

КОМПАКТНАЯ МОДЕЛЬ РОСТА ЧИСЛЕННОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Орехов Виктор Дмитриевич, кандидат технических наук.,

Международный институт менеджмента ЛИНК, Россия

участник конференции,

национального первенства по научной аналитике

В статье рассмотрены закономерности роста численности человечества в период демографического перехода с учетом влияния изменения ВВП на душу населения. Предложена компактная математическая модель, дающая хорошее согласие со статистическими данными. Показаны возможности регулирования роста народонаселения.

***Ключевые слова:** демография, народонаселение, рост, рождаемость, демографический переход, гиперболический рост, население Земли, Мир-система.*

Многие столетия государства стремились к увеличению населения с целью обеспечения своей мощи. И лишь начиная с работ Томаса Мальтуса, популярной стала идея ограничения рождаемости и учета средств существования населения. Развитием работ Мальтуса явился доклад Дениса Медоуза на первом заседании Римского клуба в 1972 году под названием «Пределы роста». Суть его сводилась к тому, что при сохранении существующей тенденций к росту уже следующие поколения человечества достигнут пределов демографической экспансии, что приведет систему в целом к неконтролируемому кризису и краху [1]. Однако, попытки ограничения роста населения не нашли адекватной поддержки в современном мире. Одной из причин такого отношения является тот факт, что выявленная закономерность роста численности человечества не свидетельствует о влиянии на нее внешних ограничений.

Синергетический рост. Как показано в работе [2] численность человечества (N) длительное время изменялась согласно гиперболической зависимости от времени (T),

$$N \approx C/(T_1 - T) \approx 180 / (2025 - T) \text{ млрд чел.} \quad (1)$$

Здесь $C \approx 180$ млрд – постоянная с размерностью [чел.·лет].

Это означает, что скорость роста числа людей в этот период была прямо пропорциональной квадрату их численности:

$$dN/dT = N^2 / C. \quad (2)$$

Это необычный факт, поскольку обычно скорость роста популяции живых существ в отсутствие ограничивающих факторов пропорциональна ее численности в первой степени, в

результате число этих существ по времени изменяется экспоненциально. Число же людей росло значительно быстрее, причем по существу независимо от внешних факторов.

Такая закономерность имела место в течение 1,6 млн лет примерно до 1960 года, после которого наступила фаза «демографического перехода», т.е. изменения закона роста населения Земли от гиперболического к стабильному уровню порядка 10 млрд человек [3].

С. П. Капица предложил уравнение для описания демографического перехода и его решение:

$$dN/dT = C/((T_1 - T)^2 - \tau^2) \quad (3)$$

$$N = (C/\tau) \cdot \text{Arcth} ((T_1 - T)/\tau), \quad (4)$$

Однако, как указано в работе [4], эти уравнения «не раскрывают сути действующих законов, оставаясь на феноменологическом уровне констатацией обнаруженной эмпирической закономерности». Таким образом, данное решение не дает понимания того, как можно воздействовать на численность населения Земли.

Важный вклад в исследование вопроса роста населения Земли внесли работы [4, 5], однако предложенные в них системы дифференциальных уравнений достаточно сложны и содержат значительное количество эмпирических коэффициентов, что представляется не соответствующей принципу «бритвы Оккама».

Уравнение роста. Рассмотрим явление роста человечества с использованием элементов подхода, который был развит М. Кремером [6] и учитывал зависимость уровня рождаемости от валового продукта на душу населения (G/N). При формировании математической модели роста численности населения Земли, логично предположить, что прирост населения - dN за время - dT пропорционален числу людей - N , уровню избыточного валового продукта на душу населения - $(G/N - m)$, что создает возможности для рождения детей и их выживания, а также некоторому тормозящему рост фактору. Здесь m - прожиточный минимум, обеспечивающий нулевой уровень воспроизводства населения [4]. Особенности указанного тормозящего фактора таковы, что они должны отражать характеристики процесса демографического перехода, а именно:

- до некоторого уровня G/N рождаемость растет, несмотря на тормозящий фактор;
- свыше этого уровня G/N рождаемость падает;
- в качестве альтернативы «рождения» детей женщины выходят на рынок труда.

Под «рождением» здесь подразумевается полный цикл деятельность по рождению, уходу, обеспечению всем необходимым и воспитанию детей.

Логично предположить, что женщины или семьи делают выбор между двумя альтернативными решениями (рождать детей или работать по найму) на базе принципа альтернативной стоимости. Если работа в качестве наемного работника приносит доход больше некоторого порогового значения, то женщина предпочитает родить меньше детей и

работать по найму. И чем больше может заработать женщина, тем меньше она стремится рождасть детей. Учитывая эту логику принятия альтернативных решений, резонно выбрать тормозящий фактор по структуре подобным аналогичному фактору в известном уравнении Фернхюльста, описывающем размножение неразумных живых организмов. Соответственно тормозящий фактор будет иметь вид $1 - K \cdot G/N$, где K – константа. Из этого следует, что уравнение роста человечества будет иметь следующий общий вид (здесь A – константа):

$$dN/dT = A \cdot N \cdot (G/N - m) \cdot (1 - K \cdot G/N). \quad (5)$$

В работе [4] показано, что валовой продукт в расчете на одного человека связан с численностью человечества следующей эмпирической зависимостью:

$$G/N = D + B \cdot N = 221 + 1,04 \cdot 10^{-6} \cdot N \quad (6)$$

(здесь G дано в международных долларах 1995 года). Полагая, что $m = D = 221$, демографическое уравнение может быть преобразовано к виду:

$$dN/dT = (1/C) \cdot N^2 \cdot (1 - N/N_{\max}). \quad (7)$$

При $N/N_{\max} \rightarrow 0$ уравнение (7) преобразуется в уравнение типа (2), соответствующее гиперболическому росту населения. При $N/N_{\max} \sim 1$ влияние ограничивающего фактора становится существенным и темп роста численности населения падает.

Численное решение. Решение дифференциального уравнения (7) численным методом приведено на рис. 1 и обозначено: «F2». Там же для сравнения дано решение, предложенное С. П. Капицей (F1). Здесь C – константа из уравнений (2), (7), которая была выбрана из условия наилучшей аппроксимации $C=160$ млрд чел.·лет, а величина $N_{\max} = 10\,150$ млн чел.

Из рис. 1 видно, что решение данного уравнения относительно незначительно отличается от кривой С. П. Капицы. Наибольшее отличие от статистических данных наблюдается, как и у кривой Капицы, в начале XX века. Это является следствием двух мировых войн, пандемии испанки и гражданской войны в России, которые привели к отклонению от теоретической зависимости до 10%. Отметим, что период после 1960 года в мировой истории связан с максимальными темпами экономического роста. В этот момент наблюдались быстрые темпы роста населения Земли, которые не только компенсировали потери начала XX века, но и привели к превышению реальной численности населения по сравнению с теоретической зависимостью на 3-5% (см. рис. 1).

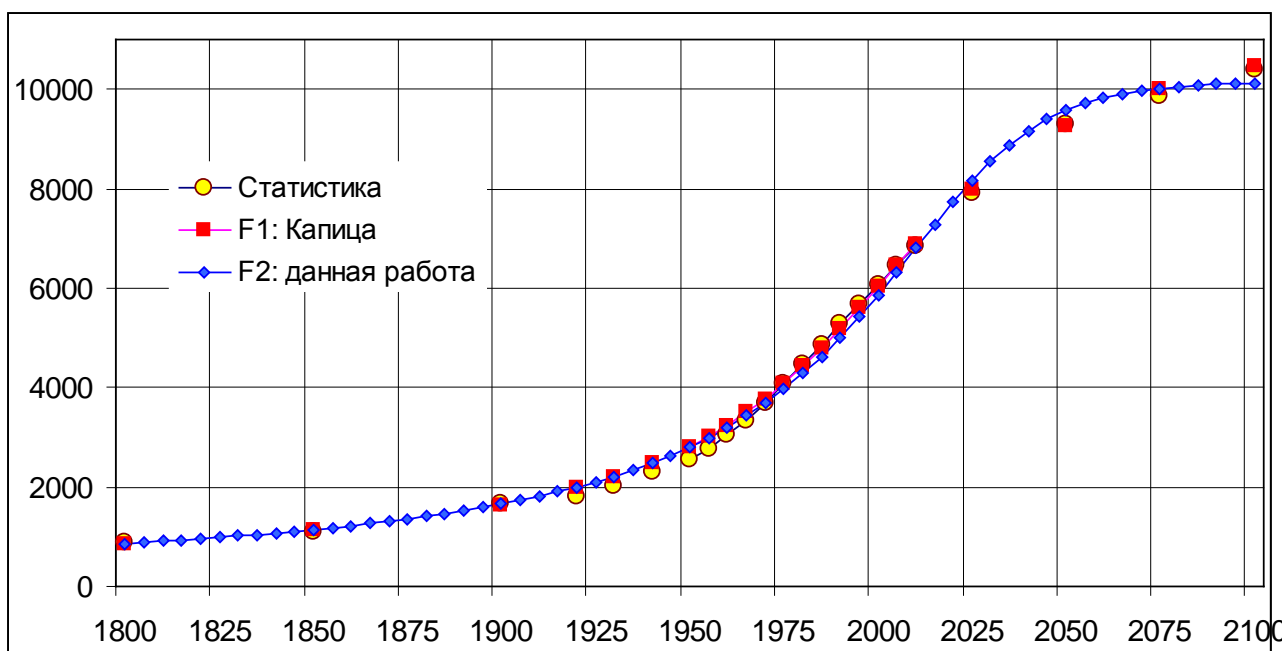


Рис. 1. Варианты кривой демографического перехода

Аналитическое решение. Уравнение (7) может быть решено и аналитически. Для этого введем безразмерную переменную $X = N/N_{\max}$ и преобразуем уравнение (7) к виду (8):

$$(1 / (X^2 \cdot (1 - X))) \cdot dX = (N_{\max}/C) \cdot dT. \quad (8)$$

Решение этого уравнения имеет вид (9):

$$1/X - \ln(X/(1 - X)) = (N_{\max}/C) \cdot (T_1 - T). \quad (9)$$

Возвращаясь к переменной N , получим:

$$T = T_1 - C/N - (C/N_{\max}) \cdot \ln(N/(N_{\max} - N)). \quad (10)$$

Существенно, что решение данного уравнения является функцией трех параметров: C , N_{\max} , T_1 . При $N \rightarrow 0$ данное уравнение приобретает вид (1) и существенной является только величина константы C . В области демографического перехода ($N \sim N_{\max}$) существенное влияние оказывает отношение C/N_{\max} .

Для лучшего понимания смысла полученного решения вернемся к значениям констант в уравнениях (5) - (7). В частности, из них видно, что $C = 1/(A \cdot B)$. Здесь A – коэффициент относительной скорости роста численности населения Земли в зависимости от роста ВВП на душу населения; B – коэффициент роста G/N в зависимости от численности населения Земли ($B \approx 1,04 \cdot 10^{-6}$ долл./чел.² в международных долларах 1995 года). Как показано в работе [7], этот коэффициент связывает рост G/N с накоплением знания человечества, зависящего от числа людей. При $C \approx 16 \cdot 10^{10}$ чел.·год, коэффициент $A \approx 1/(C \cdot B) = 6 \cdot 10^{-6}$ (чел./год)/долл. Таким образом, коэффициент C связывает относительную скорость роста человечества с его интегральной численностью через рост ВВП на душу населения.

Еще один важный коэффициент K определяет, при каком уровне G/N женщины предпочитают наемный труд рождению детей (собственно в этом и есть смысл демографического перехода). Размерность K - [чел./долл.]. Величина $K=1/B \cdot N_{\max}$ и при $N_{\max} = 10\,000$ млн чел. $1/K \approx 10\,400$ долл./чел.

В уравнении (8) определяющим параметром является отношение - C/N_{\max} , имеющее размерность времени. Выражая N_{\max} и C через константы A , B , K , получим, что $C/N_{\max} = K/A = 16$ лет. Таким образом, данный параметр представляет собой отношение величины G/N , при которой происходит демографический переход, к коэффициенту роста G/N в зависимости от численности населения Земли.

Снижение рождаемости становится существенным при величине ограничивающего фактора $K \cdot G/N \sim 0,3$. При этом $(G/N)_{\text{dem}} \sim 0,3/K \approx 3120$ долл./чел. (здесь долл. - международные доллары 1995 года; в долларах 2011 года эта величина примерно на 50% больше и составляет $\sim 4\,680$ долл.). Такого уровня данная величина для мира в целом достигла примерно в 1960 году, после чего начался быстрый спад рождаемости в мире [8].

Использованная при выводе уравнения (5) гипотеза о том, что при росте выше некоторого уровня $(G/N)_{\text{dem}}$ рождаемость падает, не означает верности противоположного утверждения. Данный переход происходит после того, как его выгоды могут компенсировать все затраты на процесс перехода, связанные с приобретением квалификации, трудоустройством, изменением жизненного уклада и другие. Однако в обществе, в котором работа женщин по найму уже является общественно принятым поведением, противоположному переходу противодействуют другие факторы, которые существенно понижают альтернативную стоимость рождения детей. В результате, обратный переход, как правило, не происходит даже при значительном снижении ВВП на душу населения.

Результаты. Рассмотрим, какие результаты следуют из полученного решения. Хотя уравнение (7) и выведено с использованием феноменологического выражения (6) для G/N , однако в форме (5) оно носит более фундаментальный характер и демонстрирует, что основным фактором, влияющим на рост человечества, является валовой продукт на душу населения, т.е. экономический фактор.

В отличие от математических моделей роста населения Земли, предложенных в работах [4, 5], в данной работе предложена более компактная модель, имеющая простое аналитическое решение, что облегчает возможность использования ее для интерпретации демографических процессов. Она также не требует привлечения дополнительных предположений относительно процесса демографического перехода, что делает ее предпочтительнее с точки зрения принципа бритвы Оккама. В данной модели также не используется тезис Мальтуса о влиянии внешних ограничений на рост народонаселения.

Отметим, что хорошее согласие полученного решения уравнения (7) со статистическими данными, является косвенным подтверждением предложенной выше гипотезы о том, что демографический переход является следствием принятия женщинами, на основе принципа альтернативной стоимости, решения о предпочтении работы по найму рождению детей.

То, что семьи в отношениях воспроизводства ведут себя как экономические агенты и принимают решение о количестве детей на основе принципа альтернативной стоимости, позволяет рассчитывать на возможность регулирования рождаемости за счет экономических стимулов. Хотя валовой продукт на душу населения и играет доминирующую роль в данном выборе, но в развитых странах общество потенциально может найти ресурсы для альтернативной экономической мотивации семей с тем, чтобы обеспечить свою демографическую состоятельность. Таким образом, данная работа позволяет понять некоторые возможности регулирования народонаселения.

Литература

1. Медоуз Д., Рандерс Й., Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя/ Пер. с англ. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 342 с.
2. Foerster, H. von, P. Mora, and L. Amiot. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. *Science* 132:1291–5. 1960.
3. Капица С. П. Парадоксы роста: Законы глобального развития человечества. - М.: Альпина нон-фикшн, 2012. – 204 с.
4. Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования: Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН.- М., 2005 (http://www.keldysh.ru/papers/2005/prep13/prep2005_13.html).
5. Kremer, M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics* 108: 681–716. 1993.
6. Всемирная книга фактов ЦРУ, 2009 г. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TFR_vs_PPP_2009.svg?uselang=ru)
7. Орехов В.Д. Инновационный процесс и его роль в развитии человечества. Материалы 2-й международной научно-практической конференции «Шумпетеровские чтения». Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета (<http://www.sr.pstu.ru/files/SchumpeterianReadings2012.pdf#page=82>), 2012. - С. 82-88.
8. Динамика СКР в мире (1950–2015). Прогноз ООН от 2010 года, средний вариант.- Википедия (<https://ru.wikipedia.org/wiki>), 2013.

Сведения об авторах

Орехов Виктор Дмитриевич (Orekhov Victor Dmitrievich), кандидат технических наук, доцент кафедры управления бизнесом Международного института менеджмента ЛИНК. тел. +7(495) 781-26-34, моб.тел. +7(903) 258-30-75, e-mail: mosreg@ou-link.ru vorehov@yandex.ru