: мужчины села к 194 тыс. человек, женщины села к 256 тыс. человек, женщины города к 614 тыс. человек, мужчины города к 350 тыс. человек. Оптимистический сценарий дает весомое увеличение численности населения, но он возможен только при увеличивающемся положительном миграционном приросте в десятки и даже сотни тысяч человек каждый год.

Заключение. Следует отметить, что демографический кризис назревает не только в Кировской области, в России, но и в развитых странах Европы. В странах Северной и Западной Европы в среднем приходится 1,6-1,7 ребенка на одну женщину. Для простого воспроизводства населения необходимо 2,1-2,3 ребенка (у нас 1,2-1,3). В Европе нехватку трудовых ресурсов решают путем привлечения эмигрантов. В отличие от Кировской области на Западе для этого созданы все экономические условия. Поэтому, чтобы коренным образом изменить сложившуюся динамику демографии, необходимо на административном областном уровне решить проблему миграционной убыли.

Итак, данная имитационная модель позволяет прогнозировать численность населения с учетом социально-экономических факторов. Преимущества имитационного моделирования в том, что путем эксперимента подбираются коэффициенты, отражающие степень влияния внешних факторов на рождаемость и смертность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павловский Ю.Н., Белотелов Н.В., Бродский Ю.И., Оленев Н.Н. Опыт имитационного моделирования при анализе социально-экономических явлений. Научное издание - М.: МЗ ПРЕСС, 2005. 137с.
2. Романовский М.Ю., Романовский Ю.М. Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. 280 с.
3. WWW:GKS.ru

DEMOGRAPHIC SIMULATION MODEL EXAMPLE

Chuchkalova S. V.

Demographic model of the Kirov region is constructed with the use of simulation technique. Population changes for young, able-bodied and aged citizens are forecasted. Model results are compared to statistical data. The model forecast asserts decrease of the Kirov region population