

## Глава 3. Демографическая модель человечества

Как было показано выше, рост числа людей является одним из основных факторов, характеризующих человечество как систему, поэтому необходимо более детально рассмотреть его характеристики во взаимосвязи с анализом параметров размерности и подобия и системным анализом.

### 3.1. Модель роста численности человечества

В главе 1 был приведен ряд моделей, описывающих процесс демографического перехода<sup>77, 78, 79, 80</sup>. Исторически последняя из них, учитывающая наработки предыдущих авторов, была предложена в работе А.В. Коротаевым и др. и исходит из имеющего некоторое статистическое обоснование предположения, что причиной демографического перехода является рост грамотности женщин.

Однако динамика суммарного коэффициента рождаемости (СКР) в мире<sup>81</sup> (рис. 3.1) показывает, что до 1970 года он был стабильно высоким и влияния грамотности женщин на него заметно не было.

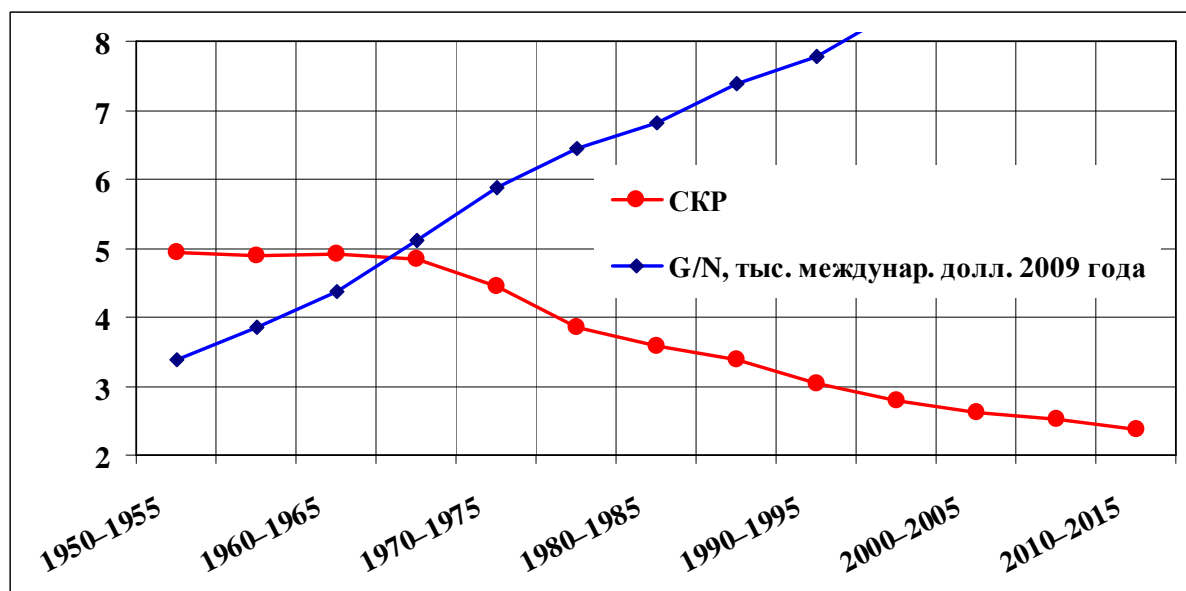


Рис. 3.1. Динамика суммарного коэффициента рождаемости (СКР) в мире

В 1970 году численность населения Земли составляла около 3,7 млрд чел., а уровень грамотности был более 50% (рис. 3.2). Хотя уровень грамотности женщин несколько отстает от среднего<sup>82</sup>, но он был достаточно высоким, и если бы причиной демографического перехода была именно грамотность женщин, то СКР начал бы плавно уменьшаться до 1970 года.

<sup>77</sup> Капица С.П. Математическая модель роста населения мира. – М., 1992.

<sup>78</sup> Kremer, M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. 1993.

<sup>79</sup> Подлазов А.В. Основное уравнение теоретической демографии. – М., 2001.

<sup>80</sup> Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования. – М., 2005.

<sup>81</sup> Динамика СКР в мире (1950–2015). Прогноз ООН от 2010 года, средний вариант. – Википедия, 2013. <https://ru.wikipedia.org/wiki>

<sup>82</sup> Системный мониторинг. Глобальное и региональное развитие / Отв. ред.: Д.А. Халтурина, А.В. Коротаев. – М., 2010. – С. 18.

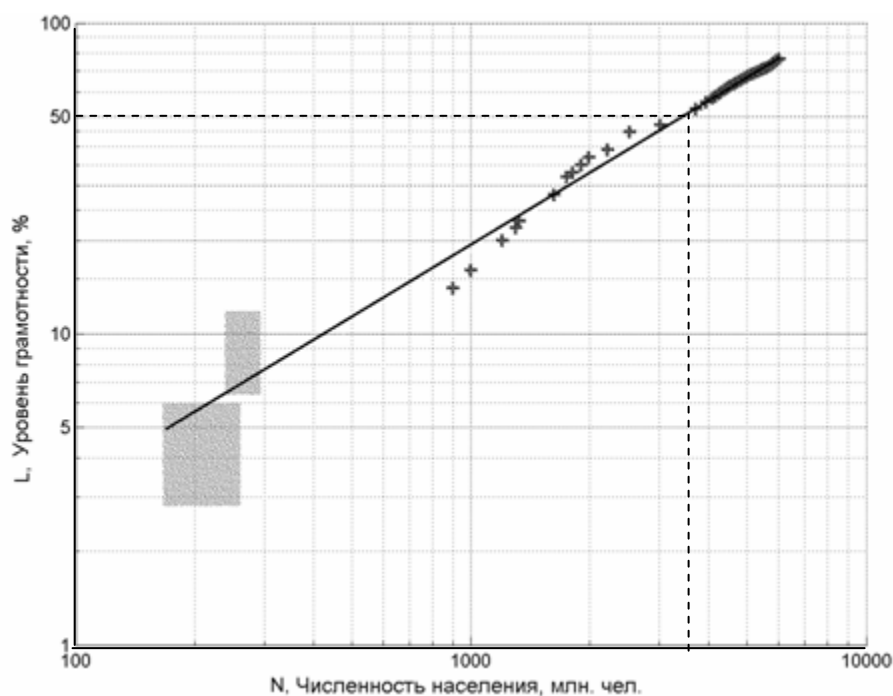


Рис. 3.2. Зависимость уровня грамотности от численности населения Земли<sup>83</sup>

В то же время авторы этой работы не рассмотрели в числе параметров, которые могли снижать рождаемость, ВВП на душу населения. Данное исключение было сделано в связи с тем, что авторы увидели противоречие «между низким уровнем рождаемости в России и других постсоветских странах Восточной Европы и резким понижением их уровня жизни»<sup>84</sup>.

Однако данное противоречие может быть кажущимся, поскольку в теории сложности<sup>85,86</sup> и физике известно такое явление, как гистерезис, заключающееся в том, что прямой и обратный ход процесса происходят по-разному.

Вместе с тем известно, что процесс индустриализации, который происходит во многих странах примерно в то же время, что и демографический переход, сопровождается не только ростом грамотности, но и вовлечением женщин в производственную деятельность. Ясно, что совмещать работу по найму с воспитанием детей (далее под воспитанием детей подразумевается полный цикл деятельности по рождению, уходу, обеспечению всем необходимым и воспитанию детей) очень сложно. Поэтому количество детей в семьях уменьшается до уровня, позволяющего сочетать работу с воспитанием детей. А рост грамотности женщин является зависимым процессом, поскольку вовлечение в производственную деятельность требует роста квалификации и соответственно грамотности. Данная гипотеза позволяет предположить, что рост грамотности женщин является не причиной, а следствием более важного с точки зрения экономики процесса роста участия женщин в производственной деятельности. С учетом данной

<sup>83</sup> Цит. по: Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования. – М., 2005.

<sup>84</sup> Там же.

<sup>85</sup> Стэплтон Т. Маркетинг в условиях сложности: Учеб. пособие. – Кн. 1 /Пер. с англ. – Жуковский, 2006. (Стратегии маркетинга в сложном окружении).

<sup>86</sup> Oliva, T.A, Oliver, R.L. and McMillan, I.C. (1992) “A catastrophe model for developing service satisfaction”, *Journal of Marketing*, Vol. 56, July, pp. 83–95.

гипотезы наиболее логичной представляется модель Кремера, хотя она и излишне усложнена.

Важной идеей М. Кремера<sup>87</sup>, которую мы используем, является зависимость уровня рождаемости от ВВП на душу населения (см. рис. 1.5). На рис. 3.3 дана зависимость суммарного коэффициента рождаемости от ВВП на душу населения (по ППС), построенная для 85 стран мира с населением свыше ~10 млн чел.<sup>88</sup>. Видно, что, несмотря на случайный характер зависимости, с увеличением ВВП на душу населения уровень рождаемости падает. Уже при  $G/N > 7000$  долл. (в долл. 2009 года) суммарный коэффициент рождаемости опускается до двух-трех, т.е. до уровня, вблизи которого численность населения меняется относительно медленно.

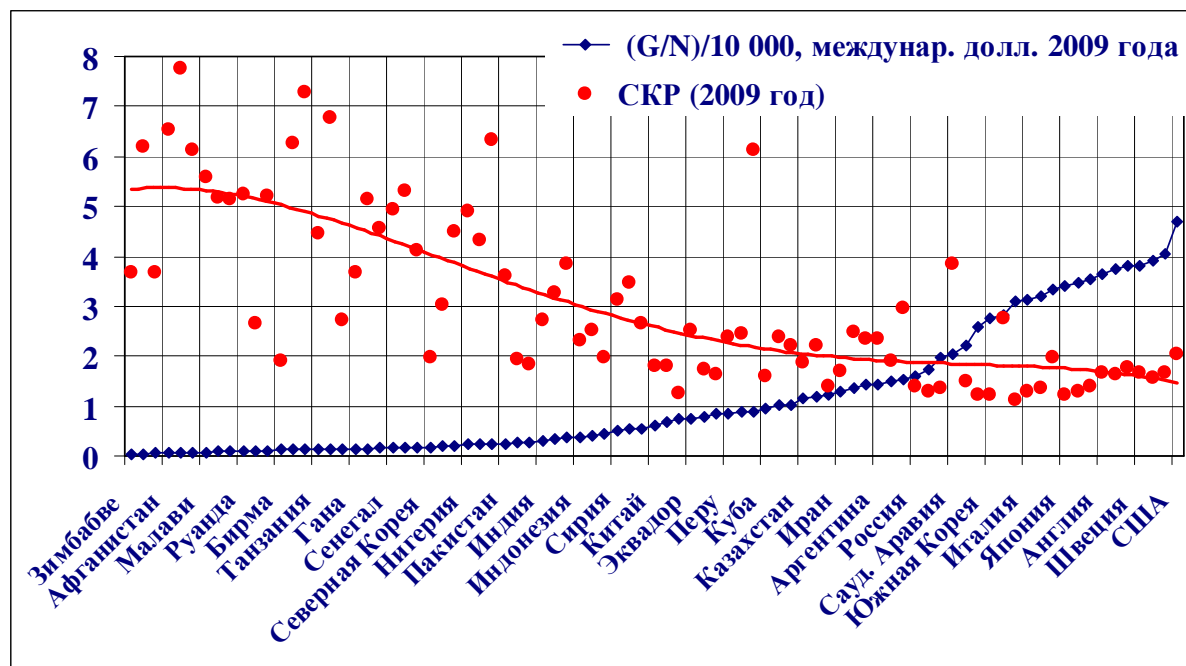


Рис. 3.3. Связь рождаемости и валового продукта на душу населения

Далее логично предположить, что причиной демографического перехода является не просто нежелание состоятельных семей иметь много детей, а некоторая экономическая логика. Скорее всего женщины или семьи делают выбор между двумя альтернативами (воспитывать детей или работать по найму и иметь меньше детей). Если работа в качестве наемного работника приносит доход больше некоторого значения, соответствующего ценности появления детей, то женщина предпочитает воспитывать меньше детей и работает по найму. И чем больше может заработать женщина, работая по найму, тем в меньшей степени она стремится воспитывать детей.

Конечно, нельзя отрицать и роль культурных факторов, но влияние экономических причин более жесткое. Если мужчина не может прокормить семью из пяти детей и двух взрослых, то два работающих и двое детей – гораздо более выгодная альтернатива, дающая возможность уйти от полуголодного существования.

<sup>87</sup> Kremer, M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990.

<sup>88</sup> Всемирная книга фактов ЦРУ, 2009.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TFR\\_vs\\_PPP\\_2009.svg?uselang=ru](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TFR_vs_PPP_2009.svg?uselang=ru)

При формировании математической модели роста численности населения Земли логично предположить, что прирост населения  $dN$  за время  $dT$  пропорционален трем факторам:

- 1) числу людей –  $N$ ;
- 2) уровню избыточного ВВП на душу населения –  $(G/N - m)$ , что создает возможности для рождения детей и их воспитания ( $m$  – прожиточный минимум, обеспечивающий нулевой уровень воспроизводства населения, см. рис. 1.11);
- 3) некоторому ограничивающему фактору, особенности которого таковы, что он отражает характеристики описанного выше выбора по принципу альтернативной стоимости и обеспечивает:
  - рост относительной рождаемости при малых значениях  $G/N$ ,
  - падение относительной рождаемости при высоких  $G/N$ .

Для того чтобы придать модели более аналитический характер, чем в работе М. Кремера, выберем этот ограничивающий фактор в простейшем виде, в частности подобным по структуре аналогичному фактору в известном уравнении логистического роста, описывающем размножение неразумных живых организмов. Соответственно ограничивающий фактор будет иметь вид  $1 - k \cdot G/N$ , где  $k$  – константа. Из этого следует, что дифференциальное уравнение роста человечества будет иметь следующий об- щий вид:

$$dN/dT = A \cdot N \cdot (G/N - m) \cdot (1 - k \cdot G/N). \quad (3.1)$$

Для определения величины  $G/N$  используем приведенное выше выражение (1.11), согласно которому

$$G = N \cdot (m + \gamma N).$$

Соответственно уравнение (3.1) может быть преобразовано к виду

$$dN/dT = A \cdot \gamma \cdot (1 - k \cdot m) \cdot N^2 \cdot (1 - k \cdot \gamma \cdot N / (1 - k \cdot m)). \quad (3.2)$$

Далее оно может быть представлено в более простом виде

$$dN/dT = (1/C) \cdot N^2 \cdot (1 - N/N_{\max}). \quad (3.3)$$

При  $N/N_{\max} \rightarrow 0$  уравнение (3.3) преобразуется в уравнение типа (1.2), соответствующее гиперболическому росту населения. При  $N/N_{\max} \rightarrow 1$  уравнение (3.3) превращается в уравнение  $dN/dT = 0$ , а его решение  $N = N_{\max}$ . Именно эти два предельных случая использованы для замены неизвестных констант в уравнении (3.2) при переходе к (3.3) с помощью выражений:

$$A \cdot \gamma \cdot (1 - k \cdot m) = 1/C; \quad (3.4)$$

$$k \cdot \gamma / (1 - k \cdot m) = 1/N_{\max}. \quad (3.5)$$

При  $N/N_{\max} \sim 1$  влияние ограничивающего фактора становится существенным и темп роста численности населения падает. Нормированная функция относительного темпа роста населения

$$Y = 4(C/N) \cdot dN/dT = 4 \cdot (N/N_{\max}) \cdot (1 - N/N_{\max}) \quad (3.6)$$

представляет собой перевернутую квадратичную параболу (рис. 3.4).

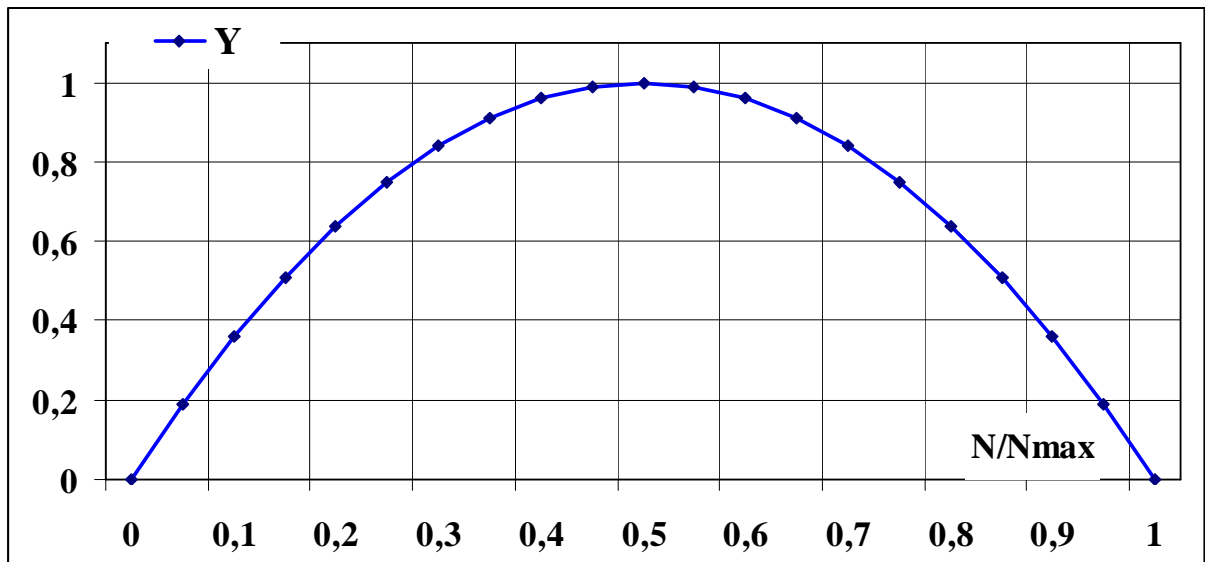


Рис. 3.4. Нормированная функция относительного темпа роста населения

Отметим, что уравнение (3.3) может быть непосредственно проверено на адекватность. Например, при известной производной  $dN/dT$  оно позволяет вычислить максимальную численность человечества

$$N_{\max} = N / (1 - C(dN/dT)/N^2). \quad (3.7)$$

Так, в 1995 году скорость роста населения Земли составила  $dN/dT = 87,4$  млн чел. в год,  $N = 5\,682$  млн чел.<sup>89</sup>. При  $C = 160$  млрд чел.·лет получим, что величина  $N_{\max} = 10$  млрд чел., что близко к прогнозируемой максимальной численности человечества, что подтверждает корректность уравнения (3.3).

### 3.2. Численное решение

Решение дифференциального уравнения (3.3) численным методом приведено на рис. 3.5 и обозначено: «F2» (число людей дано в млн чел.). Там же для сравнения дано решение, предложенное С.П. Капицей (F1). Здесь  $C$  – константа из уравнений (1.2), (3.3), которая была выбрана из условия наилучшей аппроксимации  $C = 160$  млрд чел.·год, а величина  $N_{\max} = 10\,150$  млн чел.

Из рис. 3.5 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, что является следствием двух мировых войн, пандемии испанки и гражданской войны в России, которые привели к отклонению от теоретической зависимости до 10%. После 1960 года, т.е. в период демографического перехода, отклонение от статистических данных не превышает 5%, а от кривой F1 – 3,5%.

<sup>89</sup> Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. – М., 2012.

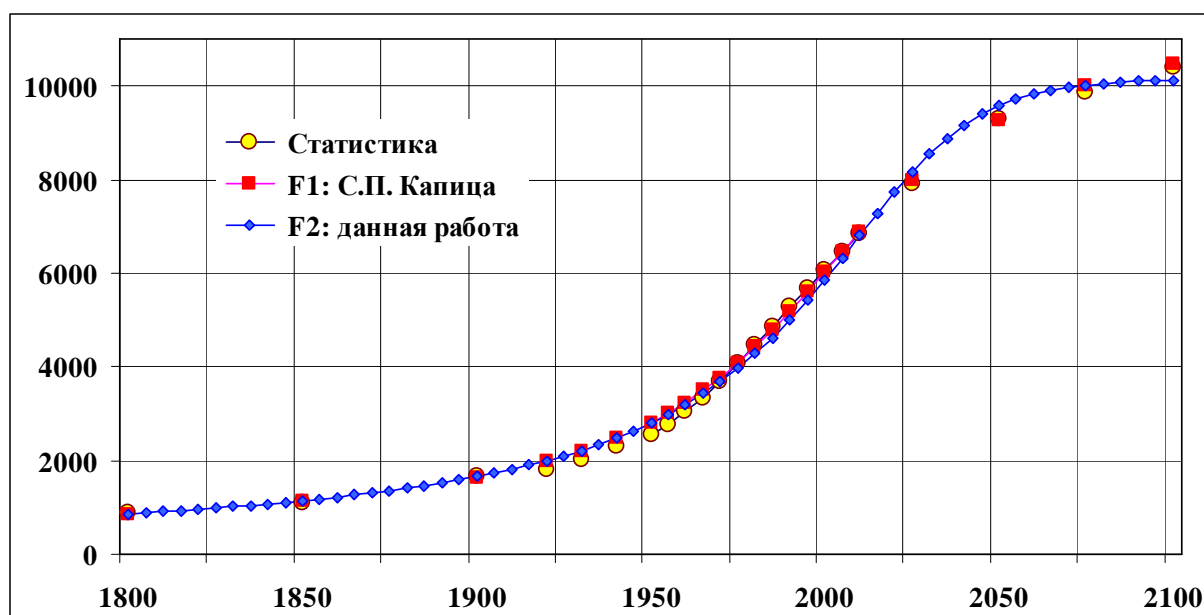


Рис. 3.5. Варианты кривой демографического перехода (млн чел.)

Для более точного сравнения разных уравнений демографического перехода они представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Погрешность кривой демографического перехода

Время, год	Статистика N, млн	F1 N, млн	F2 N, млн	$\Delta N/N, \%$ (F1)	$\Delta N/N, \%$ (F2)
1800	870	851	865	-2,2	-0,6
1850	1100	1120	1144	1,8	4,0
1900	1660	1625	1657	-2,0	-0,1
1920	1811	1970	1996	8,8	10,2
1920	2020	2196	2215	8,7	9,7
1940	2295	2474	2479	7,8	8,0
1950	2556	2817	2800	10,2	9,6
1960	3039	3245	3194	6,8	5,1
1970	3707	3778	3681	1,9	-0,7
1980	4454	4430	4281	-0,5	-3,9
1990	5277	5198	5009	-1,5	-5,1
2000	6073	6038	5863	-0,6	-3,5
2010	6832	6878	6802	0,7	-0,4
2025	7896	7987	8161	1,2	3,4
2050	9298	9259	9576	-0,4	3,0
2075	9879	9999	10021	1,2	1,4
2100	10400	10451	10123	0,5	-2,7

Там же приведены значения численности населения Земли  $N$  по статистическим данным, на которые опирался С.П. Капица<sup>90</sup>. Здесь  $\Delta N/N$  – относительное отклонение решения от статистических значений. Видно, что предложенное решение F2 достаточно хорошо согласуется со статистическими данными и еще ближе к теоретической кривой С.П. Капицы, в которой также не могли учитываться такие факторы, как войны и пандемии.

Отметим, что период после 1960 года в мировой истории связан с максимальными темпами экономического роста, отсутствием значительных войн и кризисов, а также быстрым постколониальным развитием стран третьего мира. 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% в период 1975–2000 годов (см. рис. 3.5).

### 3.3. Аналитическое решение

Уравнение (3.3) может быть решено и аналитически. Для этого введем безразмерную переменную  $X = N/N_{\max}$  и преобразуем уравнение (3.3) к виду

$$(1 / (X^2 \cdot (1 - X))) \cdot dX = (N_{\max}/C) \cdot dT. \quad (3.8)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$1/X - \ln(X/(1 - X)) = (N_{\max}/C) \cdot (T_1 - T). \quad (3.9)$$

Возвращаясь к переменной  $N$ , получим

$$T = T_1 - C/N - (C/N_{\max}) \cdot \ln(N/(N_{\max} - N)). \quad (3.10)$$

Величина  $C/N_{\max}$  имеет размерность времени и характеризует время демографического перехода  $C/N_{\max} = N_0 \cdot T_0 / N_{\max} \approx 16$  лет. Если ввести параметр характерного времени демографического перехода  $t_1 = C/N_{\max} = N_0 \cdot T_0 / N_{\max}$ , то мы можем в уравнении (3.8) ввести безразмерный параметр времени  $t = T/t_1 = T \cdot N_{\max} / T_0 \cdot N_0$  и преобразовать это уравнение в полностью безразмерное, причем в нем не будет ни одного безразмерного параметра подобия. Соответственно решение уравнения в безразмерном виде имеет общий вид

$$N/N_{\max} = F(T \cdot N_{\max} / T_0 \cdot N_0) = F(T/t_1).$$

Характерно, что величина  $T_1$  при численном решении не является параметром решения и задание начальной точки для расчета, например,  $N(T=1800 \text{ год})$  или точки, в которой мы хотим получить хорошее согласование результатов, вполне компенсирует отсутствие данного параметра. Дата  $T_1$  играет роль типа начала координат, и ее изменение приводит к сдвигу всей кривой по времени. Хорошее согласование аналитического решения со статистическими данными достигалось при  $C/N_{\max} = 16$  лет,  $N_{\max} = 10 \dots 10,15$  млрд чел. и  $T_1 = 2022$  год. Аналитическое и численное решения дают одну и ту же зависимость  $N(T)$ .

<sup>90</sup> Капица С.П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. – М., 2012.

### 3.4. Анализ параметров решения

Для лучшего понимания смысла полученного решения вернемся к значениям констант  $A$  и  $k$  в уравнениях (3.1), (3.2).

Коэффициент  $k$  определяет, при каком уровне  $G/N$  люди предпочитают наемный труд воспитанию детей (собственно в этом и есть смысл демографического перехода). Размерность  $k$  – [чел.·год/долл.]. Из представленного выше выражения (3.5) для константы  $k$  видно, что параметр  $k = 1 / \gamma \cdot N_{\max} \cdot (1 + m / \gamma \cdot N_{\max})$ . Поскольку  $m / \gamma \cdot N_{\max} \approx 0,02$ , с точностью в 2%  $k = 1 / \gamma \cdot N_{\max}$ . При  $N_{\max} = 10\,000$  млн чел.  $1/k \approx 10\,400$  долл./чел.·год (в междунар. долл. 1995 года).

Коэффициент  $A$  характеризует относительную скорость роста численности населения Земли в зависимости от роста ВВП на душу населения, который связан с накоплением знания человечества, в свою очередь зависящего от числа людей. Из выражения (3.4) следует, что величина  $A = 1/C \cdot \gamma \cdot (1 - k \cdot m) = 1/C \cdot \gamma \cdot (1 - m/\gamma \cdot N_{\max}) \approx 1/C \cdot \gamma$ . При  $C \approx 16 \cdot 10^{10}$  чел.·год коэффициент  $A \approx 1/(\gamma \cdot C) = 6 \cdot 10^{-6}$  чел./долл.

В уравнении (3.10) определяющим параметром является отношение  $C/N_{\max}$ , имеющее размерность времени. Выражая  $N_{\max}$  и  $C$  через константы  $A$ ,  $\gamma$ ,  $k$ , получим, что  $C \cdot N_{\max} = k/A = 16$  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. Фактически он означает, как быстро будет достигнут уровень ВВП, соответствующий изменению демографического поведения семей.

Снижение рождаемости вопреки росту благосостояния становится существенным при величине ограничивающего фактора  $k \cdot G/N \sim 0,3$ . При этом  $(G/N)_{\text{dem}} \approx 0,3/k \approx 3\,120$  долл./чел. (здесь долл. – междунар. долл. 1995 года; в долл. 2011 года эта величина примерно на 37% больше и составляет  $\sim 4\,260$  долл.). Такого уровня данная величина для мира в целом достигла примерно в 1960 году, после чего начался быстрый спад рождаемости в мире (см. рис. 3.1). Характерно, что эта величина примерно в 15 раз больше прожиточного минимума, обеспечивающего нулевой уровень воспроизводства населения, –  $m$ .

Из полученных уравнений (3.1), (3.3) видно, какие характеристики человечества как синергетической системы влияют на рост ее численности и наступление демографического перехода:

- на начальной стадии гиперболического роста это коэффициент  $C$ , который характеризует темп прироста населения во взаимосвязи с ростом уровня жизни  $(G/N)$  населения и его численностью;
- вблизи демографического перехода это порог, после которого участие женщин в наемном труде становится более привлекательным, чем воспитание детей  $(G/N)_{\text{dem}} \approx 4\,260$  долл./чел. (в долл. 2011 года), а также характерный масштаб времени демографического перехода  $t_1 \approx C \cdot N_{\max} \approx 16$  лет.

Следует также отметить, что удовлетворительные результаты, которые дает принятая в уравнении (3.1) форма ограничивающего фактора (см. рис. 3.4), связаны с тем, что в мире есть и высокоразвитые и менее развитые страны. При более однородном составе населения, вероятно, должны иметь место решения с депопуляцией населения, как это наблюдается в реальности. Не исключено, что при некоторой модификации уравнение (3.1) может быть применено и к отдельной стране, но соотношения (3.3), (3.6) в этом случае будут другими.



### 3.5. Системные эффекты

Рассмотренная выше модель процесса демографического перехода приводит не только к снижению рождаемости, но и к увеличению числа работающих с высокой производительностью труда людей (женщин), а также потенциальных изобретателей. В дальнейшем данный фактор необходимо исследовать более детально.

Следует отметить, что человечество в течение всего периода своего развития находилось в весьма неестественном для систем состоянии, а именно системы с положительной обратной связью по основному своему параметру – численности населения. Примером таких систем является взрыв ядерной бомбы. Пока все ядра не пройдут реакцию, деление развивается по экспоненциальному закону. Человечество, как мы отмечали выше, росло по не менее быстро растущему закону – гиперболическому и увеличило свою численность со 100 000 до 7 000 000 000 человек. При этом в отличие от взрыва бомбы количество «действующих агентов» здесь не исчерпывается, а растет.

Отличие гиперболы от экспоненты, которая часто воспринимается как синоним наиболее быстро растущей зависимости, заключается в том, что гипербола значительно быстрее растет на конечной стадии процесса и значительно медленнее на начальной. Именно поэтому человечество очень длительное время развивалось довольно медленно, а затем последовал очень быстрый рост.

Обычно сложные системы ведут себя как упругая сеть, восстанавливающая свое состояние после отклонения от равновесия. Они удивительно устойчивы по отношению к различным воздействиям. Только *воздействие на особые точки* системы может вывести ее из этого состояния и перевести в другое состояние. В качестве таких воздействий можно было бы подозревать рост плотности населения свыше предела комфортного существования, истощение природных ресурсов или падение благосостояния. Однако по данным позициям отрицательные обратные связи в явном виде пока реально не проявляются. *Критическим воздействием оказалась востребованная альтернатива рождению детей.*

Отметим еще один эффект, который присутствует в сложных системах. Используемая при выводе уравнения (3.1) гипотеза о том, что при росте выше некоторого уровня  $(G/N)_{dem}$  рождаемость падает, не означает верности противоположного утверждения. Эта гипотеза основана на предположении, что в обществе с растущим ВВП в соответствии с принципом альтернативной стоимости происходит переход от одного способа воспроизводства населения к другому в результате того, что работа по найму становится более выгодной. Тем не менее данный переход происходит не сразу после того, как работа по найму стала более выгодной, а после того, как выгоды такого перехода могут компенсировать все затраты на процесс перехода, связанные с приобретением квалификации, трудоустройством, изменением жизненного уклада, обеспечением ухода за существующей семьей и др.

Однако в обществе, в котором работа женщин по найму уже является общественно принятым поведением, противоположный переход связан с совершенно другими факторами, в том числе социальными и культурными, которые существенно понижают альтернативную стоимость воспитания детей. В результате обратный переход, как правило, не происходит даже при значительном снижении валового внутреннего продукта на душу населения, т.е. возникает явление гистерезиса.

Еще один важный результат можно заметить, совместив формулу (1.11) с выводом о том, что численность человечества будет ограничена некоторым максимальным числом  $N_{max}$ . Это означает, что для человечества существует предел роста ВВП на душу населения

$$g_{\max} = (G/N)_{\max} = m + \gamma N_{\max} \approx 10\,621 \text{ долл./чел.}\cdot\text{год} \quad (3.11)$$

(в междунар. долл. 1995 года, при  $N_{\max} = 10$  млрд чел.). Для того чтобы отчасти компенсировать погрешности формулы (1.11) и необходимость перевода значений в доллары соответствующего года, представим выражение (3.11) в следующем виде:

$$g_{\max}/g \approx (m + \gamma N_{\max})/(m + \gamma N). \quad (3.12)$$

С точностью порядка 2% формулу (3.12) можно представить в виде

$$g_{\max}/g \approx N_{\max}/N. \quad (3.13)$$

Отсюда следует, что мировой ВВП на душу населения может вырасти после 2011 года лишь на 42%, а мировой ВВП – в два раза в долл. 2011 года, т.е. примерно до  $G_{\max} \approx 180$  млрд долл. (если  $N_{\max} > 10$  млрд чел., то  $G_{\max}$  будет соответственно больше).

Однако согласно прогнозу PwC<sup>25</sup> (см. рис. 1.8), в 2050 году ВВП по ППС 20 крупнейших экономик мира вырастет до 214 трлн долл. 2011 года (рост в 3,5 раза), что соответствует мировому ВВП, примерно равному 273 трлн долл. Таким образом, данный расчет ниже прогноза PwC примерно в 1,6 раза.

В чем причина такого противоречия прогнозов? С одной стороны, мы отмечали выше, что прогноз компании PwC сделан без учета эффектов взаимодействия государств. С другой стороны, переход человечества как системы в новое состояние в связи с демографическим переходом может привести к существенному изменению многих ее характеристик, в том числе и росту ВВП сверх соответствующего формуле (3.1) значения.

И этому есть определенные предпосылки. В частности, можно отметить, что быстрый рост ВВП стран E7 связан с тем, что происходит быстрый рост производительности труда ( $G/N$ ) группы стран со значительно большим населением (в 4,5 раза), чем в странах G7. При этом рост производительности труда происходит в результате диффузии технологий от стран G7 к E7, поскольку сами страны E7 пока значительно отстают с точки зрения производства новых технологий.

Но еще 100 лет назад такого ускорения развития развивающихся стран за счет развитых не происходило. Таким образом, мы видим, что технологии стали иным образом передаваться от одних стран к другим в последнее столетие. И этот процесс может еще сильнее измениться в дальнейшем. С одной стороны, может произойти дальнейшее снижение барьеров передачи технологий (если этот процесс не будет замедлен противостоянием). Но с другой стороны, сами развивающиеся страны могут начать вносить значительно больший вклад в развитие технологий человечества, и это даст дополнительные выгоды развитым странам в результате синергетического эффекта. Варианты реализации этих возможностей могут существенно влиять на достоверность прогнозов.

Отметим еще одно следствие сделанного выше прогноза возможного прекращения роста ВВП и ВВП на душу населения. В качестве последствий такого хода событий может быть стагнация развития человечества. Современный бизнес нацелен на постоянный рост производства, и его отсутствие считается большой проблемой. Указанный выше результат означает, что рост вообще может прекратиться, останутся только колебания или медленный дрейф. Это не означает состояния постоянного кризиса, это просто совершенно другая логика существования экономики. Кроме того, инновационные процессы могут приобрести совершенно иной характер – будет внедряться в новых местах и условиях то, что уже давно известно, а принципиально новые технологии создаваться не будут. И это следствие перехода человечества к стадии демографического перехода, а затем «демографической стабилизации», хотя, естественно, есть и другие альтернативы, которые мы рассмотрим ниже.

С точки зрения стремления к увеличению уровня жизни населения Земли важно понять, какой стратегии роста населения следует придерживаться. Многие авторы начиная с Мальтуса считали, что для этого необходимо ограничивать рост населения Земли, в связи с чем до сих пор обсуждаются теории типа «золотого миллиарда». В ряде стран действуют программы сокращения рождаемости.

В то же время проведенный выше анализ (формула 3.13) показывает, что рост конечного населения Земли  $N_{\max}$  позволяет увеличить благосостояние всех жителей Земли, включая и массовое население богатых стран. Но увеличить население Земли и компенсировать депопуляцию развитых стран можно, прежде всего, за счет этносов, имеющих низкий ВВП на душу населения и соответственно высокий уровень рождаемости (см. рис. 3.3). Таким образом, мировое сообщество должно очень внимательно относиться к возможности увеличения населения Земли и рассматривать ее как *потенциально лучшую демографическую стратегию*. При этом, конечно, следует тщательно взвешивать и реальность опасности исчерпания природных ресурсов.

### Основные результаты главы 3

Дифференциальное уравнение роста численности человечества ( $N$ ) в зависимости от времени ( $T$ ) имеет вид

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

а его аналитическое решение, хорошо согласующееся со статистическими данными, –

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

Хотя решение (3.3) и получено с использованием феноменологического выражения для  $G/N$  (1.11), однако в форме (3.1) оно носит более фундаментальный характер и демонстрирует, что основным фактором, влияющим на рост человечества, является валовой внутренний продукт на душу населения, т.е. экономический фактор, а не близость к дате *сингулярности*, как в уравнении, предложенном С.П. Капицей.

Рассмотренная математическая модель роста численности человечества имеет преимущества по сравнению с работами других авторов. Так, в отличие от модели М. Кремера эта модель позволяет получить результат в виде аналитических функций, без введения дополнительных эмпирических параметров, что улучшает возможности проверки ее адекватности и делает ее более наглядной. В отличие от модели А.В. Коротаяева, А.С. Малкова, Д.А. Халтуриной<sup>91</sup> данная модель не требует введения дополнительного параметра грамотности женщин, что важно с точки зрения принципа «бритвы Оккама».

Предложенный подход к решению задачи демографического перехода указывает на важность для популяционной динамики акта принятия семьями решения по выбору одной из двух альтернатив: воспитывать детей или работать по найму. Хотя ВВП на душу населения и играет доминирующую роль в данном выборе, но в развитых странах общество потенциально может найти ресурсы для альтернативной мотивации семей с тем, чтобы обеспечить свою демографическую состоятельность.

Большое значение имеет полученный вывод о возможности прекращения роста мирового ВВП и ВВП на душу населения. При этом человечество может как система перейти к состоянию отсутствия развития (стагнации).

<sup>91</sup> Коротаяев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования. – М., 2005.