

МОДЕЛИ МИРОВОЙ ДИНАМИКИ

Введение

В Приложении 1 приведено описание моделей, разработанных в интересах моделирования и прогнозирования мировой разработки. Представлены модели, имеющие как базовый, так и имитационный характер (т.е. предназначенные для качественного изучения рассматриваемых процессов и для проведения количественных оценок и прогнозов).

Описание моделей приведено в следующей последовательности:

- назначение модели,
- основные допущения модели и методы моделирования,
- методика моделирования,
- результаты моделирования.

1. Модель долгосрочной демографической динамики

Назначение модели

Модель предназначена для анализа и прогноза возможных вариантов долгосрочной демографической динамики Мир-системы в целом, ее отдельных регионов и крупных стран. Модель имеет агрегированный характер. Основная переменная модели: $N(t)$ – численность населения, проживающего на рассматриваемой территории, в зависимости от времени. Анализ половозрастной структуры населения в модели не проводится.

Основные допущения модели и методы моделирования

Модель развивает изложенные в работах [Капица 1992; Найденов, Кожевникова 2003; Коротаев, Малков, Халтурина 2007; Долгоносов 2009] подходы для описания долгосрочной динамики численности населения Земли. Базовым уравнением модели является выражение:

$$\frac{dN}{dt} = rN^2 \left(1 - \frac{N}{K(N)} \right), \quad (1.1)$$

где $K(N)$ – предельная емкость среды; r – константа.

В отличие от работы [Найденов, Кожевникова 2003] в модели считается, что предельная емкость среды $K(N)$ является не постоянной, а переменной величиной, значение которой имеет разные значения для разных исторических периодов. Для определения величины $K(N)$ используется следующий алгоритм.

М.Кремер показал [Kremer 1993], что в любой период времени существует определенный предельный уровень численности населения, равный $K(A)$, который не может быть превышен при данном уровне технологического развития A . Это число K

и является текущей емкостью среды. Таким образом, мгновенная емкость среды определяется уровнем технологического развития и расширяется с ростом уровня развития технологий. Кремер также предположил, следуя С.Кузнецу [Kuznets 1960], что темпы роста технологий пропорциональны текущей численности населения:

$$\frac{dA}{Adt} = cN. \quad (1.2)$$

Данное уравнение, называемое уравнением Кузнец-Кремера, представляет собой уравнение технологического развития. Эмпирическая проверка уравнения (1.2), проведенная в работе [Коротаев, Малков, Халтурина 2007], показала его полное соответствие имеющимся данным вплоть до 1980-х гг. Из рассмотрения уравнения (1.2) также следует, что мгновенная емкость K может расширяться пропорционально темпам роста уровня развития технологий. Следовательно:

$$K(A) \sim N. \quad (1.3)$$

С другой стороны, с ростом численности населения растет антропогенная нагрузка на биосферу Земли, приводящая к деградации экосистем биосферы во многих районах мира и к сокращению вследствие этого мгновенной емкости среды обитания. Причем темпы сокращения мгновенной емкости пропорциональны скорости роста численности населения:

$$\frac{dK}{Kdt} = \kappa \frac{dN}{dt}, \quad (1.4)$$

где $\kappa = const$.

Отсюда следует, что:

$$K \sim \exp(-\kappa N) \quad (1.5)$$

Объединяя (1.4) и (1.5) получаем:

$$K \sim N \exp(-\kappa N) \quad (1.6)$$

Добавляя к (1.6) стационарный уровень численности населения мира (страны) приходим к окончательной формуле для мгновенной емкости среды обитания, которая определяется исключительно численностью населения, т.е. демографическим императивом:

$$K = N_e + \gamma N \exp(-\kappa N) \quad (1.7)$$

где $\gamma = const$.

Вопрос о допустимой численности населения Земли как стационарного уровня является одним из фундаментальных вопросов современности. Существуют различные оценочные способы определения стационарной численности населения мира N_e , которые освещены в работе [Федотов 2002]. Анализ показывает, что наиболее вероятное, научнообоснованное значение допустимой численности населения Земли лежит в диапазоне от 2 до 7 млрд чел. На основании работ [Акимов 2008; Долгоносков 2009] в модели принято $N_e = 5,2$ млрд чел. Следует отметить, что имеется острая необходимость в разработке надежных и достаточно точных методов оценки допустимой стационарной численности населения как для мира в целом, так и для отдельных стран.

Стационарная численность населения отдельной страны приближенно может быть найдена путем деления стационарной численности населения мира на индекс

антропогенной нагрузки интересующей страны, для которого имеются специальные таблицы [Федотов 2002]. Например, если для мира в целом взять $N_c=5,2$ млрд чел., то для Китая – $N_{ck}=1,2$ млрд чел., а для Индии – $N_{ci}=0,98$ млрд чел.

В работе [Горшков 1995] показано, что биота способна регулировать и стабилизировать окружающую среду, если величина потребления человеком первичной биологической продукции не превышает примерно 1% от всей продукции биосферы. Там же подсчитано, что величина допустимого биопотребления соответствует допустимому населению Земли около 1 млрд чел., что было достигнуто уже примерно к 1820-м гг. В настоящее время человечество потребляет по оценкам около 22–23% планетарной биомассы [Горшков 1995]. Таким образом, человечество уже более чем в 20 раз превысило допустимый предел естественной устойчивости биосферы. Для учета этого обстоятельства выражение (1.7) в модели записывается в виде:

$$K=N_c+\gamma(N-N_0)\exp[-\kappa(N-N_0)], \quad (1.8)$$

где $N_0=1$ млрд чел.

Кроме того, при моделировании учитываются задержки во времени, характерные для рассматриваемых в модели процессов.

Методика моделирования

В соответствии с вышеизложенным модель включает в себя следующие соотношения, учитывающие задержки во времени τ_1 , τ_2 и τ_3 :

$$\frac{dN}{dt} = rN^2(t-\tau_1) \left\{ 1 - \frac{N(t)}{K(N, \tau_2, \tau_3)} \right\}, \quad (1.9)$$

$$K(N, \tau_2, \tau_3) = N_c + \gamma[N(t-\tau_2) - N_0] \exp\{-\kappa[N(t-\tau_3) - N_0]\}, \quad (1.10)$$

где τ_1 – среднее время наступления репродуктивной способности; τ_2 – время диффузии базисных технологий; τ_3 – запаздывание реакции биосферы на антропогенную нагрузку.

При проведении расчетов принято $\tau_1=25$ лет, $\tau_2=25-30$ лет, $\tau_3=100$ лет, $N_0=1$ млрд чел., $N_c=5,2$ млрд чел. Выбор параметров r , κ и γ определяется расчетным сценарием. Согласование значений этих параметров проводится путем тестирования модели на исторических данных (отклонения расчетных и реальных данных должны быть минимальными) с использованием метода наименьших квадратов.

Расчеты ведутся по следующей схеме.

На основе анализа существующих демографических данных определяется временной интервал, для которого имеется надежная статистика, выбирается начальный момент времени t_0 для проведения расчетов и соответствующее ему значение $N(t_0)$. Проводятся тестовые расчеты для выбранного временного интервала с целью определения и согласования значений параметров r , κ и γ для рассматриваемых сценариев. После настройки модели проводятся расчеты демографической динамики на прогнозный период при выбранных значениях параметров r , κ и γ .

На рис. 1.1 представлены результаты прогнозных расчетов демографической динамики для мира в целом при различных сценариях развития. Тестирование модели проводилось на интервале времени 1820-2006 г. с использованием базы данных [World Population Prospects 2005].

Как видно из рисунка, модель (1.9)–(1.10) дает возможность представить различные сценарии развития народонаселения: рост с аperiodическим возвратом к стационарному уровню (сценарий 2); рост и стабилизация вокруг стационарного уровня с помощью затухающих колебаний численности (сценарий 1). Эта модель, благодаря введению временных запаздываний τ_1 , τ_2 и τ_3 , позволяет эффективно использовать предысторию демографической динамики на протяжении около 100 лет и поэтому дает хорошее совпадение с фактическими данными в ретроспективе.

На рис. 1.2 представлены прогнозные траектории демографической динамики для Китая и Индии.

Из рис. 1.2 видно, что благодаря введению жесткого механизма контроля рождаемости, в Китае демографическая динамика представляет собой плавную траекторию роста с аperiodическим возвратом на стационарный уровень. А вот Индия, если там не будут предприняты аналогичные меры, скорее всего, столкнется с масштабным экологическим кризисом. Вследствие этого начнется резкая убыль населения, численность которой впоследствии стабилизируется с большими издержками в затухающем колебательном режиме.

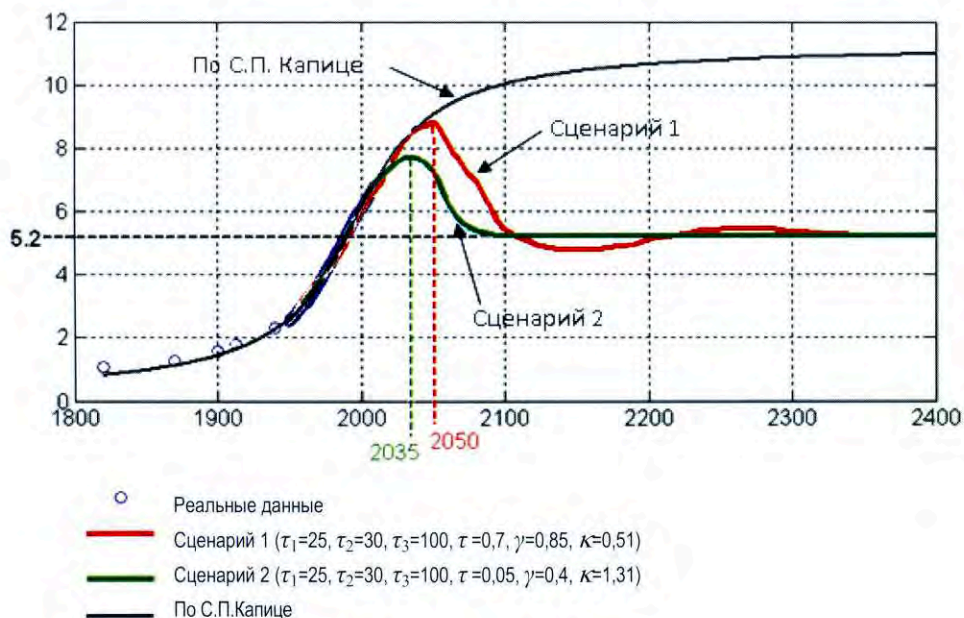


Рисунок 1.1.

Прогноз динамики численности населения мира (млрд чел.)

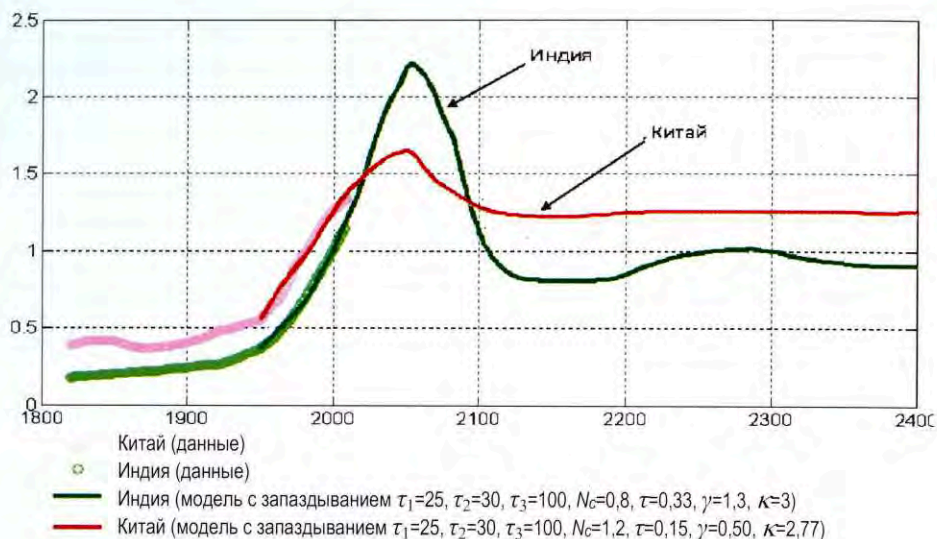


Рисунок 1.2

Прогноз динамики численности населения Китая и Индии в XXI–XXII вв. (млрд чел.)

На рис. 1.3 представлены различные сценарии развития демографической динамики для Японии, страны, которая, безусловно, способна обеспечить устойчивое развитие, однако из-за территориальной стесненности вряд ли будет развиваться по модели, предложенной Капицей.

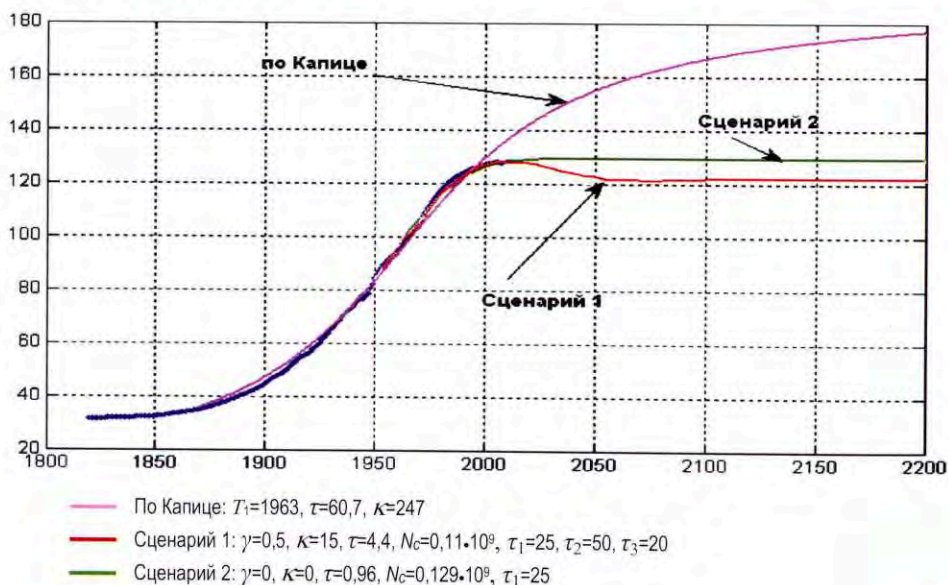


Рисунок 1.3

Прогнозная динамика численности населения Японии в XXI веке (млн чел.)

Более вероятные сценарии для Японии – это, скорее всего, рост с возвратом на стационарный уровень (сценарий 1), со стабилизацией населения на уровне в 120 млн чел. начиная с 2050 г. Данный сценарий более других соответствует ретроспективным данным, в особенности фактической демографической динамике последних десятилетий. Следует также отметить, что Китай демонстрирует подход к устойчивому развитию, характерному для развивающихся стран. Китай разработал страновую стратегию устойчивого развития, названную «Китайская повестка дня на XXI век. – Белая книга о населении, окружающей среде и развитии Китая в XXI веке» [China's Agenda 21 1994]. Если цели устойчивого развития для авангардных стран больше сдвинуты в сторону охраны окружающей среды [Браун, 2003], то Китай в своей программе устойчивого развития, делает упор на экономический рост. Именно в росте Китай видит возможность изыскания в дальнейшем средств и технологий для охраны окружающей среды. Если эта программа будет реализована в полной мере, то, безусловно, Китай сможет обеспечить устойчивое развитие и реализовать прогнозируемый сценарий демографической динамики (см. рис. 1.2).

Классики экономической науки, создававшие теорию и расчетные модели для долгосрочного экономического роста, лауреаты Нобелевской премии Роберт Солоу [Solow 1956] и Ян Тинберген [Тинбэрхэн и Бос 1967] жили в эпоху гиперболического роста населения Земли, поэтому в своих моделях экономического роста они исходили из предположения о том, что численность населения (соответственно и численность занятых в экономике) растет по экспоненциальному закону, т.е. с постоянным ежегодным темпом:

$$\frac{dN}{Ndt} = n = \text{const} \quad N = N_0 \exp(nt)$$

Действительно, в XX столетии, вплоть до 1990-х гг., когда демографический переход уже ознаменовался заметным спадом темпов роста, экспоненциальный закон на протяжении нескольких десятков лет очень хорошо аппроксимировал гиперболический рост населения и последующее замедление роста.

Однако, как мы видели выше, после демографического перехода начали реализовываться различные сценарии демографической динамики от наиболее желательного устойчивого роста со стабилизацией по модели Капицы (например, для США, многих стран Западной Европы, Бразилии и других благополучных стран) до сценариев роста с аperiodическим возвратом (как у Китая) или же с возвратом в режиме затухающих колебаний (как возможно будет у Индии). Поэтому при разработке прогностических моделей для XXI века необходимо учитывать указанные сценарии развития. Между тем устаревшее предположение о постоянстве темпов роста численности населения все ещё присутствует в современных схемах расчета долгосрочного экономического роста, а также в большинстве современных учебников по макроэкономической динамике [Шараев 2006; Прасолов 2008].

В этой связи, разработанная нелинейная модель демографической динамики с тремя запаздываниями, как весьма гибкая модель, исходящая исключительно из демографического императива, может с успехом служить основой для создания моделей долгосрочного прогнозирования социально-экономических и энергоэкологических процессов.

2. Модель долгосрочной экономической динамики

Назначение модели

Модель предназначена для анализа и прогноза возможных вариантов долгосрочной экономической динамики Мир-системы в целом и крупных стран. Модель имеет агрегированный характер, основной рассчитываемый показатель: $Y(t)$ – валовой внутренний продукт (ВВП), производимый в рассматриваемой экономической системе. Основными переменными модели являются факторы производства, от которых зависит значение ВВП. Рассматривается трендовая динамика без учета циклических процессов.

Основные допущения модели и методы моделирования

Модель основана на расчете величины ВВП как функции факторов производства, количественные значения которых определяются с помощью специальных вычислительных процедур. Принципиальным вопросом моделирования является определение зависимости ВВП от факторов производства. Для описания экономического развития индустриально развитых стран Р.Солоу [Solow 1956] предложил неоклассическую модель роста:

$$Y(t) = A(t)K^{\alpha}(t)L^{1-\alpha}(t), \quad (2.1)$$

где $Y(t)$ – текущий объем выпуска национальной продукции (ВВП); $K(t)$ – текущий объем физического капитала; $L(t)$ – численность занятых в экономике (труд); $A(t)$ – технический прогресс (уровень развития технологий). Эта модель хорошо отражает ситуацию, когда ключевую роль в экономическом развитии играет физический капитал.

Однако в последние десятилетия все более возрастающую роль в экономическом развитии играет человеческий капитал, который становится ведущим фактором производства. Таким образом, возникла необходимость учета человеческого капитала в производственной функции наряду с физическим капиталом, трудом и природными ресурсами. Наиболее простым способом – введением человеческого капитала в базовую модель роста Солоу – это сделали Г.Мэнкью, Д.Ромер и Д.Уэйл [Mankiw, Romer, Weil 1992], предложив следующую модель роста с техническим прогрессом нейтральным по Харроду:

$$Y(t) = K^{\alpha}(t)H^{\beta}(t)[A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta}, \quad (2.2)$$

где $H(t)$ – человеческий капитал; $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\alpha + \beta < 1$. В этой модели человеческий капитал выступает как производственный фактор и процесс его накопления принимается аналогичным таковому для физического капитала. Верификация модели (1.12), проведенная авторами на основе весьма обширных эмпирических данных для более чем 120 стран мира, показала, что она весьма удовлетворительно описывает динамику экономического роста как в развитых, так и в развивающихся странах, а также различия в характере роста развивающихся и развитых стран. Модель Мэнкью–Ромера–Уэйла остается экзогенной и также как модель Солоу зависит от внешнего технического прогресса.

В работе [Акаев 2010] была предложена схема эндогенизации модели (2.2), использующая эмпирический закон Калдора [Kaldor 1961], в соответствии с кото-

рым можно принять: $K=c_K Y$, $H=c_H Y$, где c_K , c_H – константы. Численность занятых в экономике L связана с общей численностью населения зависимостью $L=eN$, где e – доля работающих в населении. Подстановка этих соотношений в модель Мэнкью–Ромера–Уэйла (2.2) приводит к приближенной формуле для расчета ВВП:

$$Y = \gamma AN, \quad \gamma = e C_K^{1-\alpha-\beta} C_H^{\alpha-\beta}. \quad (2.3)$$

При использовании формулы (2.3) для прогнозных оценок экономического развития необходимо знать динамику численности населения и технического прогресса. Динамика численности населения может быть оценена, например, с помощью выражения (1.1). Оценка динамики технического прогресса $A(t)$ требует специального рассмотрения.

В Разделе 1.1 было отмечено, что уравнение Кузнеця–Кремера:

$$\frac{dA}{A dt} = bN, \quad (2.4)$$

описывающее технологический рост (технический прогресс), справедливо только на этапе, предшествующем демографическому переходу. Чарльз Джонс [Jones 1995] показал, что в современных условиях вместо уравнения Кузнеця–Кремера целесообразно использовать так называемое «НИОКР–уравнение»:

$$\frac{dA}{A dt} = a \frac{L_A}{L} = a l_A, \quad (2.5)$$

где L_A – численность ученых, инженеров и технических работников, занятых в НИОКР; L – общая численность рабочих, занятых в экономике; l_A – доля занятых в НИОКР в общей численности рабочих; a – постоянный коэффициент. Однако сам Джонс обнаружил, что и это уравнение неудовлетворительно, поскольку для США, например, в последние 50 лет эта доля постоянно нарастала, хотя средние темпы совокупной факторной производительности оставались относительно постоянными и даже замедлялись с недавнего времени. Поэтому Джонс высказал пожелание, что было бы желательно найти способ сохранить базовую структуру предлагаемого им НИОКР–уравнения (2.5), исключив влияние эффекта масштаба, что не наблюдается на практике.

Ниже в Разделе 1.5 показано, что указанным требованиям отвечает уравнение:

$$\frac{d}{dl_A} \left(\frac{dA}{A dt} \right) = a l_A (l_M - l_A), \quad (2.6)$$

где l_M – величина доли занятых в НИОКР в режиме насыщения. Данное уравнение учитывает универсальный принцип убывающей отдачи от масштаба:

$$\frac{d}{dl_A} \left(\frac{dA}{A dt} \right) \rightarrow 0$$

при $l_A \rightarrow l_M$.

Уравнение (2.6), описывающее динамику технического прогресса (или совокупной факторной производительности) через долю занятых в сфере НИОКР, является довольно простым и практичным и может быть использовано для прогнозных расчетов, поскольку статистические данные по численности занятых в НИОКР широкодоступны.

Уравнение (2.6) легко интегрируется и имеет решение:

$$q_A^0 = \frac{dA}{Adt} = q_{A0} + \frac{a}{6} \{ l_A^2 (3l_M - 2l_A) - l_{A0}^2 (3l_M - 2l_{A0}) \} \quad (2.7)$$

Откуда можно вычислить значение $A(t)$:

$$A = A_0 \exp \left\{ \int_{T_0}^T q_A^0(t) dt \right\}. \quad (2.8)$$

Здесь и выше: T_0 – начальный момент отсчета времени; l_{A0} – доля занятых в НИОКР в начальный момент времени.

Зависимость l_A от времени аппроксимируется в модели логистической функцией, поскольку это процесс с насыщением:

$$l_A(T - T_0) = l_{A0} \frac{1 + l_1}{1 + l_1 \exp[-\beta(T - T_0)]}, \quad (2.9)$$

где l_1, β – постоянные параметры и $l_{A0}(1 + l_1) = l_M$.

Уравнение (2.6) описывает технический прогресс, обусловленный процессом разработки и внедрения собственных технологических инноваций, за счет расширения сферы НИОКР, которая вызывает постепенное повышение доли занятых в НИОКР, описываемой восходящей логистической функцией (2.9). Однако любая развивающаяся страна, в первую очередь, использует технологии уже освоенные авангардными в научно-техническом отношении странами. Причем, с ростом собственных технологических достижений, как правило, идет постепенное сворачивание процесса заимствования технологий извне. Известно, что процесс замещения технологий хорошо описывается логистической функцией [Сахал 1985]. Поэтому технический прогресс, обусловленный заимствованием технологий извне, можно описать нисходящей логистической функцией:

$$q_A^b = d_m \frac{d}{1 + d \exp[\vartheta(t - T_S)]}, \quad (2.10)$$

где d, ϑ, d_m – параметры логистической функции, причем, $(q_A^b d)_{\max} = dd_m$; T_S – начальный момент времени, когда начинается масштабная диффузия заимствованных технологий.

В общем случае темпы технического прогресса определяются вкладом как собственных технологий (2.7), так и заимствованных (2.10):

$$q_A = q_A^0 + q_A^b. \quad (2.11)$$

Верхние индексы в данном соотношении означают: «o» (own) – собственный; «b» (borrow) – заимствованный. Следовательно, формула (2.8) для вычисления динамики технического прогресса запишется в следующем виде:

$$A = A_0 \exp \left\{ \int_{T_0}^T (q_A^0 + q_A^b) dt \right\}. \quad (2.12)$$

Для тех стран, где доля занятых в НИОКР достигла насыщения и $I_A \cong I_M$, естественно сразу принять $q_A^0 = q_{A0} = \text{const}$. Тогда из (2.8) следует следующая формула для расчета динамики технического прогресса:

$$A = A_0 \exp[q_{A0}(T - T_0)]. \quad (2.13)$$

Динамика технического прогресса мира в целом вычисляется по формуле:

$$A = A_0 \exp \left[b \int_{T_0}^T N(t) dt \right] \quad (2.14)$$

что предполагает справедливость уравнения Кузнецова–Кремера (2.4) на глобальном уровне.

Методика моделирования

В соответствии с вышеизложенным модель долгосрочной экономической динамики включает в себя следующие уравнения: (2.3), (2.7), (2.9), (2.10), (2.12), а также уравнения для демографической динамики $N(t)$. Демографическая динамика определяется на основе специальной модели, например, модели (1.9)–(1.10) или модели С.П.Капицы [Капица 1992].

Параметры модели задаются на основе эмпирических данных либо оцениваются на основе процедуры идентификации с использованием эмпирических данных.

Расчеты ведутся по следующей схеме.

На основе анализа эмпирических данных определяется временной интервал, для которого имеется надежная статистика, выбирается начальный момент времени t_0 для проведения расчетов и соответствующие ему значения переменных модели. Проводятся тестовые расчеты для выбранного временного интервала с целью определения и согласования значений параметров модели для рассматриваемых сценариев. После настройки модели проводятся расчеты величины ВВП на прогнозный период при выбранных значениях параметров.

Результаты моделирования

На основе изложенной выше методики было проведено тестирование модели, а также проведены прогнозные расчеты мирового ВВП и ВВП наиболее крупных стран мира.

Мировой ВВП, в соответствии с формулой (2.3) и соотношением $A = A_0 N^{1+\delta}$, $\delta = (b-r)/r$, справедливым для стадии гиперболического роста населения мира ($T < T_0$), определяется выражением:

$$Y(T) = \begin{cases} \varepsilon [N(T)]^{2+\delta}, & T < T_0 \\ \varepsilon [N_0]^{1+\delta} N(T) \cdot e^{a(1+\delta) \int_{T_0}^T N(t) dt}, & T > T_0 \end{cases} \quad (2.15)$$

Здесь параметры ε и δ определяются методом наименьших квадратов на основе фактических данных до момента $T_0 = 1970$ г. (данные по мировому ВВП и ВВП отдельных стран были взяты из базы GGDC, URL: <http://www.ggdc.net/databases/hna.htm>).

Параметр α затем находится методом наименьших квадратов с учетом данных с $T_0=1970$ г. по настоящее время. Приближение данных до момента T_0 приведено на рис. 2.1. Приближение данных на промежутке от T_0 до настоящего времени приведено на рис. 2.2. Графики свидетельствуют о достаточно хорошем приближении данных. При приближении по сценариям 1 и 2 максимальная ошибка не превосходит 2,2 трлн долл., а среднеквадратическое отклонение – 0,6 трлн долл.

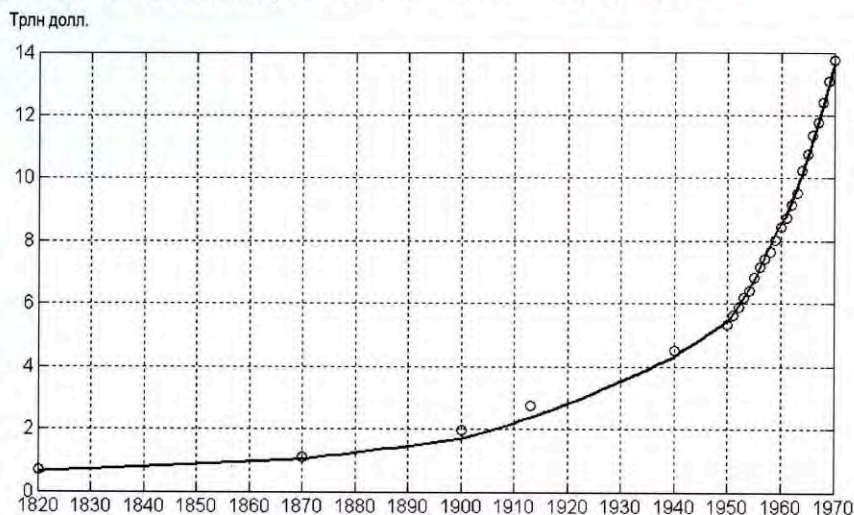


Рисунок 2.1
Приближение ВВП до 1970 г.
(маркеры соответствуют реальным данным)

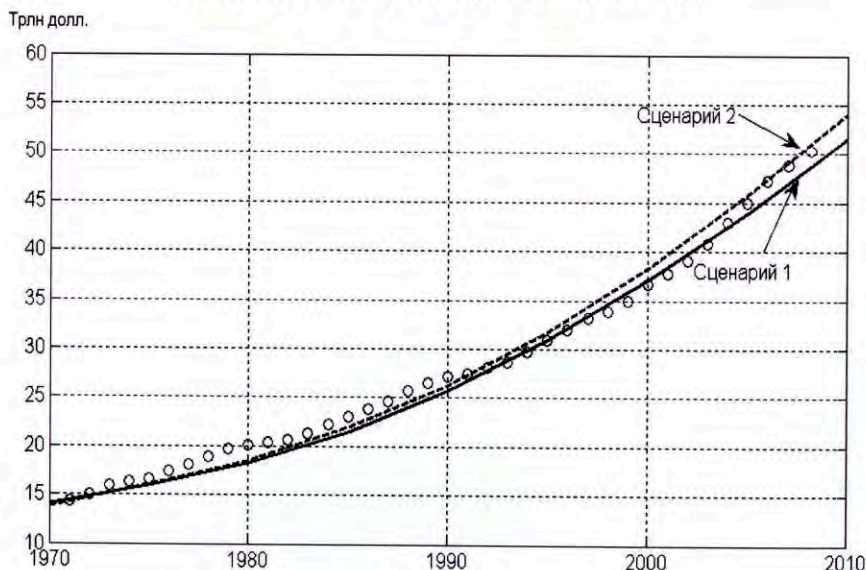


Рисунок 2.2
Приближение ВВП с 1970 г. по настоящее время
(маркеры соответствуют реальным данным)

Результаты расчета ВВП мира приведены на рис. 2.3 для трех сценариев динамики населения: по Капице и сценариев 1–2 (см. рис. 1.1), реальные данные обозначены маркерами. При реализации первого сценария к 2100 г. ВВП мира несколько превысит 470 трлн долл., а при осуществлении второго – будет находиться на уровне 330 трлн долл.

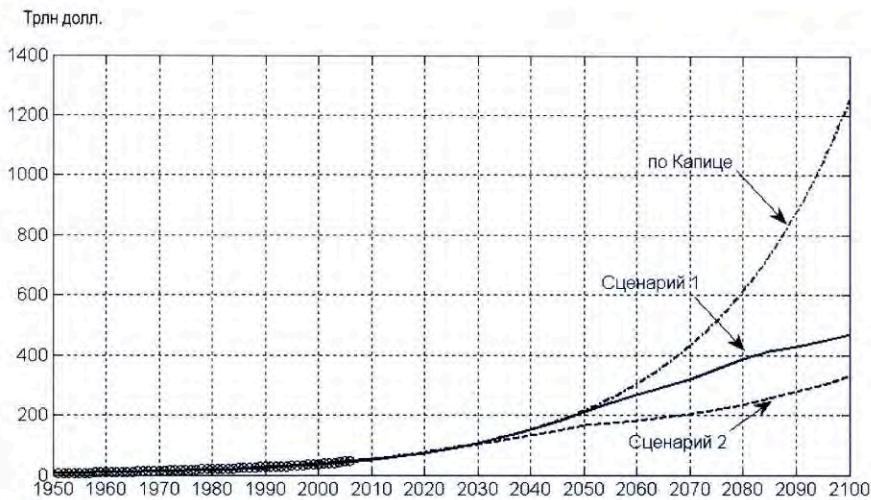


Рисунок 2.3
ВВП мира до 2100 г. (постоянные цены 1990 г.)

Для расчета динамики ВВП отдельных стран необходимо оценить начальные темпы технического прогресса, обусловленные развитием общих технологий. Данная величина оценивалась двумя способами. Первый заключается в использовании уравнения Кузнеца–Креммера (2.4). Его решением является $A = A_0 N^{1+\sigma}$, и q_{A0} можно оценить методом наименьших квадратов из соотношения $A/A_0 = N^{1+\sigma} = N_0 \exp(q_{A0} t)$, выбирая в качестве временного интервала период стабильного развития каждой отдельно взятой страны. Второй способ заключается в оценке величины q_{A0} через темпы населения. Поскольку:

$$q_{A0} = \frac{dA}{A dt} = (1 + \delta) \frac{dN}{N dt} = (1 + \delta) q_N$$

где q_N – темпы роста населения, то из среднего значения темпов роста населения определяется q_{A0} . Оба способа для рассматриваемых стран привели к практически одинаковым результатам. Так, для США значение q_{A0} составило 0,015, для Германии – 0,029, для Японии – 0,021, для Китая – 0,025, для Индии – 0,014. По различным оценкам, доля темпов технического прогресса, обусловленная развитием технологий, составляет от 25 до 50% от общих темпов технического развития, что и было учтено в расчетах.

Приведем способ построения логистических функций (2.9) и (2.10), входящих в модель технического прогресса.

Технический прогресс, обусловленный заимствованием технологий извне, описывается нисходящей логистической функцией (1.19). Параметры d_m , d , ϑ в (2.10)

определяются из следующих условий. Задается q_s – стартовый уровень заимствования технологий в момент времени T_s , кроме этого задается время T_e , соответствующее практическому окончанию заимствования, именно предполагается, что интервал $[T_s, T_e]$ соответствует «жизненному циклу логисты», когда ее значения находятся в пределах 10–90% от асимптотического значения q_A^b , max. Данный подход проиллюстрирован на рис. 2.4

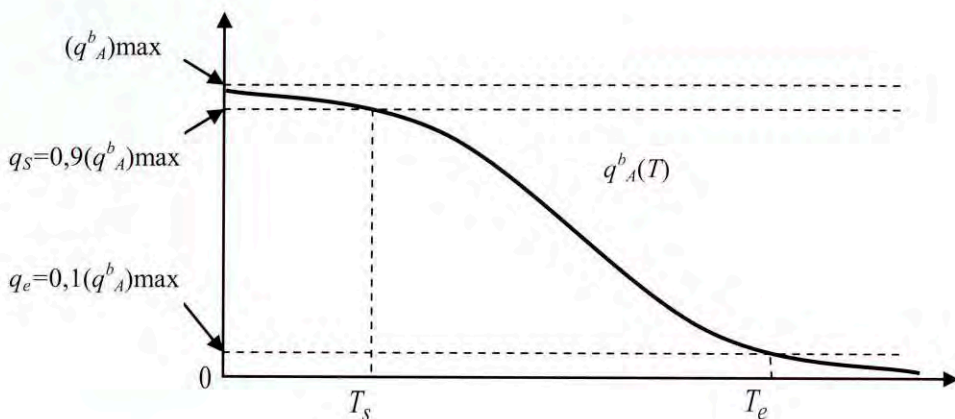


Рисунок 2.4
Нисходящая логистическая функция
для прогноза динамики заимствования технологий

Предлагаемый способ определения нисходящей логистической функции приводит к следующим формулам для вычисления ее параметров d_m , d , ϑ :

$$(q_A^b)_{\max} = q_s / 0.9$$

$$d = \frac{(q_A^b)_{\max}}{q_s} - 1$$

$$d_m = \frac{(q_A^b)_{\max}}{d}$$

$$\vartheta = \frac{1}{T_e - T_s} \ln \left(\frac{9}{d} \right)$$

Динамика доли занятых в НИОКР описывается логистической функцией (2.9), в которой подлежат определению параметры β , l_1 , T_0 и l_{A0} . Если имеются достаточно полные данные $(t_k, l_{A,k})$ по доле занятых в НИОКР для рассматриваемой страны, то параметры β , l_1 , T_0 находятся по методу наименьших квадратов из условия:

$$\min_{\beta, l_1, T_0} \sum_k (l_{A,k} - l_A(t_k - T_0))^2$$

при ограничении на асимптотическое значение логисты:

$$I_{A0}(1 + I_1) = I_M$$

При этом значение I_M назначается из типичного значения для тех стран, в которых доля занятых в НИОКР практически достигла насыщения.

Если же достаточно полные данные по доле занятых в НИОКР ($t_k, I_{A,k}$) отсутствуют, то логистическая функция (2.9) строится способом, схожим с рассмотренным выше для нисходящей логистической функции, которая описывает заимствование технологий. Задается уровень насыщения I_M , далее считается, что в момент времени T_0 значение I_A должно составлять $0,1 I_M$, а в некоторый момент времени T_e значение I_A должно составлять $0,9 I_M$. Соответствующий график приведен на рис. 2.5.

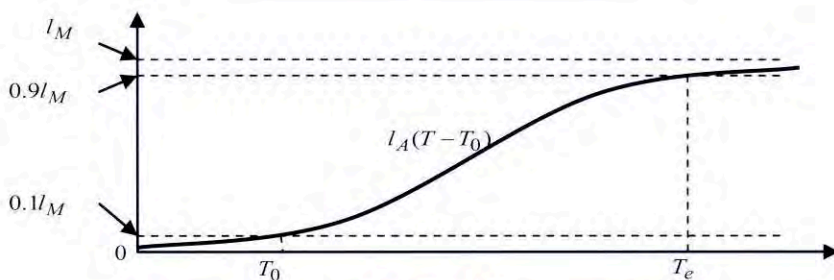


Рисунок 2.5

**Построение логистической функции $I_A(T - T_0)$
для прогноза динамики доли занятых в НИОКР**

Перейдем к результатам расчета динамики ВВП для развитых и развивающихся стран.

Для США данные по доле населения, занятой в НИОКР, и соответствующий прогноз до 2100 г. при помощи логистической функции (1.18) приведены на рис. 2.6. Доля занятых в НИОКР стабилизируется на уровне 0,006 от общей численности населения.

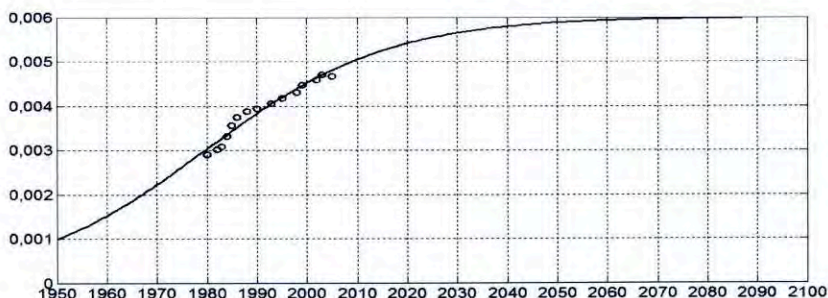


Рисунок 2.6

**Данные по доле занятых в НИОКР для США (маркеры)
и приближение логистической функцией I_A (сплошная линия)**

На основе соотношения, описывающего динамику технического прогресса, и построенной логистической функции l_A для США, найдем вклад собственных технологий в темпы технического прогресса q_A^0 . Результат приведен на рис. 2.7 вместе с нисходящей логистической функцией, описывающей процесс вымывания заимствования технологий.

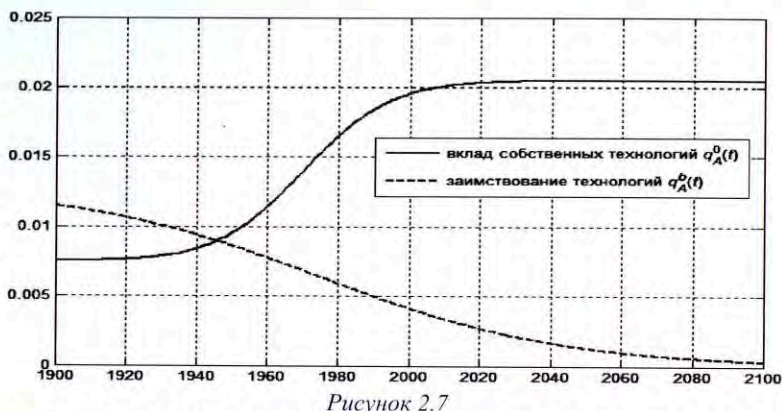


Рисунок 2.7
Развитие собственных технологий и вымывание заимствованных для США

Полученные результаты по темпам технического прогресса США позволяют спрогнозировать динамику ВВП по формуле (2.3). Соответствующие результаты представлены на рис. 2.8, причем расчет ВВП производился с 1870 г., и на графике видно хорошее совпадение расчета с реальными данными, с 1870 г. по настоящее время. Среднеквадратическое отклонение приближения с 1870 г. по 1970 г. составляет 0,13 трлн долл. или 19%, причем наибольшая ошибка приходится на годы Великой депрессии и Второй мировой войны. Среднеквадратическое отклонение приближения с 1970 г. по настоящее время составляет 0,16 трлн долл. или 3%. Результаты свидетельствуют о практически трехкратном увеличении ВВП США к 2050 г., к этому году ВВП составит 30 трлн долл. (в постоянных ценах 1990 г.). Дальнейший рост ВВП приведет к его увеличению более чем в 8 раз по сравнению с настоящим временем к 2100 г. до значения 91,6 трлн долл.

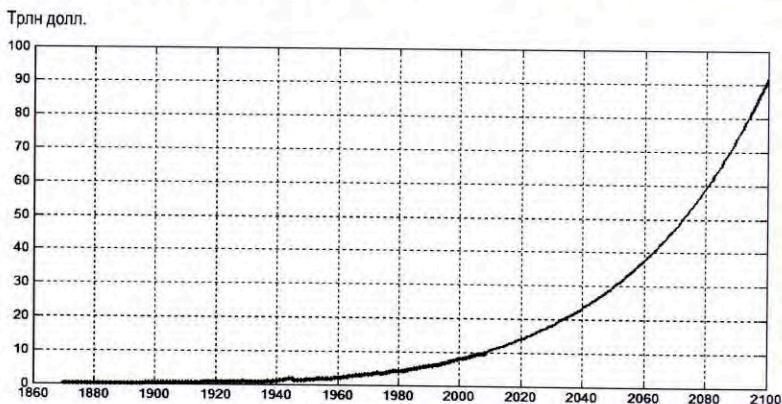


Рисунок 2.8
Данные о ВВП США (маркеры) и прогнозная динамика ВВП (линия)

Расчеты, аналогичные описанному выше для США, были проведены для Китая, Индии, Германии, Японии и ряда других стран.

Данные по Японии отлично описываются логистической функцией – доля занятых в НИОКР в режиме насыщения стабилизируется, как и в США, на уровне 0,006 от общей численности населения.

Интересна динамика вклада собственных технологий в темпы технического прогресса q_A^0 Японии и прогноз ее ВВП. Результат приведен на рис. 2.9. Этот же рисунок демонстрирует процесс стремительной убыли заимствования технологий в Японии, начинающийся со значения 0,06 в первые годы после Второй мировой войны.

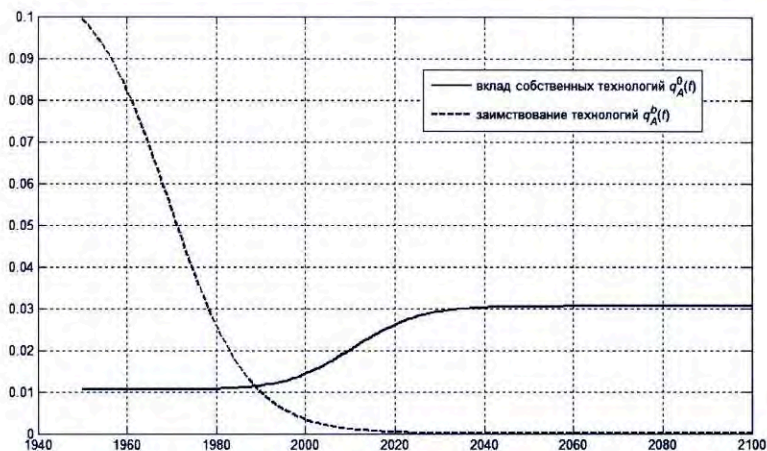


Рисунок 2.9

Развитие собственных технологий и вымывание заимствованных для Японии

Прогноз динамики ВВП Японии по формуле (2.3) представлен на рис. 2.10

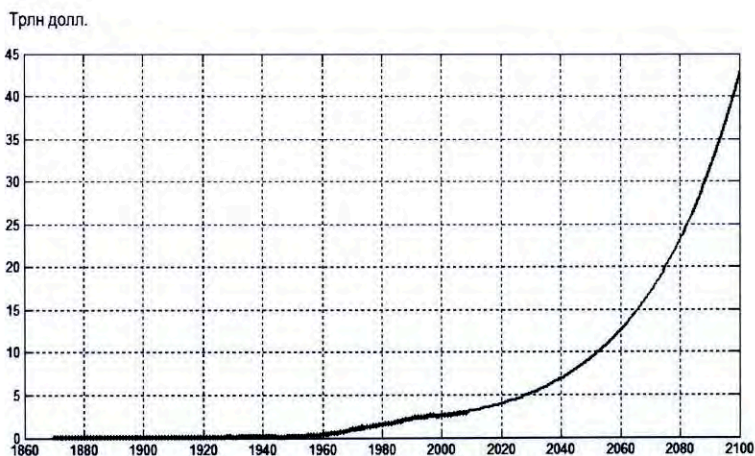


Рисунок 2.10

Данные о ВВП Японии (маркеры) и прогнозная динамика ВВП (линия)

Кривая, отвечающая расчетным значениям ВВП Японии с 1970 г. достаточно хорошо согласуется с фактическими данными с 1970 г. по настоящее время. Среднеквадратическое отклонение приближения с 1870 г. по 1970 г. составляет 0,06 трлн долл. или 47%, а среднеквадратическое отклонение приближения с 1970 г. по настоящее время составляет 0,1 трлн долл. или 5%. Полученные результаты предвещают увеличение ВВП Японии примерно в 3 раза к 2050 г., при этом ВВП составит 9,3 трлн долл. (в постоянных ценах 1990 г.). В последующем полувековом периоде Японию ожидает дальнейший рост ВВП почти до 43 трлн долл., что более чем в восемь раз превосходит текущее значение ВВП.

Для Китая результаты прогноза приведены на рис. 2.11 и 2.12. Среднеквадратическое отклонение приближения с 1870 г. по 1970 г. составляет 0,03 трлн долл. или 7%, а среднеквадратическое отклонение приближения с 1970 г. по настоящее время составляет 0,39 трлн долл. или 11%.

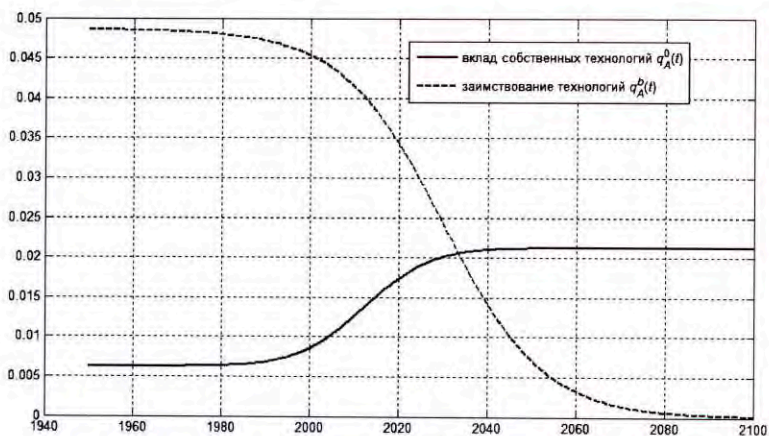


Рисунок 2.11

Развитие собственных технологий и вымывание заимствованных для Китая

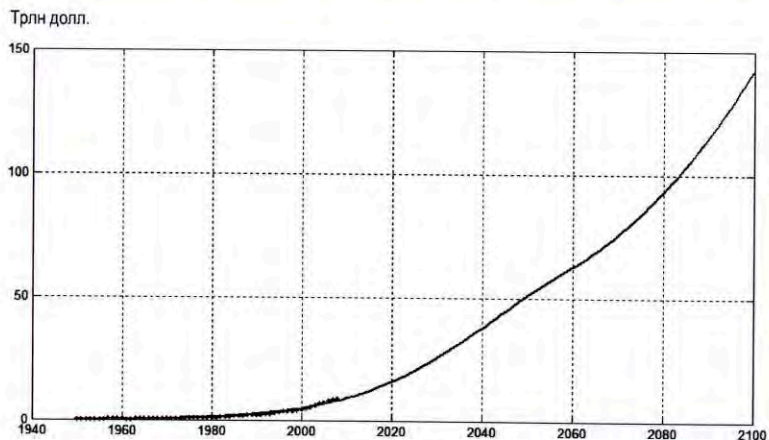


Рисунок 2.12

Данные о ВВП Китая (маркеры) и прогнозная динамика ВВП (линия)

Согласно полученным результатам, увеличение ВВП Китая более чем в 4 раза произойдет к 2050 г., при этом ВВП составит 51,1 трлн долл. За последующие 50 лет к 2100 г. ВВП Китая увеличится более чем в 10 раз по сравнению с настоящим временем, превзойдя значение 140 млрд долл. (в постоянных ценах 1990 г.).

В отношении Индии ситуация следующая. Данные по доле занятых в НИОКР для Индии, к сожалению, недоступны. Поэтому было сделано предположение о динамике доли занятых в НИОКР, представленное на рис. 2.13. Доля занятых описывается логистической функцией (2.9) с асимптотическим значением 0,003.

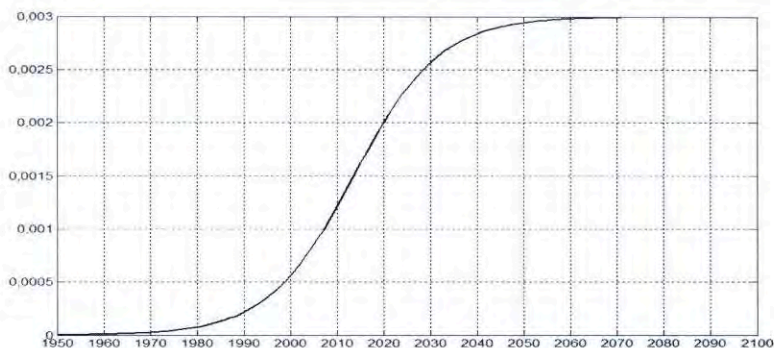


Рисунок 2.13

Прогноз доли занятых в НИОКР для Индии, логистическая функция I_A

Далее, как и в предыдущих случаях, по решению уравнения (2.7) и построенной логистической функции I_A определим вклад собственных технологий в темпы технического прогресса q_A^0 .

Используем полученные данные расчетов темпов технического прогресса Индии для прогноза динамики ВВП. Соответствующие результаты приведены на рис. 2.14.

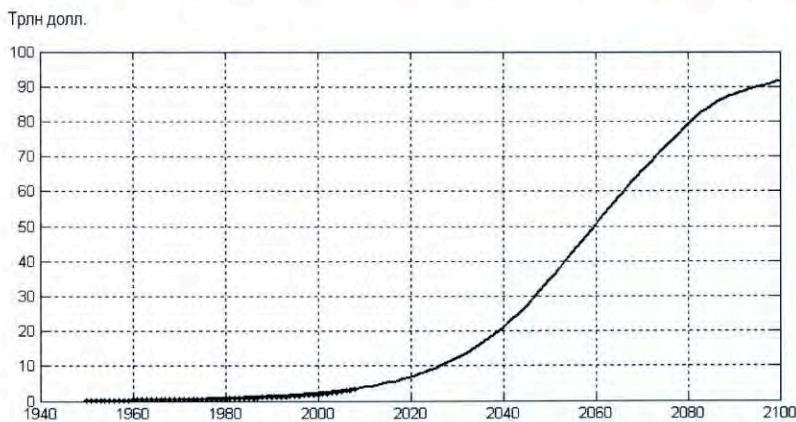


Рисунок 2.14

Данные о ВВП Индии (маркеры) и прогнозная динамика ВВП (линия)

На графике видно достаточно хорошее совпадение расчета с реальными данными в период с 1970 г. по настоящее время, для которого производилось приближение. Среднеквадратическое отклонение приближения с 1870 г. по 1970 г. составляет 0,009 трлн долл. или 3%, а среднеквадратическое отклонение приближения с 1970 г. по настоящее время составляет 0,1 трлн долл. или 8%.

Полученные результаты говорят о том, что почти десятикратное увеличение ВВП Индии ожидается к 2050 г., с достижением значения ВВП 34,6 трлн долл. Далее ВВП Индии будет быстро расти вплоть до конца 2080-х гг. и превзойдет 80 трлн долл. (в постоянных ценах 1990 г.), после чего скорость роста пойдет на спад, что связано с достижением населения Индии в 2060 г. своего максимума (см. рис. 1.2).

Расчеты, аналогичные описанным выше в этом разделе, были проведены для Германии и Великобритании.

Расчет ВВП Германии (в постоянных ценах 1990 г.) приведен на рис. 2.15. На графике видно достаточно хорошее совпадение расчета с реальными данными с 1970 г. по настоящее время. Среднеквадратическое отклонение приближения с 1870 г. по 1970 г. составляет 0,05 трлн долл. или 46%, причем наибольшее отклонение приходится на годы Второй мировой войны, а среднеквадратическое отклонение приближения с 1970 г. по настоящее время составляет 0,08 трлн долл. или 6%.

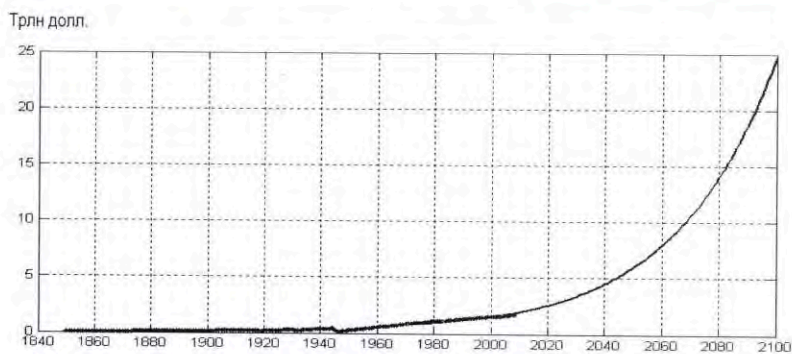


Рисунок 2.15
Данные о ВВП Германии (маркеры) и прогнозная динамика ВВП (линия)

Согласно полученным результатам, увеличение ВВП Германии более чем в 3 раза произойдет к 2050 г., при этом ВВП составит 6 трлн долл. За последующие 50 лет к 2100 г. ВВП Германии увеличится более чем в 12 раз по сравнению с настоящим временем, практически достигнув значения 25 млрд долл. (в постоянных ценах 1990 г.).

Итоговое сравнение динамики ВВП развитых и развивающихся стран вплоть до 2100 г. представлено на рис. 2.16.

Полученные результаты показывают, что в ближайшее время ВВП Китая опередит ВВП США, увеличив отрыв к 2100 г. почти на 30 трлн долл. ВВП Индии будет расти практически с такой же скоростью, как и ВВП Китая, но за счет более низкого значения ВВП в настоящее время, Индии не удастся обогнать Китай. Лишь после 2030 г. ВВП Индии превзойдет ВВП США, однако к 2080 г. ВВП Индии замедлит рост из-за демографических проблем и к 2100 г. ВВП Индии сравняется с ВВП США. Развитые страны, в частности Япония и Германия, демонстрируют устойчивый рост ВВП, однако, к 2100 г. ВВП каждой из этих стран не превзойдет и половины от ВВП США. Итоговые результаты расчета ВВП в 2050 г. и 2100 г. представлены в табл. 2.1.

Последний столбик табл. 2.1 для сопоставления содержит результаты прогноза ВВП в 2050 г. по версии OECD в постоянных ценах 2000 г. [Клинов 2010].

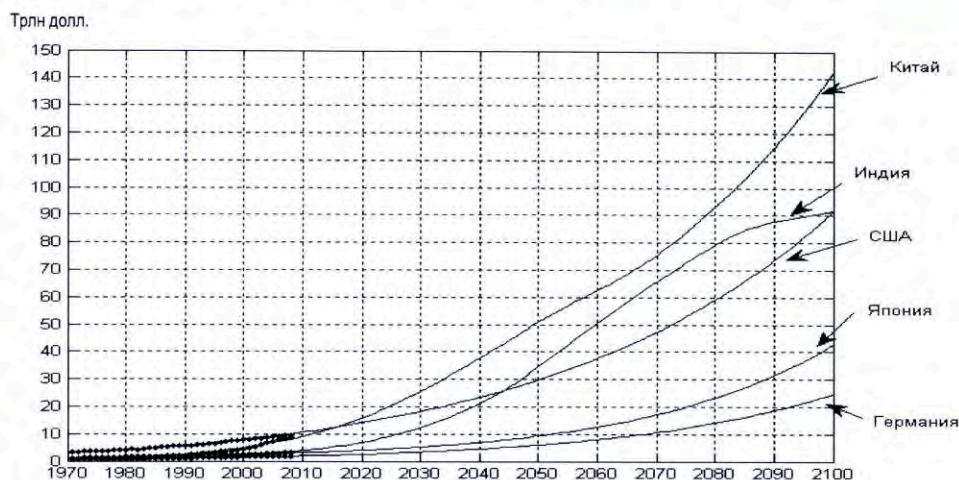


Рисунок 2.16

Сравнение динамики ВВП развитых и развивающихся стран (постоянные цены 1990 г.), прогноз ВВП (линии), реальные данные (маркеры)

Таблица 2.1

Значение ВВП в 2050 г. и 2100 г.

Страна	ВВП в 2100 (трлн долл.)	ВВП в 2050, (трлн долл.)	ВВП в 2050, (трлн долл.) (OECD)
США	91,6	30,0	36,6
Германия	24,7	6,0	5,7
Япония	42,8	9,3	8,9
Китай	142,5	51,1	50,4
Индия	91,7	34,6	39,4

Приведенные в табл. 2.1 данные свидетельствуют о хорошем совпадении значений ВВП в 2050 г., полученных по разработанной методике, с прогнозом OECD.

3. Учет энергетических ограничений

Назначение модели

Модель предназначена для анализа и прогноза энергопотребления в мире и в наиболее крупных странах, а также для оценки влияния энергетических ограничений на долгосрочную экономическую динамику. Модель имеет агрегированный характер, основными рассчитываемыми показателями являются: $E(t)$ – уровень энергопотребления, $Y(t)$ – валовой внутренний продукт (ВВП) с учетом энергетических ограничений.

Для расчета величины ВВП с учетом энергетических ограничений необходимо построить модель энергопотребления и его влияния на экономическую динамику. Энергопотребление определяется потребностями экономики в топливно-энергетических ресурсах (ТЭР), обеспечивающих индустриальное развитие и производство продовольствия. Причем, сами потребности в ТЭР могут быть рассчитаны на перспективу с использованием данных прогноза о населении.

Самым общим показателем, показывающим уровень потребления и потребностей, является потребление энергии на душу населения. Без достижения некоторого критического уровня потребления энергии невозможно достижение требуемого развития производительных сил и экономического благосостояния. В работе [Акимов 2008] было показано, что уровень потребления энергии на человека (душевое энергопотребление) для развитых стран, достигнутый сегодня, станет нормативом на будущее. Например, для развитых стран Европы – это 5 т.у.т. (тонн условного топлива) на человека в год, на всем временном интервале до 2300 г. Такой уровень потребления характерен также для Японии. При этом есть небольшой разброс. Сильно отличается лишь энергопотребление в США – 10 т.у.т. на человека в год. Важно то, что указанные нормативы душевого энергопотребления скорее несколько превышают реальные потребности, нежели занижают их. Одновременно с сокращением энергоемкости экономического роста в развитых странах, происходит стремительный рост потребления ТЭР в развивающихся и переходных экономиках, переживающих период индустриализации.

Причем для того, чтобы в условиях растущего мирового производства и энергопотребления обеспечить экологическую безопасность, необходимы огромные инвестиционные ресурсы, которые должны быть направлены на реализацию инновационных технологий по освоению альтернативных источников энергии, энергосберегающих и безотходных технологий, охрану и облагораживание окружающей среды. А это в свою очередь накладывает определенные ограничения на экономический рост.

Для проведения расчетов энергопотребления необходимо установление функциональной связи между величиной глобального потребления энергии и численностью населения мира. В [Holdren 1991] показано, что суммарное потребление энергии E в мире пропорционально квадрату численности населения Земли N :

$$E \sim N^2.$$

Данная квадратичная зависимость потребления энергии была характерна для индустриальной эпохи, и 90% приходилось на промышленное потребление энергии во всех ее формах.

К началу XXI века произошла дифференциация стран по моделям и эффективности энергопотребления. Развитые страны, после энергетического кризиса 1970-х гг., резко повысили эффективность использования энергии путем широкомасштабного использования энергосберегающих технологий.

В [Плакицкий 2006] показано, что в XXI веке душевое потребление энергии в мире не будет увеличиваться, а стабилизируется на уровне 2,5 т.у.т. на человека. При этом будет иметь место существенная региональная дифференциация мирового энергопотребления. Например, для США – это 9,5 т.у.т. на человека в год, для ЕС – 5 т.у.т., для Китая – 1,2 т.у.т., а для Индии – 0,8 т.у.т. Очевидно, что Китай и Индия в XXI веке будут наращивать свое душевое энергопотребление. В целом, предполагается, что

развивающиеся страны увеличат энергопотребление на душу населения до среднемирового уровня в 2,5 т.у.т., а развитые страны, наоборот, должны снизить до уровня примерно в 5 т.у.т., как это планируется в ЕС. Исходя из этого в [Плакиткин 2006] предложена модель энергопотребления для XXI века, которая представлена в графической форме на рис. 3.1



Рисунок 3.1

Прогноз душевого потребления энергии в развитых и развивающихся странах (т.у.т./чел.)

Для реализации энергопотребления по этой модели необходимо, чтобы эффективность использования потребляемой энергии в XXI веке росла опережающими темпами. Ожидается, что коэффициент использования потребляемой энергии будет увеличиваться по логистической кривой, как показано на рис. 3.2

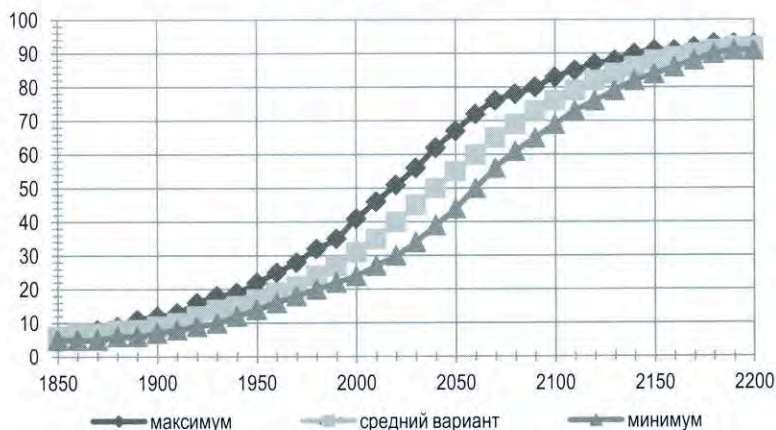


Рисунок 3.2

Прогноз коэффициента использования энергии в развитых странах (%)

Коэффициент использования энергии отражает уровень технологического развития в энергетике. Все это справедливо как для развитых, так и развивающихся стран с некоторыми временным сдвигом, который будет постепенно уменьшаться. Благодаря этому душевое потребление энергии стабилизируется на уровне 2,5 т.у.т., чего вполне достаточно для комфортного проживания современного человека.

В соответствии с вышесказанным сценарии энергопотребления для развитых и развивающихся стран в XXI веке можно описать логистическими кривыми:

а) динамика энергопотребления E_d развивающихся стран (Китай, Индия, Бразилия и другие страны) описывается восходящей логистической кривой:

$$E_d = e_d N_d(T) = \frac{e_d^{(0)}(1+\rho)N_d(T)}{1+\rho \exp[-\vartheta(T-T_0)]}, \quad (3.1)$$

где e_d – душевое энергопотребление, в т.у.т.; $N_d(T)$ – численность населения в момент T ; ρ и ϑ – постоянные параметры. Учитывая, что $e_d^{max} = e_d^{(0)}(1+\rho) = 2,5$ т.у.т. и $e_d^{(0)} \cong 1$ т.у.т., получаем: $\rho = 1,5$ и $\vartheta = 0,044$ $T_0 = 2000$ г.;

б) для развитых стран (США, страны ЕС, Япония и др.) динамика энергопотребления E_{hd} описывается нисходящей логистической кривой:

$$E_{hd} = e_{hd}^{(0)} N_{hd}(T) \frac{1+\rho\{2 \exp[-\vartheta(T-T_0)]-1\}}{1+\rho \exp[-\vartheta(T-T_0)]} \quad (3.2)$$

где e_{hd} – душевое энергопотребление, в т.у.т.; $N_{hd}(T)$ – численность населения в момент T ; ρ и ϑ – постоянные параметры. Если принять начальное условие $T_0 = 2000$ г. и $e_{hd}^{(0)} = 7$ т.у.т., тогда $\rho = 0,5$ и $\vartheta = 0,044$;

в) динамика энергопотребления E_w для мира в целом, учитывая его стабилизацию на уровне 2,5 т.у.т., может быть записана в виде:

$$E_w = 2,5 N_w(T) \quad (3.3)$$

где $N_w(T)$ – численность населения Земли в момент T .

Таким образом, мы видим изменение парадигмы потребления энергии. Если в XX веке суммарное потребление энергии росло как квадрат числа людей на Земле, то в XXI веке зависимость стала линейной.

Можно также оценить стоимость суммарного энергопотребления, если учесть, что 1,4 т.у.т. = 1 т.н.э. (тонна нефтяного эквивалента). В соответствии с прогнозом Международного энергетического агентства [International Energy Agency 2007] средняя цена на сырую нефть в период с 2015 по 2030 гг. составит около 60 долл. США за баррель (в долларах 2006 г.). Если брать период до 2050 г. эта цифра составит примерно 67 долл. за баррель или 500 долл. за тонну сырой нефти. Следовательно, приближенная оценка стоимости мирового энергопотребления может быть подсчитана следующим образом:

$$P_w = 2,5 \cdot \frac{500}{1,4} N_w(T) \text{ долл.}$$

Увеличение стоимости энергопотребления является не единственной «платой» за экономическое развитие. Растущее энергопотребление и увеличивающиеся затраты ресурсов наносят ущерб экологии и требуют все возрастающего объема инвестиций в природоохранные меры I_{EE} по поддержанию экологического баланса биосферы Земли или экосистемы страны на приемлемом уровне. Поскольку эффективность использования энергии в XXI веке будет возрастать по логистической кривой

(см. рис. 3.2), можно также предположить, что для I_{EE} подходящей является логистическая функция:

$$I_{EE} = I_{EE}^{(0)} \frac{1+h}{1+h \exp[-\mathcal{G}(t-T_0)]}, \quad (3.4)$$

где h, \mathcal{G} – постоянные параметры логистической функции. Причем для $T_0=2010$ г. $I_{EE}^{(0)}=0,8$ трлн долл. США для мира в целом.

В работе [Ищенко 2008] показано, что в 2050 г. I_{EE}^{\max} будет равно примерно 2,5 трлн долл. Отсюда для определения параметров h и \mathcal{G} имеем уравнения:

$$\begin{aligned} h &= 0.1 \exp(40\mathcal{G}) \\ \mathcal{G} &= \frac{1}{40} \left[\ln 10 + \ln \left(1.1 \frac{I_{EE}^{\max}}{I_{EE}^{(0)}} - 1 \right) \right] \end{aligned}$$

В модели предполагается, что за 2050-м г. этот уровень инвестиций сохранится, по крайней мере, до конца XXI века.

Можно приближенно подсчитать, к какому замедлению темпов экономического роста приведет отвлечение части инвестиционных ресурсов в природоохранные меры, связанные с энергоэкологическим развитием. Поскольку в прошедшем десятилетии средние темпы мирового экономического роста составили 3,3%, а на природоохранные меры в среднем по всему миру расходовалось $I_G^{(0)}=800$ млрд долл. США, то можно составить следующее соотношение для темпов замедления экономического роста:

$$q_{EE}^{(0)} = \frac{I_{EE}^{(0)}}{I_G^{(0)}} \cdot 3.3 \cdot 10^{-2} \quad (3.5)$$

где $I_G^{(0)}$ – совокупный объем инвестиций, направляемых ежегодно на цели обеспечения экономического роста. Следовательно, динамику замедления темпов экономического роста, вызванного стратегией энергоэкологического развития, можно записать с учетом (3.4) и (3.5) следующим образом:

$$q_{EE} = q_{EE}^{(0)} \frac{1+h}{1+h \exp[-\mathcal{G}(t-T_0)]} \quad (3.6)$$

Остается определить, как это учесть при расчете динамики экономического роста. Из эндогенной модели роста (2.3) следует, что:

$$q_Y = q_A + q_N \quad (3.7)$$

где q_Y – темпы экономического роста, q_N – темпы роста численности населения, q_A – темпы технологического роста. Замедление темпов роста, обусловленное энергоэкологическим развитием, влияет на уменьшение q_A , что можно учесть следующим образом:

$$q_A = q_A^0 + q_A^b - q_{EE} \quad (3.8)$$

В соответствии с вышеизложенным модель прогноза энергопотребления включает в себя уравнения (3.1), (3.2) и (3.3). Модель оценки влияния энергоэкологических ограничений на долгосрочную экономическую динамику дополняет модель долгосрочной экономической динамики (см. раздел 2 Приложения 1) уравнениями (3.4)–(3.8).

Параметры модели задаются на основе эмпирических данных либо оцениваются на основе процедуры идентификации с использованием эмпирических данных.

Расчеты ведутся по следующей схеме.

На основе анализа эмпирических данных определяется временной интервал, для которого имеется надежная статистика, выбирается начальный момент времени t_0 для проведения расчетов и соответствующие ему значения переменных модели. Проводятся тестовые расчеты для выбранного временного интервала с целью определения и согласования значений параметров модели для рассматриваемых сценариев. После настройки модели проводятся расчеты величины ВВП на прогнозный период при выбранных значениях параметров.

Результаты моделирования

Пользуясь приведенными выше соотношениями и зная демографическую динамику как для мира в целом, так и для развитых и развивающихся стран в отдельности (см. раздел 1 Приложения 1), можно рассчитать динамику энергопотребления в XXI веке. Результаты расчета приведены на рис. 3.3.

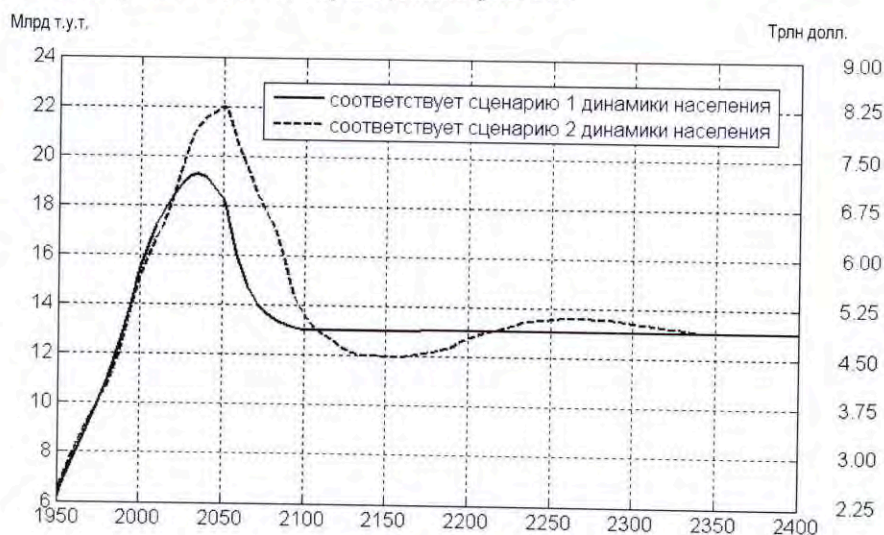


Рисунок 3.3
Динамика мирового энергопотребления

Видно, что пик суммарного энергопотребления приходится на 2030–2040-е гг. и составляет около 20 млрд т.у.т., затем начинается постепенное снижение и ста-

билизация на уровне 13–14 млрд т.у.т. к концу XXI века. Эти расчетные данные мирового энергопотребления неплохо согласуются с данными прогноза, приведенного А.Э.Конторовичем и А.Т.Коржубаевым (2008). Соответствующее сравнение представлено в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Сравнение результатов расчета мирового энергопотребления

Год	Мировое энергопотребление (млрд т.у.т.)		
	Прогноз Конторовича и Коржубаева	Результат для 1-го сценария динамики населения	Результат для 2-го сценария динамики населения
2010	12,8	17,3	16,7
2015	13,6	17,9	17,4
2020	15,0	18,4	18,4
2025	16,4	18,9	19,5
2030	17,1	19,2	20,5
2050	22,5	18,3	22,0

На рис. 3.4 приведен прогноз энергопотребления развитых стран: США, Великобритании, Японии и Германии. На правой вертикальной оси графика приведен ценовой эквивалент в трлн долл. Пик энергопотребления приходится на 1950–1970 гг., для США он составляет 2,2 млрд т.у.т. Для других стран максимальное энергопотребление в 2–3 раза ниже, так, для Великобритании оно находится на уровне 0,6 млрд т.у.т., для Японии – 1,1 млрд т.у.т., для Германии – 0,8 млрд т.у.т. Постепенный спад и стабилизация энергопотребления развитых стран ожидаются после 2050 г. Энергопотребление США будет составлять 1,3 млрд т.у.т., Великобритании – 0,25 млрд т.у.т., Японии – 0,6 млрд т.у.т., Германии – 0,3 млрд т.у.т.

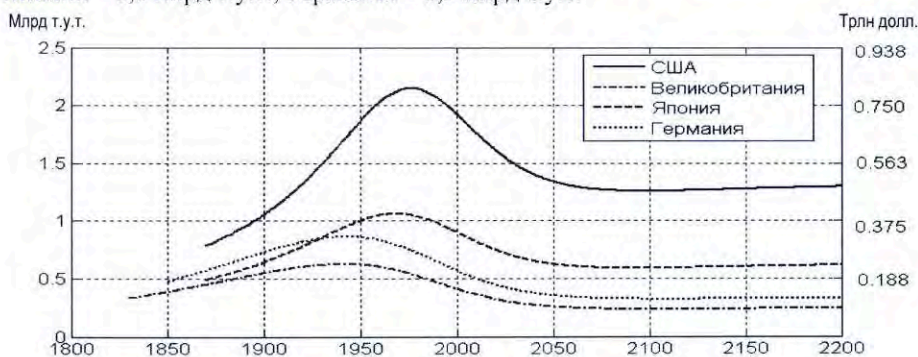


Рисунок 3.4

Энергопотребление развитых стран

Существенный вклад в мировое энергопотребление вносят развивающиеся страны. Динамика энергопотребления наиболее крупных из них – Китая и Индии – приведена на рис. 3.5.

В соответствии с моделью максимум энергопотребления Китая будет достигнут в 2020 г. и составит 3,5 млрд т.у.т., далее после 2070 г. энергопотребление Китая снизится до асимптотического значения – 3 млрд т.у.т. Энергопотребление Индии носит колебательный характер, что во многом определяется прогнозом динами-

ки численности населения (см. рис. 1.2). Пик энергопотребления Индии приходится, примерно, на 2050 г. и составляет 5 млрд т.у.т., после чего наступит спад, характеризующийся затухающими колебаниями.

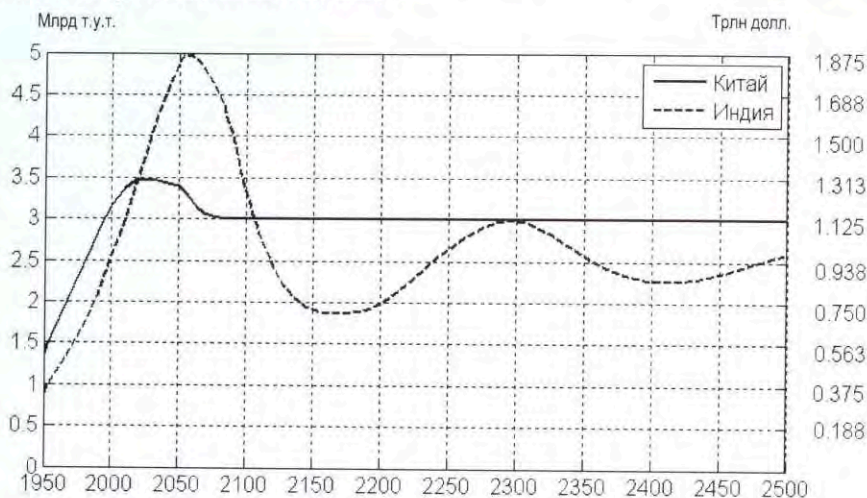


Рисунок 3.5

Потребление энергии в развивающихся странах

Если теперь в модели экономического роста (2.3) динамику совокупной факторной производительности (технического прогресса) рассчитать с учетом энерго-экологических ограничений (3.8), то получим несколько замедленные траектории роста мирового ВВП (в постоянных ценах 1990 г.), представленные на рис. 3.6 и 3.7, на которых маркерами обозначены реальные данные.

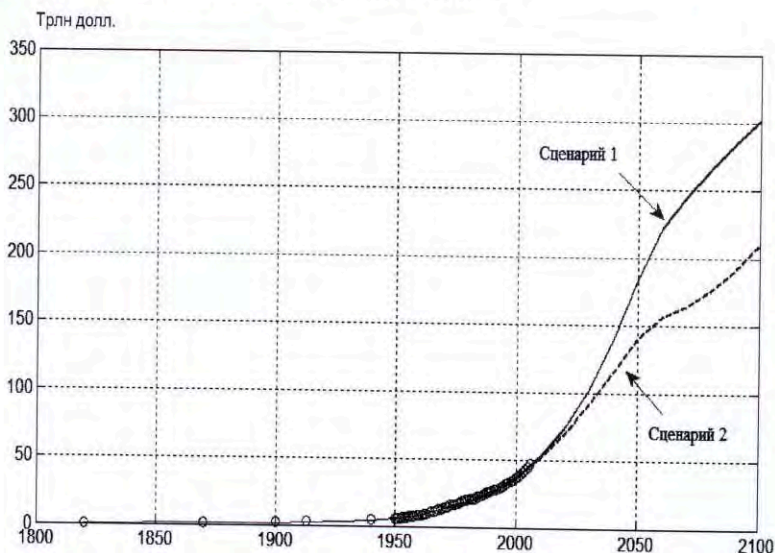


Рисунок 3.6

ВВП мира до 2100 г. с учетом инвестиций в природоохранные меры (постоянные цены 1990 г.)

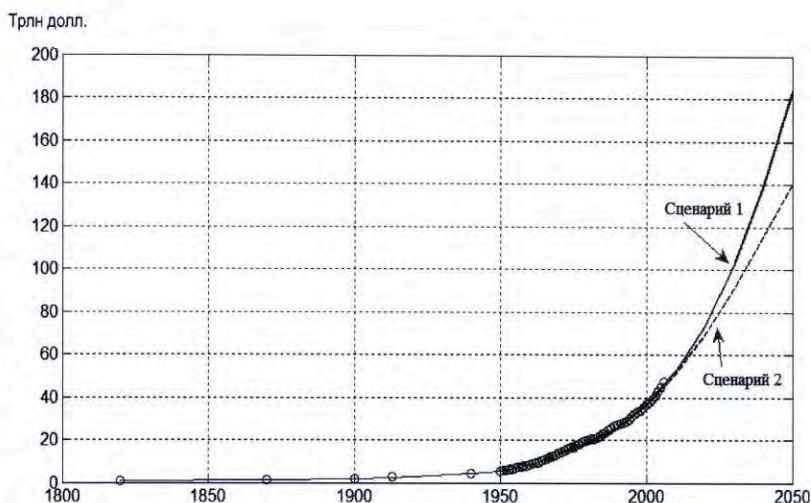


Рисунок 3.7

**ВВП мира до 2050 г. с учетом инвестиций в природоохранные меры
(постоянные цены 1990 г.)**

Сравнение с прогнозом ВВП без учета инвестиций в природоохранные меры (см. рис. 1.6) показывает, что учет инвестиций в природоохранные меры приведет к сокращению роста ВВП вплоть до 1,5 раз к 2100 г. При осуществлении первого сценария динамики численности населения мира ВВП в 2100 г. составит около 300 трлн долл. (по сравнению с 460 трлн долл. без учета затрат на природоохранные меры). Аналогичный результат достигается и при реализации второго сценария динамики численности населения мира: ВВП в 2100 г. составит 210 трлн долл. (по сравнению с 320 трлн долл. без учета затрат на природоохранные меры).

К 2050 г. замедление составит порядка 15–20%. По первому сценарию динамики численности населения мира ВВП в 2050 г. составит около 180 трлн долл. (по сравнению с 220 трлн долл. без учета затрат на природоохранные меры). По второму сценарию динамики численности населения мира ВВП в 2050 г. составит 140 трлн долл. (по сравнению с 160 трлн долл. без учета затрат на природоохранные меры).

Расчеты экспертов [см. Плакиткин 2006]), связанные с анализом динамики добычи нефти, показывают, что мировая добыча нефти достигнет максимума в 4,4 млрд т в год примерно в 2020–2025 гг., а затем начнется экспоненциальный спад. Следовательно, начиная с 2020-х гг. наиболее вероятный спрос будет опережать возможное предложение мировой нефти. К 2030 г. этот не покрываемый разрыв может составить около 2,2 млрд т в год [Плакиткин 2006]. Этот дефицит весьма существен и означает, что через 15–20 лет, т.е. к 2045–2050-м гг., нефть уже не сможет больше покрывать все увеличивающуюся мировую потребность в энергии, а значит, можно говорить об окончании «эры нефти» как доминирующего энергоносителя в мировой экономике. Итак, пики добычи нефти и потребления энергии в мире по сценарию устойчивого развития отстоят друг от друга на 15–20 лет, что ставит острейшую проблему своевременной смены энергетического уклада, перехода на другие энергоресурсы, такие, как водород, термоядерная энергия, а также возобновляемые источники. Однако удастся ли это сделать за столь короткий промежуток

времени? Вполне вероятно, что в ближайшем будущем человечество столкнется с первым масштабным кризисом, связанным с нехваткой энергии.

4. Моделирование геополитической динамики с учетом демографических и экономических факторов

Назначение модели

Модель предназначена для анализа и прогноза изменений в геополитической иерархии стран мира. Данная иерархия формируется на основе соотношения геополитических статусов стран, которые являются сверткой их важнейших макропоказателей (демографических, экономических, военных и др.) и отражают роль и положение страны в мировой системе. Модель имеет агрегированный характер, основной рассчитываемый показатель: геополитический статус (ГПС), определяемый для конкретной страны. Основными переменными модели являются демографические, экономические, военные и другие показатели, используемые для вычисления ГПС.

Основные допущения модели и методы моделирования

Модель основана на использовании методологии количественной интерпретации множества атрибутов государства (физико-географических, демографических, экономических, военных и др.) посредством единого, обобщенного показателя.

Общетеоретические основы моделирования обобщенной характеристики государства (называемой «силой», «мощью», «могуществом») были заложены еще учеными-геополитиками, в том числе А.Мэхеном [1941], Н.Спайкмэнном [Дугин 1997, Петров 2003], представителем русской «военной географии» А.Е.Снесаревым [1920] и окончательно сформировались в период становления науки о международных отношениях в трудах Г.Моргентау [Morgenthau 1967], А.Органски [Organski 1958], Р.Арона [2000], К.Кнорра [1960] и др. Из этих и подобных работ непосредственно родилась и развивалась в рамках количественной политологии математическая «технология» получения обобщенного скалярного показателя, наиболее ярко представленная, в частности, в моделях В.Фукса [Fucs 1965], К.Джермана [German 1960], А.Шинна [Shinn 1969], Р.Клайна [Cline 1975], Дж.Кутлера [Organski, Kugler 1980], Т.Саати [1993]. В настоящее время наиболее известной является модель-проект главной «фабрики мысли Пентагона» – корпорации RAND [Глобальный силомер 2005].

Используемый в модели метод, разработанный в стиле так называемого «мягкого моделирования», основан на формализации местоположения страны в некоторой системе государств, которое определяется с использованием такого показателя, как «геополитический статус» (ГПС). Данный показатель, уже применявшийся в подобных исследованиях [Андреев 1999], представляет собой обобщенную безразмерную «свертку» двух групп параметров, характеризующих страну как субъект системы межгосударственных отношений: а) собственно геополитических параметров государства (в данном случае территориальных, демографических, экономических, военных), совокупность которых именуется «геополитическим потенциалом» [Андреев 1999] и б) внешних и внутренних факторов – таких, как качество государственного управления, степень независимости (политической, военной, экономической) страны, участие в военно-политических коалициях.

Общая формула расчета ГПС имеет вид:

$$S(t) = F_A(t) G(t), \quad (4.1)$$

где $S(t)$ – ГПС в момент времени t ; F_A – «функция влияния», определяющая совокупное влияние указанных выше факторов, не связанных явно с геополитическим потенциалом; $G(t)$ – геополитический потенциал, значение которого определяется по следующей формуле:

$$G(t) = 0,5 (1 + X_M^{0,43}) X_T^{0,11} X_D^{0,19} X_E^{0,27} \quad (4.2)$$

где X_i ($i = T, D, E, M$) – доли государства в общемировых показателях в территориальной, демографической, экономической и военной сферах соответственно.

Непосредственными показателями (атрибутами), по которым определяется указанные доли (за исключением военной), являются, соответственно, площадь территории страны, численность населения и объем ВВП. Военный компонент рассчитывается по формуле:

$$X_M = 0,5x_{M1} [0,5 (x_{M2} + x_{M3}) + x_{M4}], \quad (4.3)$$

где x_{Mj} ($j = 1, \dots, 4$) – доли страны в общемировых показателях военных расходов, военный потенциал армии, военный потенциал ВМФ и стратегический ядерный потенциал.

Значения констант-показателей степени в (4.2) подбирались (с использованием метода наименьших квадратов) таким образом, чтобы результаты расчетов геополитического потенциала согласовывались с оценками могущества государства, проведенными по модели корпорации RAND. При этом данные для долей X_i ($i = T, D, E, M$) брались из соответствующей статистики (применительно к ведущим странам).

Для функции F_A используется следующая формула (для суверенного государства):

$$F_A = (1 - k_U)^{0,11} \left(1 - \frac{J}{Y}\right)^{0,27} \left(1 - \frac{w_a}{w_G + w_a}\right)^{0,43} \left(1 + \frac{n_B}{N_B} \sum_{i=1}^{n_B} G_i\right), \quad (4.4)$$

где множители формализуют, соответственно, качество государственного управления, экономическую и военную независимость, а также «прибавку», которую получает страна, вступая в военно-политическую коалицию. Здесь k_U – параметр управления, определяемый экспертно; J, Y – объем импорта и ВВП страны, соответственно; w_a, w_G – общая численность на территории страны иностранных войск и национальной армии соответственно; n_B, N_B – число членов конкретного блока и общее количество стран-участниц различных коалиций, соответственно; G_i – геополитический потенциал i -го государства-члена коалиции.

Для непосредственного определения показателей, по которым рассчитываются в итоге доли в (4.2) – площади территории (A), численности населения (P), объема ВВП (Y), величины военных расходов (M_1), военного потенциала армии (M_2), военного потенциала ВМФ (M_3) и стратегического ядерного потенциала (M_4) – разработана агрегированная математическая макро модель функционирования государства. Базовые уравнения модели имеют следующий вид:

$$\frac{dA(t)}{dt} = (a_1 + a_2) A_W - (a_3 + a_4) A; \quad A_W = \sum_{k=1}^{N_w} A_k(t) \quad (k = 1, \dots, N_w); \quad (4.5)$$

$$\frac{dP(t)}{dt} = (b_1 - b_2 - b_4 - b_5) P + b_3 P_W + \rho_{P1} (a_1 + a_2) A_W - \rho_{P2} (a_3 + a_4) A; \quad (4.6)$$

$$P_W(t) = \sum_{k=1}^{N_W} P_k(t) \quad (4.7)$$

$$Y = y_{k0} \left(\frac{L_E}{L_K} \right)^\eta K^\beta, \quad (4.8)$$

$$L_E = l_{LR} l_{LF} l_{EF} P = l_E(t) P; \quad (4.9)$$

$$\frac{dK(t)}{dt} = I(t) - (\mu_0 + \mu_1) K + \rho_{K1} (a_1 + a_2) A_W - \rho_{K2} (a_3 + a_4) A. \quad (4.10)$$

$$C = c(t) Y; \quad I = s(t) Y; \quad Z = Y - (C + I); \quad Y_W(t) = \sum_{k=1}^{N_W} Y_k(t) \quad (4.11)$$

$$M_1(t) = \sum_{i=2}^4 m_{Mi} M_i + R_{M1} = m_M(t) Y. \quad (4.12)$$

$$\frac{dM_j}{dt} = f_{Mj}(\{\xi_j\}, t) \quad (j = 2, 3, 4). \quad (4.13)$$

Здесь: A_W – общая «политическая» площадь земного шара; A_k – площадь территории k -й страны; N_W – общее число стран в мире; a_1, a_2 – доли «политических» (вследствие передела границ) и «военных» (в ходе войны) приобретений территории в единицу времени соответственно; a_3, a_4 – доли «политических» и «военных» потерь в единицу времени соответственно; P_W – текущая общая численность населения земного шара, b_i ($i=1, \dots, 5$) – коэффициенты рождаемости, смертности, иммиграции, эмиграции, военных потерь (в единицу времени) соответственно; ρ_{P1}, ρ_{P2} – текущие плотности населения присоединенного и потерянного участка территории соответственно; K – величина основных производственных фондов (в стоимостном выражении); $L_E(t), L_K(t)$ – текущее и требуемое (для «нормального» функционирования экономики) значения рабочей силы, для которых выполняется условие $L_E \leq L_K$; l_{LR} – доля трудовых ресурсов (экономически активного населения) в общей численности населения страны; l_{LF} – доля рабочей силы в общей численности экономически активного населения; l_{EF} – доля занятых в общей численности рабочей силы; y_{k0}, β, η – константы, определяемые для каждой страны из соответствующей статистики; $I(t)$ – объем инвестиций; ρ_{K1}, ρ_{K2} – текущие «плотности» основных фондов присоединенного и потерянного участка территории соответственно; μ_0, μ_1 – доли основных фондов, выбывающих в единицу времени вследствие амортизации и военных потерь, соответственно; $C(t)$ – потребление; $Z(t)$ – чистый экспорт; $c(t), s(t)$ – коэффициент потребления и норма накопления соответственно; $Y_W(t), Y_k(t)$ – мировой ВВП и ВВП k -й страны соответственно; m_{Mi} ($i=2, 3, 4$) – усредненные удельные показатели стоимости разработки, производства и содержания соответствующей единицы военного потенциала; R_{M1} – часть военных расходов, не связанная с указанными показателями; m_M – доля военных расходов в ВВП страны; $\{\xi_i\}$ – множество параметров, конкретизирующих сценарии развития i -го компонента военного потенциала; f_{Mi} – функция, описывающая динамику изменения i -го компонента военного потенциала.

Объединение в систему представленных уравнений в систему позволяет получить общую модель геополитического статуса. Сравнение оценок позиционирования США и России, полученных на основе данной и некоторых других аналогичных моделей, показало хорошее соответствие.

Методика моделирования

В соответствии с вышеизложенным модель оценки геополитического статуса включает в себя уравнения: (4.1)–(4.13). Для проведения прогнозных оценок ГПС проводится прогноз изменения показателей, используемых для его вычисления, в рамках рассматриваемых сценариев.

Параметры модели задаются на основе эмпирических данных либо оцениваются на основе процедуры идентификации с использованием эмпирических данных.

Расчеты ведутся по следующей схеме.

На основе анализа эмпирических данных определяется временной интервал, для которого имеется надежная статистика, выбирается начальный момент времени t_0 для проведения расчетов и соответствующие ему значения переменных модели. Проводятся тестовые расчеты для выбранного временного интервала с целью определения и согласования значений параметров модели (параметры настраиваются таким образом, чтобы наблюдалось соответствие получаемых оценок ГПС с оценками отечественных и зарубежных экспертов). После настройки модели проводятся расчеты величины ГПС на прогнозный период при выбранных значениях параметров.

Результаты моделирования

На основе изложенной выше методики было проведено тестирование модели для разных исторических периодов.

Период *перед Первой мировой войной*, показанный на рис. 4.1, характеризовался наличием трех основных групп стран, составивших геополитическую иерархию.

Во-первых, это безусловный лидер – Британская империя, на территории которой «никогда не заходило солнце», геополитический отрыв которой от других стран был достаточно велик. Вторую группу составляли ближайшие «претенденты» на мировое лидерство в лице Соединенных Штатов и европейских стран – Германии, России и Франции, имевшие достаточно близкие статусы. И, наконец, «второразрядные» державы – Австро-Венгрия, Италия (на рис. 4.1 статус Италии отдельно не показан, поскольку он практически совпадал со статусом Австро-Венгрии) и Япония, выходившая на позиции регионального лидера после войны с Россией. При этом, как видно, мировая геополитическая конфигурация была относительно стабильной, существенных изменений положения государств не происходило.

Для России этот период характеризовался небольшим, но стабильным возрастанием статуса (что позволило даже немного опередить Францию), обусловленным высокими темпами демографического и экономического роста, достаточно эффективной военной реформой.

Первая мировая война (рис. 4.2) и последовавшие за ней события существенно трансформировали мировую иерархию. При этом, как видно, к 1922 г. в «статусном» проигрыше оказались все европейские страны, даже победители, не говоря уже о проигравших войну, включая Россию, находившуюся к тому же в состоянии гражданской войны.



Рисунок 4.1
Статусы ведущих стран перед Первой мировой войной



Рисунок 4.2
Статусы ведущих стран мира в период 1914–1922 гг.

Единственной страной, получившей безусловную геополитическую выгоду от войны, оказались Соединенные Штаты, которые к 1922 г. (момент окончательного формирования Версальско-Вашингтонской схемы мироустройства) сократили, примерно на треть, довоенную геополитическую дистанцию с Англией.

Период до начала Второй мировой войны (рис. 4.3) складывается из двух этапов.

Первый определяется относительно стабильной (примерно до 1930–1931 гг.) динамикой статусов ведущих стран (за исключением СССР). Второй этап, непосредс-

твенно предшествовавший войне, характеризовался резким возрастанием статусов Германии и Японии, вызванным радикальным увеличением военной мощи этих стран и начавшейся вооруженной экспансией (соответственно, «аншлюс» и японо-китайская война). «Проседание» статуса Англии было вызвано помимо «великой депрессии» официальным отделением от нее бывших доминионов. Россия, демонстрировавшая невиданные на тот момент темпы экономического роста и постоянно увеличивавшая свой военный потенциал, в итоге вышла на третье место, опередив, как и перед Первой мировой войной, Францию.

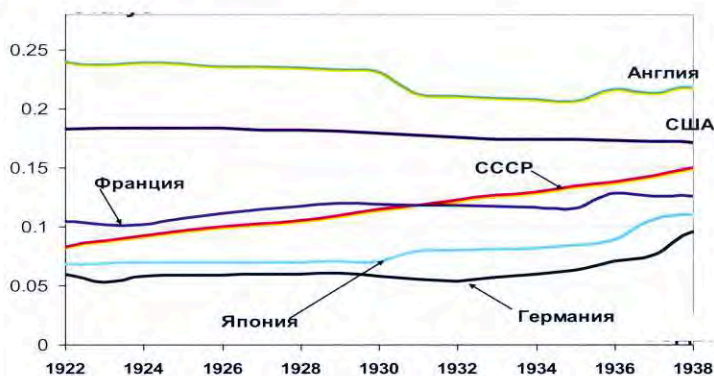


Рисунок 4.3

Статусы ведущих стран мира в период 1922–1938 гг.

Вторая мировая война еще более радикально, чем предыдущая, изменила геополитическую конфигурацию мира (рис. 4.4). Во-первых, мировым лидером впервые, обойдя Англию, стали Соединенные Штаты. Статус Англии продолжил медленную деградацию. А страны фашистского блока, оккупированные войсками Китая, полностью утратили свой статус. Начал подниматься досоциалистический Китай.



Рисунок 4.4

Статусы ведущих стран мира в период 1938–1946 гг.

Послевоенная, «потсдамская» конфигурация мира (рис. 4.5), характерна тем, что вновь образовались три основные группы стран.



Рисунок 4.5

Статусы ведущих стран мира в период 1946–2006 гг.

Первую группу составляли США и СССР – лидеры новой биполярной системы. Наша страна впервые в своей истории вышла на второе место в мире, которое было утеряно только с распадом СССР в 1991 г. Причины такого геополитического подъема СССР, как показал анализ структуры модельных результатов, были обусловлены существенным ростом его экономического и военного (в первую очередь, ядерного) потенциалов. (Некоторый спад, обозначившийся в начале 80-х гг. прошлого века, объясняется падением доли страны в демографической и экономической сферах.) При этом геополитическая дистанция (разность статусов) между нашей страной и США была минимальна примерно в середине 70-х гг., в период переговоров по СНВ и ПРО, Хельсинкского акта и др. Впервые в своей истории наша страна очень близко приблизилась к мировому лидеру, что и демонстрирует график динамики геополитической дистанции (рис. 4.6) между ней и лидерами (Англия и США – до и после Второй мировой войны, соответственно).



а)



б)

Рисунок 4.6

Динамика показателей, характеризующих местоположение России в XX–начале XXI века:
а) статус; б) дистанция между Россией и мировым лидером

Вторую группу образуют ведущие европейские страны (Англия, Франция, Германия) и Япония, статусы которых практически сравнялись и находятся сегодня в некотором «геополитическом коридоре», «геополитической колее». При этом интересно отметить, что втягивание в этот коридор Англии и Франции происходило «сверху», (вследствие распада колониальной системы), а Германии и Японии – «снизу» (причина – обретение политического суверенитета и высокие темпы экономического роста).

Наконец, третьим «центром силы» послевоенного мира стал Китай, который с победой коммунистической революции стал демонстрировать (особенно с начала 80-х гг.) высочайшие темпы экономического развития и вышел к настоящему времени на второе место в мире [Dunn, Kristof 1994]. (Вследствие этого некоторые американские политологи даже объявили геополитический подъем Китая главным событием XX века.) Правда, при этом надо иметь в виду, что подобное могло произойти только при условии распада Советского Союза. Данный распад, названный, в свою очередь, геополитической катастрофой века, привел к тому, что наша страна в статусном отношении существенно приблизилась к второразрядным мировым державам. Ей, так же, как в свое время Франции и Англии, грозит втянуться в указанный геополитический коридор (своеобразный геополитический «аттрактор»), покинуть который, без кардинальных мировых потрясений (типа мировой войны), как показывает анализ модели, практически невозможно. (Указанным странам выйти из этого аттрактора не помог даже распад СССР, хотя и несколько увеличил их статусы.) Однако, несмотря на политический хаос начала–середины 90-х гг., России все же удалось стабилизировать динамику своего статуса (рис. 4.7).

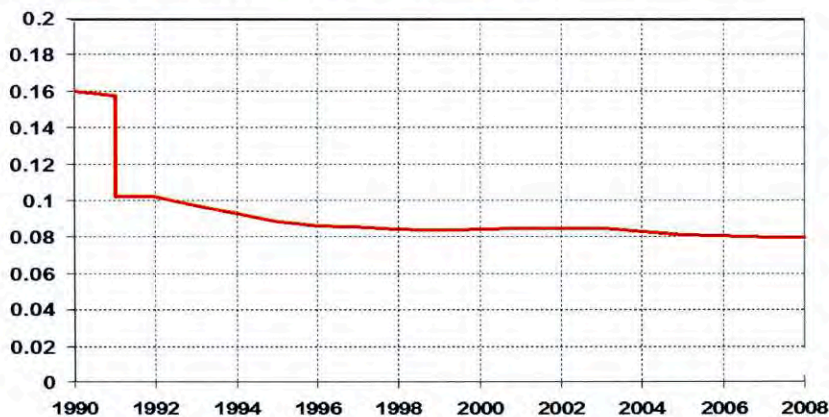


Рисунок 4.7

Статус России в период 1990–2008 гг.

Разработанная модель позволяет делать прогнозные оценки изменения геополитического статуса государств для различных сценариев мирового развития. В частности, на рис. 4.8 представлена прогнозная оценка геополитической «дистанции» между Китаем (претендентом на мировое лидерство) и США (нынешним мировым лидером) в условиях реализации и в отсутствие реализации договора о сокращении стратегических наступательных потенциалов (СНП) США и России. В условиях сокращения СНП прогнозируется более ранняя, чем без этих сокращений, потеря американского лидерства.

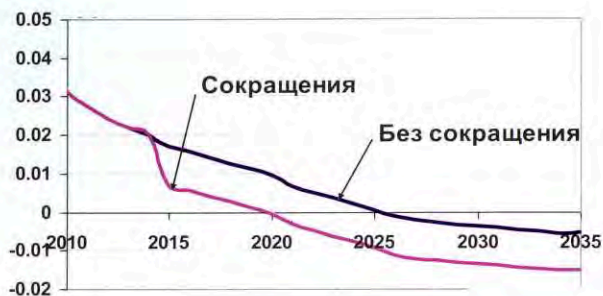


Рисунок 4.8

Динамика геополитической дистанции между США и Китаем в зависимости от реализации нового договора о сокращении СНП

Таким образом, введение интегрального показателя «геополитический статус» в виде свертки частных показателей, характеризующих состояние различных сфер жизни страны, позволяет проводить анализ и прогноз мировой динамики на геополитическом уровне.

5. Модель экономического взаимодействия стран Мир-системы

Назначение модели

Модель предназначена для анализа закономерностей экономического взаимодействия стран с различным уровнем развития. Модель позволяет учитывать влияние финансовой сферы на экономическое взаимодействие, она имеет агрегированный характер, основной рассчитываемый показатель: $M(t)$ — денежные средства и их потоки, которые характеризуют процессы производства, потребления и торгового взаимодействия между странами. Рассматривается трендовая динамика без учета циклических процессов. Моделирование взаимодействия стран проводится в несколько этапов.

А) Сначала на основе базовой модели проводится анализ особенностей автономного экономического развития (в отсутствие торгового взаимодействия с внешним миром), исследуются условия экономического роста в отдельно взятой стране.

Б) Далее моделируется ситуация, когда две похожие по своим характеристикам страны вступают в торговое взаимодействие и возникает торговая конкуренция. Рассматриваются возможности равновесной и неравновесной динамики. Анализируются условия, при которых торговое взаимодействие носит взаимовыгодный характер.

В) Затем моделируется ситуация асимметричного торгового взаимодействия, когда одна страна экспортирует продукцию обрабатывающей промышленности, а другая — сырье. Рассматриваются закономерности такого взаимодействия, феномен «ловушки сырьевых стран» [Райнерт 2011]. Анализируются условия преодоления данной «ловушки».

Ниже, в подразделах А, Б и В, рассматриваются особенности каждого этапа моделирования.

Основные допущения модели и методы моделирования

Особенностями модели являются следующие:

- модель является *динамической*, она анализирует *потоки* товаров и денег, а также соответствующее изменение их запасов (остатков) у экономических агентов;
- модель не предполагает наличия в системе состояния рыночного равновесия; в отличие от моделей общего равновесия *CGE* [Макаров и др. 2007], она позволяет исследовать неравновесные процессы в их динамике;

- в модели потоки товаров и денег рассматриваются отдельно, что позволяет исследовать ситуации их дисбаланса, приводящие к инфляционным или дефляционным процессам;

- модель позволяет анализировать процессы динамического взаимодействия реального и финансового секторов экономики (в частности, влияние эмиссии денег на экономические процессы);

- модель позволяет анализировать поведение экономики при наличии в ней секторов с убывающей, постоянной и возрастающей отдачей [Кирдина, Малков 2008, 2010].

Модель носит агрегированный характер. В данной модели:

- экономика представлена как система взаимодействия двух секторов:

- производственного сектора (ПС), который производит товары и услуги для конечного потребления,

- домохозяйств (ДХ), которые потребляют производимые сектором ПС товары и услуги и одновременно участвует в производстве, обеспечивая сектор ПС рабочей силой. В модели принято, что экономическая система замкнута, т.е. хозяйственные связи с внешним миром отсутствуют;

- используется макроэкономический подход, в соответствии с которым вся продукция сектора ПС, произведенная в единицу времени, рассматривается в виде агрегированного продукта, стоимость которого в постоянных ценах равна F (однопродуктовая модель). В текущих ценах стоимость продукции равна Fp , где p – индекс цен (дефлятор);

- продукция сектора ПС потребляется как населением (сектором ДХ), так и самим сектором ПС (с целью поддержания воспроизводственного процесса). Источником поступления денежных средств в сектор ПС является приобретение произведенных в нем товаров и услуг населением, источником поступления денежных средств в сектор домохозяйств является зарплата, которую население получает за работу в производственном секторе (считается, что величина зарплат пропорциональна стоимости выпускаемой продукции);

- помимо выплат зарплат и расходов на обеспечение производственного процесса (внутреннее потребление) денежные средства сектора ПС расходуются также на накопление (потенциальные инвестиции). Воспроизводство экономики обеспечивается за счет использования накоплений в производственном секторе;

- население расходует свои денежные средства на потребление и сбережение. Спрос населения на агрегированный продукт сектора ПС определяется функцией потребительского спроса, которая примерно пропорциональна покупательной способности имеющихся у населения денежных средств;

➤ параметры спроса и предложения зависят от покупательной способности денежных средств, то есть от того, какое количество продукта можно приобрести на одну денежную единицу при складывающемся уровне инфляции (т.е. покупательная способность денежной суммы M при индексе цен p равна M/p);

➤ производство продукции за единицу времени зависит от произведенных затрат, при этом с ростом масштабов производства количество произведенной продукции на единицу затрат может как уменьшаться (уменьшающаяся отдача), так и увеличиваться (увеличивающаяся отдача). Производство продукции в единицу времени описывается производственной функцией $F(M/p)$ – зависимостью количества производимого продукта от затраченных финансовых средств с учетом их покупательной способности.

Взаимодействие между секторами рассматривается в модели одновременно и через движение продукта, определяемого материальным балансом, и через денежные потоки. При этом денежные средства лишь опосредуют движение продукта. Избыточная величина денежных средств формирует ситуацию инфляции, а недостаточная – дефляцию. В первом случае индекс цен p растет, во втором – падает.

Обобщенная схема денежных потоков в двухсекторной экономике представлена на рис. 5.1.

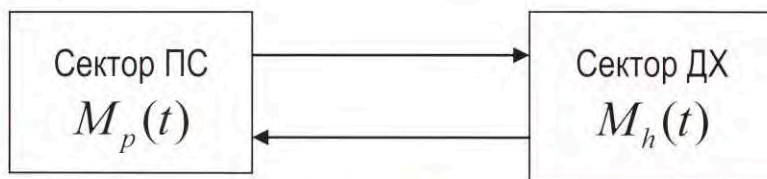


Рисунок 5.1

Обобщенная схема денежных потоков в двухсекторной экономике

Здесь $M_p(t)$ – величина денежных средств в производственном секторе (сектор ПС) в момент времени t ; $M_h(t)$ – величина денежных средств у населения (сектор ДХ) в момент времени t ; стрелки отражают движение денежных потоков между секторами. Динамическими переменными модели являются величины $M_p(t)$, $M_h(t)$ и $p(t)$. Изменение значений $M_p(t)$ и $M_h(t)$ определяется текущим балансом денежных доходов и расходов в соответствующих секторах, изменение $p(t)$ определяется текущим балансом спроса и предложения на производимые товары и услуги. Эту динамику в обобщенном виде описывают уравнения:

$$dM_p/dt = k_h M_h - hFp, \quad (5.1)$$

$$dM_h/dt = hFp - k_h M_h, \quad (5.2)$$

$$dp/dt = a(k_h M_h + k_p M_p - Fp), \quad (5.3)$$

Уравнения (5.1) и (5.2) описывают изменения денежных средств в единицу времени в секторах ПС и ДХ в соответствии с динамикой их доходов и расходов (первые члены в правых частях уравнений – доходы, вторые члены – расходы). В модели принято, что население тратит на потребление в единицу времени долю k_h имеющихся средств (член $k_h M_h$). Принято также, что совокупные доходы домохозяйств (включая зарплаты, дивиденды и т.д.) составляют долю h от стоимости производимой продукции Fp .

Уравнение (5.3) описывает динамику индекса цен $p(t)$, которая зависит от дисбаланса спроса и предложения. Спрос на продукцию состоит из спроса населения на потребительские товары (член $k_h M_h$) и спроса на производственные фонды (член $k_p M_p$, где k_p – доля средств производственного сектора, которая расходуется на воспроизводство основных фондов), предложение определяется выпуском продукции Fp ; a – коэффициент пропорциональности, характеризующий скорость установления равновесных цен (dp/dt) и тип взаимодействия сферы производства и обращения. В случае неизменных цен $a = 0$. Если величина производимой продукции Fp больше, чем спрос на нее, то цена падает, и наоборот.

Выражение для величины F зависит от условий и характера производства. В простейшем случае для F может быть использовано выражение:

$$F = f(k_p M_p / p)^c, \quad (5.4)$$

которое отражает зависимость выпуска продукции от величины вложений в производство с учетом их покупательной способности; f – параметр, характеризующий эффективность отдачи от вложений в производство (чем выше значение f , тем больше выпуск продукции на единицу вложенных средств). Показатель степени c в выражении для F характеризует отдачу от вложений. При $c < 1$ предельные издержки производства возрастают (убывающая отдача от вложений), при $c > 1$ предельные издержки производства убывают (возрастающая отдача), при $c = 1$ – остаются неизменными (постоянная отдача).

Система уравнений (5.1)–(5.3) отражает ситуацию, когда суммарное количество денег в системе не изменяется, эмиссия отсутствует:

$$M_p(t) + M_h(t) = M = \text{const}. \quad (5.5)$$

Возможны ситуации, когда общее количество денег в экономической системе $M(t)$ изменяется экзогенным образом, например, в результате эмиссии и т.п. Тогда уравнения (5.1) и (5.2) изменяются следующим образом:

$$dM_p/dt = k_h M_h - hFp + \Delta M_p, \quad (5.6)$$

$$dM_h/dt = hFp - k_h M_h + \Delta M_h, \quad (5.7)$$

где ΔM_p и ΔM_h – экзогенное изменение денежных средств в секторах в единицу времени.

Методика моделирования

Модель включает в себя уравнения: (5.1)–(5.7). С помощью модели проводится анализ условий экономического роста при различных сценариях. Параметры модели оцениваются на основе процедуры идентификации с использованием эмпирических данных. Исследование проводится по следующей схеме.

Сначала моделируется ситуация простого воспроизводства, при которой значения $M_p(t)$, $M_h(t)$ и $p(t)$ с течением времени остаются постоянными, анализируются условия реализации этой ситуации. Затем исследуются предпосылки и условия (на языке параметров модели), при которых возникает экономический рост (или экономический кризис) в рассматриваемой системе. Полученные результаты используются на следующем этапе моделирования для анализа закономерностей экономического взаимодействия стран.

Моделирование *простого воспроизводства* является важным этапом анализа функционирования экономической системы. С одной стороны, это наиболее простой для анализа случай, позволяющий выявить важнейшие особенности происходящих экономических процессов. С другой стороны, большинство ситуаций в реальной экономике достаточно близки к режиму простого воспроизводства и могут рассматриваться как некие отклонения от данного режима, являющегося в этом смысле базовым.

В рамках рассматриваемой модели условиями простого воспроизводства являются сохранение постоянства значений переменных модели с течением времени. Математически это означает равенство нулю правых частей уравнений (5.1)–(5.3). В этом случае модель (5.1)–(5.5) принимает вид:

$$k_h M_h - h F p = 0, \quad (5.8)$$

$$k_h M_h + k_p M_p - F p = 0. \quad (5.9)$$

$$M_p + M_h = M, \quad (5.10)$$

$$F = f(k_p M_p / p)^c, \quad (5.11)$$

Уравнение (5.8) отражает тот факт, что платежеспособный спрос на потребительскую продукцию определяется совокупными доходами населения. При простом воспроизводстве население получает за некий период времени в виде доходов столько же денег, сколько тратит в этот период времени на покупки.

Уравнение (5.9) отражает тот факт, что валовой выпуск в экономической системе (Fp) расходуется на потребление ($k_h M_h$) и воспроизводство основного капитала – инвестиции ($k_p M_p$). Уравнение (5.9) является прямым аналогом известного макроэкономического соотношения:

$$Y = C + I, \quad (5.12)$$

где Y – ВВП, C – конечное потребление, I – инвестиции. В стоимостном выражении величине Y соответствует Fp , величине C соответствует $k_h M_h$, величине I соответствует $k_p M_p$.

Система (5.8)–(5.11) имеет аналитическое решение, которое характеризует состояние динамического равновесия в экономике страны. По существу, система (5.8)–(5.11) представляет собой простейшую *модель общего равновесия*, относящуюся к классу так называемых CGE-моделей. Если показатель степени $c < 1$ (ситуация убывающей отдачи), то состояние равновесия устойчивое (этот случай описан в работах Р.Солоу [Solow 1956]). Если показатель степени $c > 1$ (ситуация возрастающей отдачи), то состояние равновесия неустойчивое [Кирдина, Малков 2008, 2010]. Если показатель степени $c = 1$ (ситуация постоянной отдачи), то состояние равновесия существует, но при изменении параметров системы оно будет изменяться. Это наиболее интересный случай, очень характерный для краткосрочных и среднесрочных экономических процессов с учетом технологического развития. При $c = 1$ из (5.8)–(5.11) следует:

$$M_p = M k_h / (k_h + k_p (f - 1)), \quad M_h = M k_p (f - 1) / (k_h + k_p (f - 1)). \quad (5.13)$$

При $k_p = k_h = 1$ (это условие означает, что производственный сектор и население не создают избыточных запасов денежных средств, а полностью используют их, соответственно, для производства и потребления) выражения (5.13) приобретают особенно простой вид:

$$M_p = M / f, \quad M_h = M (f - 1) / f. \quad (5.14)$$

При этом в условиях простого воспроизводства должно выполняться соотношение:

$$h = (f-1)/f, \quad (5.15)$$

обеспечивающее баланс между выпуском потребительской продукции и платежеспособным спросом на нее. При нарушении соотношения (5.14) динамическое равновесие исчезает и экономическая система дестабилизируется.

Рассмотрим ситуацию, когда динамическое равновесие, реализуемое в режиме простого воспроизводства, нарушается, например, вследствие увеличения уровня доходов без одновременного повышения объемов производства потребительских товаров (т.е. $h > (f-1)/f$). Эта ситуация отражена на рис. 5.2 (динамика переменных дана в относительных единицах, одно деление на оси абсцисс соответствует 3 дням).

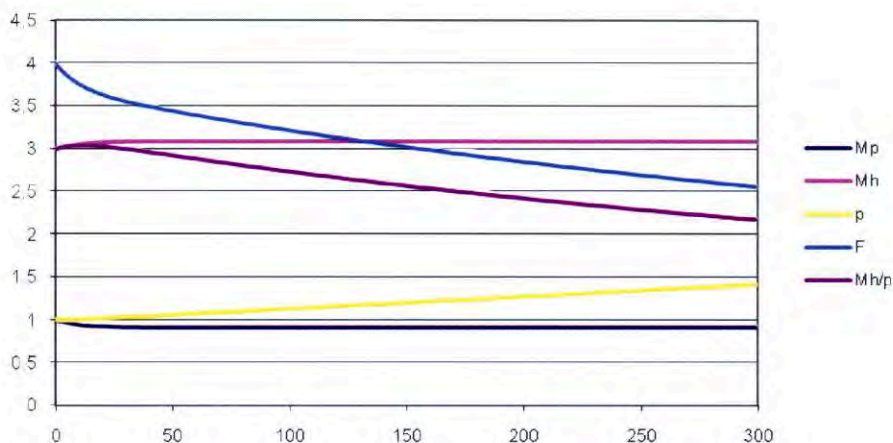


Рисунок 5.2

**Динамика экономической системы при завышенном уровне доходов населения
(по отношению к режиму простого воспроизводства)**

Видно, что завышение величины h приводит к ситуации товарного дефицита и к инфляционным процессам. Увеличение денежных выплат населению реально идет за счет снижения доли инвестиций в ВВП, что приводит к снижению фактического производства (F) и реального уровня жизни (M_h/p). В этой ситуации надо либо уменьшать уровень доходов, либо наращивать производство товаров F , чтобы опять установилось необходимое для простого воспроизводства условие баланса (5.15): $h = (f-1)/f$. Первый путь нежелателен по политическим причинам, так как может вызвать социальные волнения; второй путь требует интенсификации усилий общества, что не всегда достижимо. В любом случае — это неблагоприятная ситуация, в которую лучше не попадать, однако она возникает достаточно часто в случаях, когда правительство проводит популистскую политику.

Рассмотрим обратную ситуацию, когда $h < (f-1)/f$, т.е. когда стоимость произведенных товаров превышает доходы населения. Такая ситуация возникает, когда производство растет при тех же затратах труда вследствие научно-технического

прогресса (технологических инноваций) или когда уровень зарплат сознательно занижается работодателями. Это ситуация относительного перепроизводства товаров; результаты ее моделирования приведены на рис. 5.3.

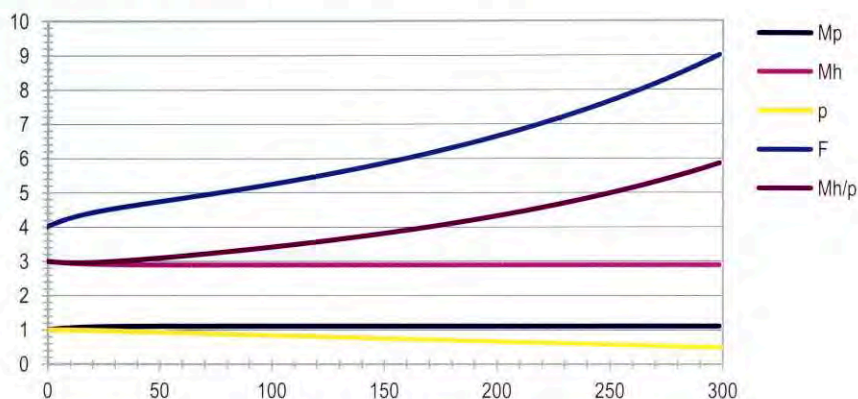


Рисунок 5.3

Динамика экономической системы при заниженном уровне доходов населения (по отношению к режиму простого воспроизводства)

Видно, что занижение величины h приводит к ситуации относительного товарного избытка и к дефляционным процессам (величина p уменьшается). В принципе, для населения это благоприятная ситуация (те, кто жил в послевоенные годы в СССР, с удовлетворением вспоминают, как снижались цены на продукты). Однако в условиях рыночной экономики дефляция — очень нежелательная ситуация для производителей: производственные расходы становятся меньше доходов, прибыль становится отрицательной, начинаются массовые банкротства. Поэтому для рыночной экономики ситуация, отраженная на рис. 5.3, в действительности невозможна. Реален кризис перепроизводства и последующая депрессия. Благоприятным может быть лишь выход, когда избыточную продукцию кто-нибудь купит.

Если экономическая система замкнута, то купить продукцию может только собственное население. Для этого нужна дополнительная эмиссия денег, направляемая населению (например, через государственные расходы при дефицитном бюджете) и повышающая его платежеспособный спрос. При этом данные вливания должны быть сбалансированными. Избыточное увеличение денежной массы приведет к инфляции и в конечном итоге может вызвать замедление и прекращение роста. Идеальным является такое увеличение денежной массы, которое в точности компенсирует рост физического объема производимой продукции. В этом случае будет иметь место безынфляционный ($p(t)=1$) экономический рост. Такая ситуация изображена на рис. 5.4. На представленном графике отражены результаты расчета динамики экономической системы с теми же характеристиками, что и на рис. 5.3, но с дополнительным постепенным «вливанием» в население денег в количестве, обеспечивающим отсутствие как дефляции, так и инфляции (темп «вливания» отражен на рис. 5.5).

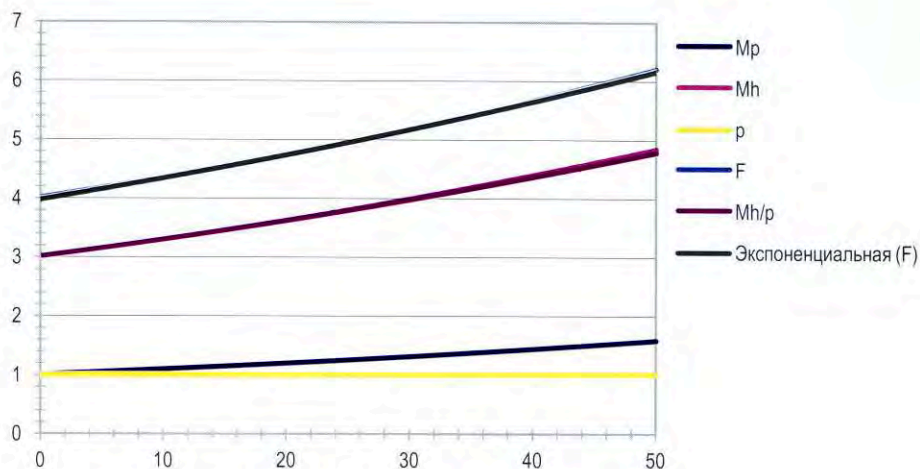


Рисунок 5.4

Динамика экономической системы при дополнительной эмиссии, стимулирующей потребительский спрос и обеспечивающей безинфляционный рост экономики

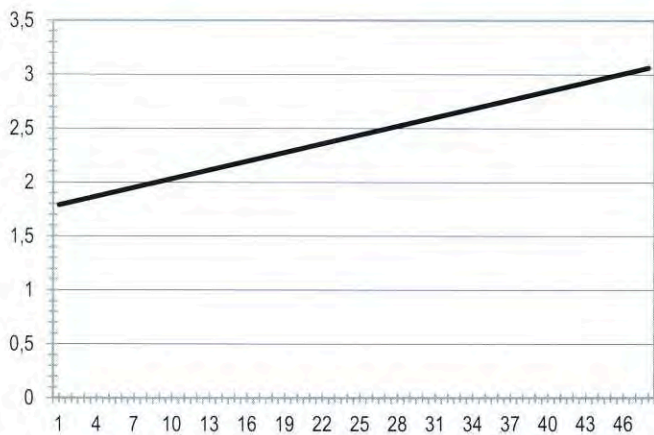
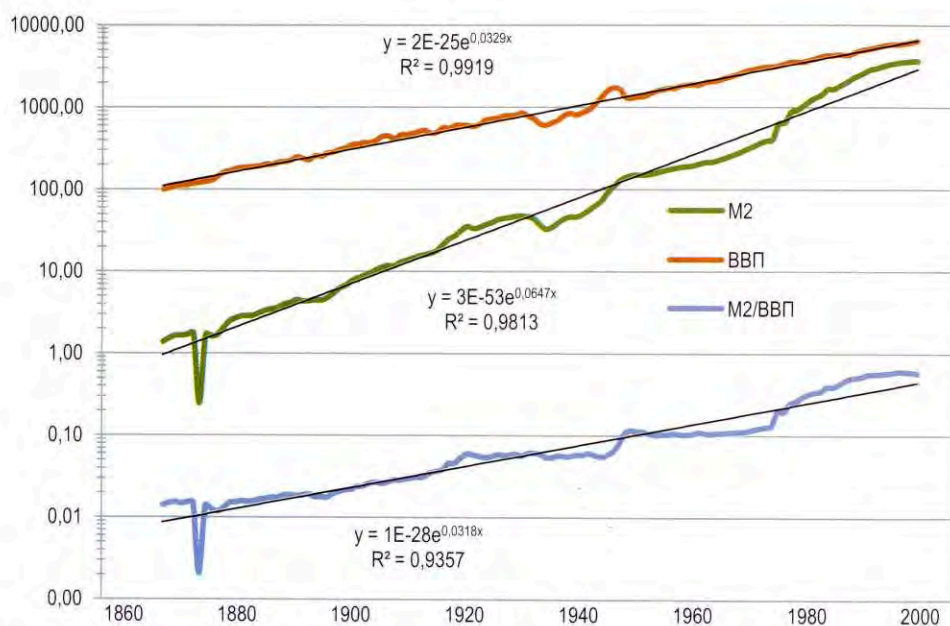


Рисунок 5.5

Темп дополнительной эмиссии, обеспечивающей безинфляционный экономический рост

Из рис. 5.4 и 5.5 видно, что, несмотря на существенные эмиссионные влияния денежной массы, инфляция отсутствует ($p(t) = 1$). Характерно, что экономический рост при этом имеет экспоненциальный характер (см. рис. 5.4).

Рассмотренная ситуация характерна для развитых стран (страны «Центра» Мир-системы), в которых под воздействием *инноваций* растет производительность труда и объем производимой продукции (возрастающая отдача) и в которых основной проблемой является обеспечение платежеспособного внутреннего спроса на эту продукцию (общество потребления). В этих странах денежная масса M2 растет с темпами даже более высокими, чем ВВП (см., например, рис. 5.6): без этого экономический рост был бы невозможен. Именно поэтому население развитых стран имеет высокие доходы: на произведенную продукцию должен существовать платежеспособный спрос.



Источник: [Румянцева 2003].

Рисунок 5.6
Динамика ВВП (коричневая линия, млрд долл. 1990 г.),
денежной массы M2 (зеленая линия, млрд долл. 1990 г.)
и уровня монетизации M2/ВВП в США
(черные линии – экспоненциальные аппроксимации)

Если экономическая система *не замкнута* (т.е. возможна международная торговля), то относительный избыток продукции можно экспортировать в другие страны. В этом случае дополнительная эмиссия за счет дефицита бюджета *не требуется*, поскольку приток валюты осуществляется извне. Если этот приток валюты направляется на инвестирование, то идет экономический рост, расширение производства и повышение благосостояния населения (см. рис. 5.4). По такому пути шли Япония, Южная Корея, сейчас по этому пути идет Китай.

Б) МОДЕЛЬ ТОРГОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ СТРАН,
ПРОИЗВОДЯЩИХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ ТОВАРЫ НА ВНЕШНИЙ РЫНОК

Основные допущения модели и методы моделирования

Пусть имеется две страны, развитие которых в отсутствие взаимодействия описывается уравнениями (5.1)–(5.4). Страны имеют национальные валюты. Будем считать, что торговое взаимодействие выражается в том, что население i -й страны может покупать потребительскую продукцию j -й страны (импортную продукцию) и готово тратить на это долю k_{hij} своих средств. Импортная продукция покупается за валюту и по ценам страны-экспортера. Обменный курс валют устанавливается на основе взаимного спроса на валюты, возникающего в ходе торгового обмена.

На рис. 5.7 представлена обобщенная схема торгового взаимодействия двух стран, отражающая потоки денежных средств при указанных выше предположениях (потоки средств из одной страны в другую подлежат обмену по текущему валютному курсу).

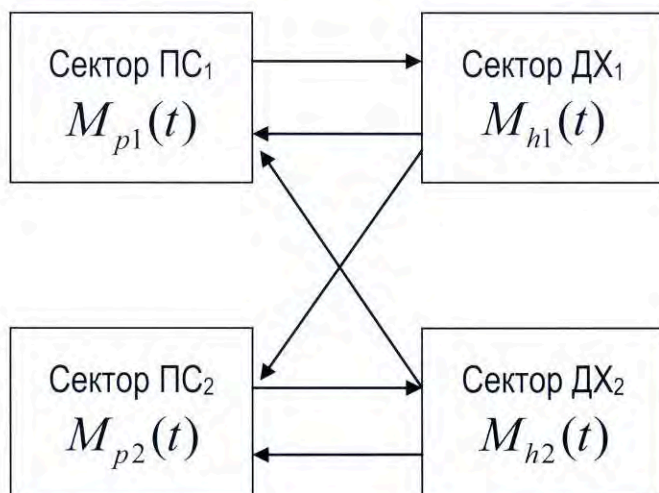


Рисунок 5.7

Обобщенная схема торгового взаимодействия двух стран
(случай торговли потребительскими товарами)

Соответствующая базовая математическая модель может быть описана уравнениями (5.16)–(5.25).

Уравнения для описания динамики макроэкономических переменных первой страны:

$$dM_{p1}/dt = k_{h11}M_{h1} + k_{h21}M_{h2}b_{21} - h_1F_1p_1 + \Delta M_{p1}, \quad (5.16)$$

$$dM_{h1}/dt = h_1F_1p_1 - (k_{h11} + k_{h12})M_{h1} + \Delta M_{h1}, \quad (5.17)$$

$$dp_1/dt = a_1(k_{h11}M_{h1} + k_{h21}M_{h2}b_{21} + k_{p1}M_{p1} - F_1p_1), \quad (5.18)$$

$$F_1 = f_1(k_{p1}M_{p1}/p_1)^{c_1}. \quad (5.19)$$

Здесь k_{h11} – доля средств, расходуемых населением страны 1 на покупку отечественной продукции; k_{h12} – доля средств, расходуемых населением страны 1 на покупку продукции страны 2; k_{h21} – доля средств, расходуемых населением страны 2 на покупку продукции страны 1; b_{21} – обменный курс валюты M_2 на валюту M_1 (на сколько единиц валюты M_1 можно обменять одну единицу валюты M_2). В уравнениях учтено влияние торгового взаимодействия на характеристики спроса и динамику цен.

Уравнения для описания динамики макроэкономических переменных страны 2:

$$dM_{p2}/dt = k_{h22} M_{h2} + k_{h12} M_{h1} b_{12} - h_2 F_2 p_2 + \Delta M_{p2}, \quad (5.20)$$

$$dM_{h2}/dt = h_2 F_2 p_2 - (k_{h22} + k_{h21}) M_{h2} + \Delta M_{h2}, \quad (5.21)$$

$$dp_2/dt = a_2 (k_{h22} M_{h2} + k_{h12} M_{h1} b_{12} + k_{p2} M_{p2} - F_2 p_2). \quad (5.22)$$

$$F_2 = f_2 (k_{p2} M_{p2} / p_2)^{c_2}, \quad (5.23)$$

Эти уравнения аналогичны уравнениям (5.16)–(5.19) для страны 1; b_{12} – обменный курс валюты M_1 на валюту M_2 (на сколько единиц валюты M_2 можно обменять одну единицу валюты M_1).

Уравнение для описания динамики курса валют:

$$db_{21}/dt = a_3 ((k_{h12} M_{h1}) / (k_{h21} M_{h2}) - b_{21}), \quad (5.24)$$

$$b_{21} b_{12} = 1. \quad (5.25)$$

Уравнение (5.24) отражает рыночное формирование курса валют на основе спроса и предложения. Спрос на валюту M_2 определяется тем, какую часть своих средств население страны 1 тратит на покупку продукции страны 2, и составляет величину $k_{h12} M_{h1}$. Предложение валюты M_2 определяется тем, какую часть своих средств население страны 2 тратит на покупку продукции страны 1, и составляет величину $k_{h21} M_{h2}$. По существу, величина b_{21} характеризует цену единицы валюты M_2 в единицах валюты M_1 .

Уравнение (5.25) отражает тот факт, что величины b_{21} и b_{12} обратно пропорциональны друг другу.

Методика моделирования

Модель включает в себя уравнения: (5.16)–(5.25). С помощью модели проводится анализ условий экономического взаимодействия стран при различных сценариях. Параметры модели оцениваются на основе процедуры идентификации с использованием эмпирических данных. Исследование проводится по следующей схеме.

Сначала моделируется ситуация простого воспроизводства, при которой значения динамических переменных обеих стран с течением времени остаются постоянными, анализируется условия реализации этой ситуации. Затем исследуются предпосылки и условия (на языке параметров модели), при которых происходит разбалансирование системы: неравномерный экономический рост, ухудшение экономического положения одной из стран и т.п.

Результаты моделирования

В системе (5.16)–(5.25) возможен режим простого воспроизводства в обеих странах в условиях сбалансированного торгового обмена. В этом случае правые части уравнений (5.16)–(5.25) равны нулю, т.е. все потоки денег в системе скомпенсированы обратными потоками.

Если одна из стран более развита (например, имеет более высокое значение f , выпускает более качественную продукцию) и ее продукция пользуется повышенным спросом, то она во взаимной торговле получает преимущество, при этом курс ее валюты начинает расти. В указанном случае она может проводить дополнительную эмиссию без угрозы инфляции, обеспечивая свой экономический рост и закрепляя свои конкурентные преимущества на внешнем рынке (так как эмиссия сдерживает увеличение курса валюты и предотвращает удорожание экспортируемых товаров в странах-импортерах).

Более того, даже если ситуация абсолютно симметричная (характеристики стран полностью одинаковы), то дополнительная эмиссия своей валюты одной из стран (при отсутствии дополнительной эмиссии в другой стране) дает ей конкурентное преимущество: темпы ее роста становятся выше, происходит экономическая экспансия (см. рис. 5.8, время по оси абсцисс и динамика экономического роста по оси ординат даны в относительных единицах).

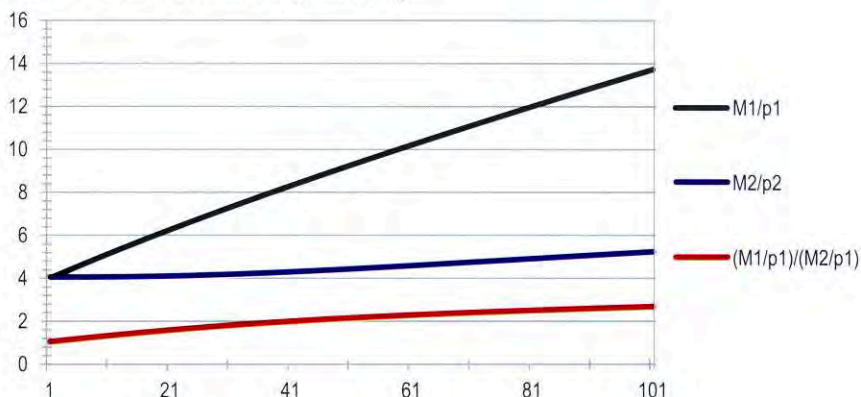


Рисунок 5.8

Динамика экономического роста двух взаимодействующих стран в абсолютном (черная и синяя линии) и относительном (красная линия) измерениях при одностороннем характере денежной эмиссии (эмиссия проводится страной 1)

Данный эффект был также математически описан в [Чернавский 2004; Чернавский, Старков 2011] на основе использования более агрегированной модели «борьбы валют».

Таким образом, эмиссионная политика и принятые правила международного денежного обращения (например, Бреттон-Вудская или Ямайская валютная система) существенным образом влияют на экономические взаимодействия государств, давая существенные преференции странам-эмитентам резервной валюты (этими преференциями в настоящее время активно пользуются США, которые решают свои экономические проблемы во многом за счет ресурсов остального мира).

Государства, которые оказываются в проигрыше в результате торгового взаимодействия со странами-эмитентами, могут повлиять на ситуацию в свою сторону, если откажутся от свободной конвертации валют и будут сознательно занижать курс своей валюты (это означает исключение из модели уравнения (5.24) и введение вместо него регулируемого курса b_{21}). То же справедливо и для ситуации взаимодействия более развитой и менее развитой стран (развитой и развивающейся стран): разви-

вающаяся страна может улучшить свое положение путем сознательного занижения курса своей валюты (см. рис. 5.9, время по оси абсцисс и динамика экономического роста по оси ординат даны в относительных единицах).

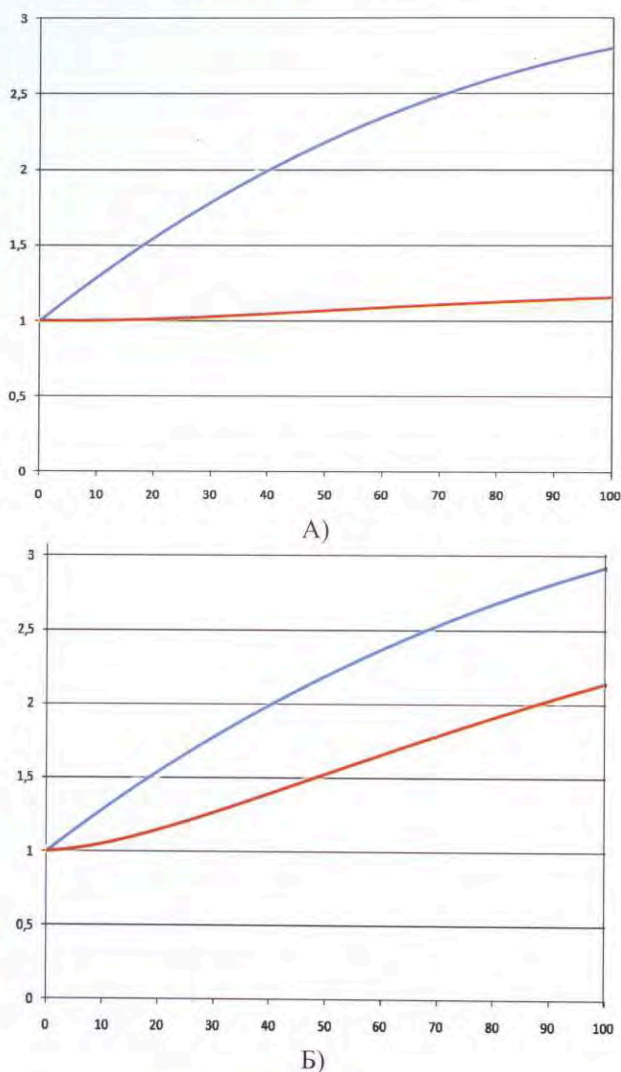


Рисунок 5.9

Влияние валютно-денежной политики развивающейся страны на экономический рост, динамика ВВП развитой страны (синяя линия, отн. ед.), динамика ВВП развивающейся страны (красная линия, отн. ед.)
 А) свободный валютный курс; Б) заниженный валютный курс развивающейся страны

Видно, что, занижая валютный курс, развивающаяся страна может усилить свои конкурентные возможности и добиться ускорения экономического развития (такой политикой в настоящее время усиленно пользуется Китай).

*В) МОДЕЛЬ ТОРГОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТРАНЫ-ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ
И СТРАНЫ-ПОСТАВЩИКА СЫРЬЕВОЙ ПРОДУКЦИИ*

Основные допущения модели и методы моделирования

В модели рассматривается ситуация торгового взаимодействия двух стран, имеющих разную специализацию: первая страна имеет развитую обрабатывающую промышленность и торгует на внешнем рынке потребительскими товарами и промышленным оборудованием, а вторая страна специализируется на производстве сырьевой продукции (минерального сырья, сельскохозяйственной продукции и т.п.) и на торговле ею на внешнем рынке. Считается, что обрабатывающая промышленность второй страны развита слабо, вследствие чего ее влиянием на экономические процессы в первом приближении можно пренебречь.

Каждая страна имеет свою национальную валюту. В модели принято, что торговое взаимодействие выражается в том, что производственный сектор $ПС_1$ первой страны покупает сырье, производимое производственным сектором $ПС_2$ второй страны, по цене p_2 , которая зависит от соотношения спроса и предложения на сырье (считается, что доля импортного сырья в конечной продукции составляет величину q). Производственный сектор $ПС_2$ второй страны покупает необходимое ему производственное оборудование в первой стране. Кроме того, в силу неразвитости обрабатывающей промышленности второй страны, ее население покупает потребительскую продукцию в основном импортного производства. Импортная продукция покупается за валюту и по ценам страны-экспортера. Обменный курс валют устанавливается на основе взаимного спроса на валюты, возникающего в ходе торгового обмена.

Обобщенная схема такого торгового взаимодействия, отражающая потоки денежных средств при указанных выше предположениях, представлена на рис. 5.10.

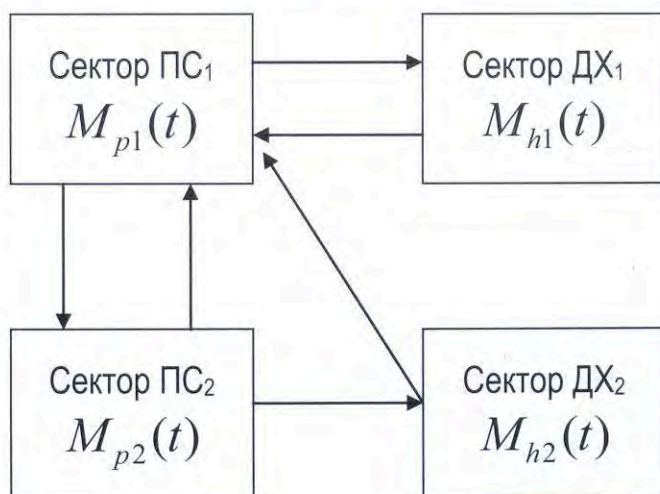


Рисунок 5.10

Когнитивная схема торгового взаимодействия страны-производителя промышленной продукции и страны-поставщика сырьевой продукции

Соответствующая базовая математическая модель может быть описана уравнениями (5.26)–(5.35).

Уравнения для описания динамики макроэкономических переменных первой страны:

$$dM_{p1}/dt = k_{h1}M_{h1} + k_{h2}M_{h2}b_{21} + k_{p2}M_{p2}b_{21} - qF_1p_2b_{21} - h_1F_1p_1 + \Delta M_{p1}, \quad (5.26)$$

$$dM_{h1}/dt = h_1F_1p_1 - k_{h1}M_{h1} + \Delta M_{h1}, \quad (5.27)$$

$$dp_1/dt = a_1(k_{h1}M_{h1} + k_{h2}M_{h2}b_{21} + k_{p2}M_{p2}b_{21} + k_{p1}M_{p1} - F_1p_1), \quad (5.28)$$

$$F_1 = f_1(k_{p1}M_{p1}/p_1)^{c_1}. \quad (5.29)$$

Эти уравнения аналогичны уравнениям (5.8)–(5.11) с учетом того, что страна 2 закупает в стране 1 не только потребительские товары, но и оборудование, а страна 1 закупает в стране 2 сырье.

Уравнения для описания динамики макроэкономических переменных страны 2:

$$dM_{p2}/dt = qF_1p_2 - h_2F_2p_2 - k_{p2}M_{p2} + \Delta M_{p2}, \quad (5.30)$$

$$dM_{h2}/dt = h_2F_2p_2 - k_{h2}M_{h2} + \Delta M_{h2}, \quad (5.31)$$

$$dp_2/dt = a_2(qF_1p_2 - F_2p_2), \quad (5.32)$$

$$F_2 = f_2(k_{p2}M_{p2}b_{21}/p_1)^{c_2}. \quad (5.33)$$

Уравнение (5.30) отражает тот факт, что доходы сектора PC_2 состоят только из экспортной выручки, а расходы кроме выплат зарплат включают в себя закупку импортного оборудования. В уравнении (5.33) учтена зависимость производственных затрат от цен на импортное оборудование (с учетом валютного курса).

Уравнение для описания динамики курса валют:

$$db_{21}/dt = a_3(qF_1p_2 - k_{h2}M_{h2} - k_{p2}M_{p2}). \quad (5.34)$$

Уравнение (5.34) отражает рыночное формирование курса валют на основе спроса и предложения. Спрос на валюту M_2 определяется спросом на сырьевую продукцию страны 2 и составляет величину qF_1p_2 . Предложение валюты M_2 определяется спросом со стороны населения и производственного сектора страны 2 на продукцию страны 1.

Естественным образом, величины b_{21} и b_{12} обратно пропорциональны друг другу:

$$b_{21}b_{12} = 1. \quad (5.35)$$

Методика моделирования

Модель включает в себя уравнения: (5.26)–(5.35). С помощью модели проводится анализ условий экономического взаимодействия стран при различных сценариях. Параметры модели оцениваются на основе процедуры идентификации с использованием эмпирических данных. Исследование проводится по следующей схеме.

Сначала моделируется ситуация простого воспроизводства, при которой значения динамических переменных взаимодействующих стран с течением времени остаются постоянными, анализируется условия реализации этой ситуации. Затем исследуются предпосылки и условия (на языке параметров модели), при которых происходит разбалансирование системы связей: неравномерный экономический рост, ухудшение экономического положения одной из стран и т.п.

Результаты моделирования

В системе (5.26)–(5.35) возможен режим простого воспроизводства в обеих странах в условиях сбалансированного торгового обмена. В этом случае правые части

уравнений (5.26)–(5.35) равны нулю, т.е. все потоки денег в системе скомпенсированы обратными потоками. Наличие равновесия обусловлено взаимодополнительностью стран: первая («промышленная») страна поставляет во вторую («сырьевую») страну оборудование и потребительские товары, а вторая страна поставляет в первую необходимое для производства сырье. Такая специализация типична и внутри отдельных стран между их отдельными регионами.

Проблема заключается в том, что промышленное производство, основанное на инновациях, как правило, имеет возрастающую отдачу от масштабов производства ($c > 1$), а сырьевые отрасли имеют, как правило, убывающую отдачу от масштабов производства ($c < 1$) [см., например, Райнерт 2011]. Это приводит к постепенному снижению доходов населения в сырьевых странах по отношению к доходам населения промышленно развитых стран. Результаты одного из вариантов соответствующих расчетов по модели (5.26)–(5.35) приведены на рис. 5.11 (по оси абсцисс приведено время в относительных единицах; по оси ординат приведена величина, показывающая, во сколько раз реальные доходы населения промышленно развитой страны выше реальных доходов населения сырьевой страны).

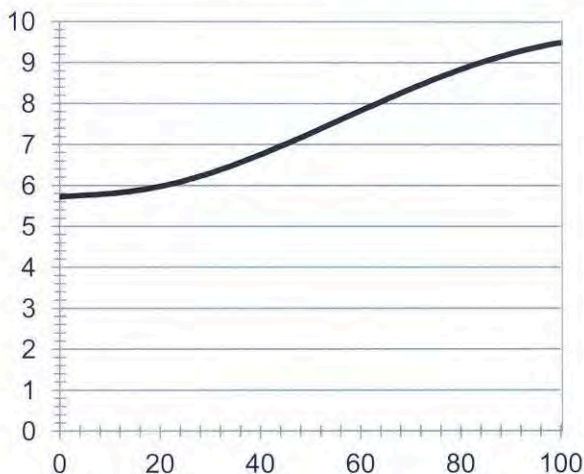


Рисунок 5.11

Рост разницы доходов населения промышленно развитой и сырьевой стран в ходе их торгового взаимодействия

Видно, что сырьевая специализация (если нет возможности монопольно диктовать цены на сырье) ведет к относительному снижению благосостояния населения сырьевых стран по отношению к благосостоянию населения промышленно развитых стран. Данная ситуация усугубляется, если на мировом рынке идет конкуренция между сырьевыми странами за импортеров сырья. В этом случае страны-экспортеры вынуждены для повышения конкурентоспособности снижать цены на свое сырье, экономя издержки на его производство. Это приводит к снижению зарплат и других доходов граждан сырьевой страны. Поскольку производители сырья не зависят от покупательной способности собственного населения (в отличие от ситуации в промышленно развитой стране, ориентирующейся на внутренний спрос), то

процесс снижения зарплат может зайти достаточно далеко и лимитируется лишь возникновением социальных протестов и развитием политической нестабильности. Сжатие внутреннего платежеспособного спроса препятствует развитию высокотехнологичных производств, ориентированных на производство потребительских товаров. Происходит деиндустриализация страны. Таким образом, страна попадает в так называемую «сырьевую ловушку» или «ловушку бедных стран» [Райнерт 2011], замораживающую ее развитие. Выйти из этой «ловушки» можно только в результате целенаправленной политики руководства страны, направленной на развитие высокотехнологичных обрабатывающих производств и повышение внутреннего платежеспособного спроса.

Изложенные выше модели являются базовыми, ориентированными на выявление основных закономерностей торгово-экономического взаимодействия стран с различным уровнем развития. На их основе путем конкретизации и детализации описываемых процессов возможно построение расчетных имитационных моделей, предназначенных для количественного анализа и прогноза экономического развития конкретных стран.

6. Модель долгосрочной динамики стран БРИК

Назначение модели

Модель предназначена для анализа и прогноза возможных вариантов долгосрочной демографической и экономической динамики стран БРИК (Бразилия, Россия, Индия, Китай). Модель имеет агрегированный характер, основные рассчитываемые показатели: $N(t)$ – количество населения в стране (с учетом возрастной структуры), $Y(t)$ – валовой внутренний продукт (ВВП), структура экономики (соотношение отраслей экономики по вкладу в ВВП). Рассматривается трендовая динамика без учета циклических процессов. Модель имеет два блока: демографический блок и экономический блок.

А) ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ БЛОК

Основные допущения модели и методы моделирования

При моделировании демографической динамики отдельных стран необходимо получать прогнозные данные о возрастной структуре населения (что важно для определения количества трудоспособного населения) и о миграции. Поскольку модель долгосрочная, то целесообразно использовать ее аналитическую версию, предложенную МакКендриком–фон Ферстером [McKendrick 1926; von Foerster 1959]. В соответствии с ней уравнения для определения количества лиц возраста τ в момент времени t записываются следующим образом:

$$\frac{\partial n(\tau, t)}{\partial t} + \frac{\partial n(\tau, t)}{\partial \tau} = -d(\tau, t)n(\tau, t) + m(\tau, t) \quad (6.1)$$

$$n(0, t) = 0,5 \int_0^{\infty} n(\tau, t) b(\tau, t) d\tau, \quad n(\tau, 0) = g(\tau), \quad (6.2)$$

$$N_e(t) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} n(\tau, t) d\tau, \quad (6.3)$$

где $n(\tau, t)$ – количество лиц возраста τ в момент времени t , $N_e(t)$ – количество лиц в возрастном интервале (τ_2, τ_1) в момент времени t , $b(\tau, t)$ – интенсивность рождения детей у женщин возраста τ в момент времени t , $d(\tau, t)$ – возрастной коэффициент смертности для лиц возраста τ в момент времени t , $g(\tau)$ – возрастная структура общества в начальный момент времени, $m(\tau, t)$ – количество мигрантов (прибывших в страну). Последняя величина может быть отрицательна в случае оттока населения из страны.

В модели считается, что разница между численностью женщин и мужчин пренебрежимо мала, количество рождающихся мальчиков равно количеству рождающихся девочек, величина коэффициента смертности $d(\tau, t)$ одинакова для женщин и мужчин. Считается также, что для Китая, Индии и Бразилии международной миграцией можно пренебречь. Действительно, население Индии, и Китая превышает миллиард человек, что делает влияние миграционного фактора на демографию пренебрежимо малым по сравнению с эндогенными демографическими механизмами (смертность и рождаемость). Для Бразилии также справедливо данное допущение, поскольку ежегодный отток из страны составляет порядка 0,009% от населения страны³⁰.

Для определения коэффициентов смертности используется закон Гомпертца–Мейкхэма, математическое выражение которого имеет следующий вид: вероятность смерти за фиксированный короткий промежуток времени после достижения возраста τ составляет:

$$p = a + b^\tau, \quad (6.4)$$

где τ – возраст, а p – относительная вероятность смерти за определённый промежуток времени, a и b – коэффициенты. В модели принято следующее приближение:

$$d(\tau) = d_0 e^{-\tau} + d_{30} e^{a(\tau-30)}, \quad (6.5)$$

где d_0 – коэффициент младенческой смертности; (a, d_{30}) – совокупные характеристики смертности для людей, чей возраст превышает 30 лет.

Коэффициенты рождаемости аппроксимируются двумя нормальными распределениями:

$$b(\tau) = \begin{cases} Be^{-\frac{(\tau-\tau_0)^2}{S_-}}, & \tau < \tau_0, \\ Be^{-\frac{(\tau-\tau_0)^2}{S_+}}, & \tau \geq \tau_0 \end{cases}, \quad (6.6)$$

где τ_0 – положение (возраст) пика рождаемости; B – величина (высота) пика рождаемости; S_+ , S_- – показатели дисперсии (точнее, удвоенной дисперсии) левой и правой аппроксимации.

Параметры аппроксимации определяются с использованием метода наименьших квадратов (см. рис. 6.1).

³⁰ По данным *Nation Master*, URL: <http://www.nationmaster.com/country/br-brazil/imm-immigration>.

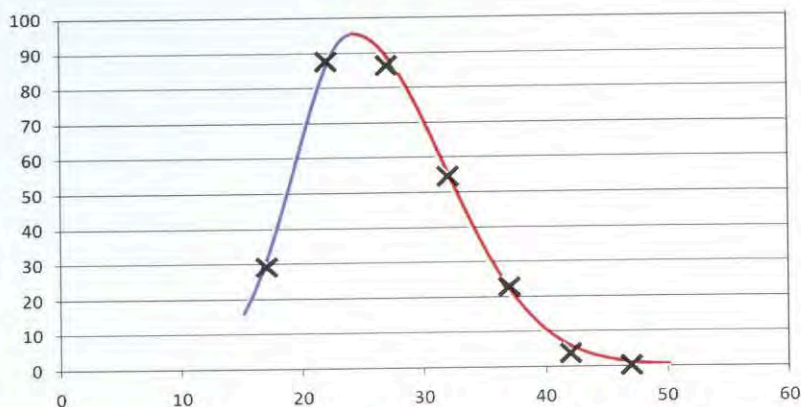


Рисунок 6.1

Аппроксимация возрастных коэффициентов рождаемости России по данным 2007 г.
 $(\tau=24; B=95; S_-=45; S_+=113)$

При проведении прогнозных расчетов в коэффициенты рождаемости вводились поправки, связанные с учетом влияния экономического развития на демографические процессы. Эти поправки определялись на основе корреляционного анализа рождаемости и экономического развития для разных стран.

Методика моделирования

Динамика возрастной структуры общества рассчитывается на основе модели (6.1)–(6.6) в дискретной форме. Расчет ведется по пятилетним периодам и для каждого из данных периодов состоит из двух шагов. На первом шаге вычисляется количество умерших. Соответственно расчету модифицируется возрастная структура. На втором шаге вычисляется количество новорожденных. Исходя из текущей возрастной структуры, вычисляется количество женщин для каждой пятилетней группы. С помощью возрастных коэффициентов рождаемости по каждой группе вычисляется количество младенцев и суммируется. Далее возрастная структура сдвигается «вниз» на пять лет, и количество новорожденных записывается в самое начало. Счетчик времени увеличивается на пять лет, и далее расчет повторяется (шаг первый и затем шаг второй).

В результате расчетов определяется динамика численности населения, возрастная структура общества, количество населения в трудоспособном возрасте.

Результаты моделирования

На рис. 6.2 и 6.3 представлены результаты расчета демографической динамики Бразилии, Индии и Китая. Динамика структуры населения рассчитывалась в предположении инерционного развития. Коэффициенты Гомпертца–Мейкхэма, коэффициенты аппроксимации рождаемости считались постоянными. При проведении расчетов использовались статистические данные из [US Census Bureau, URL: <http://www.census.gov>].

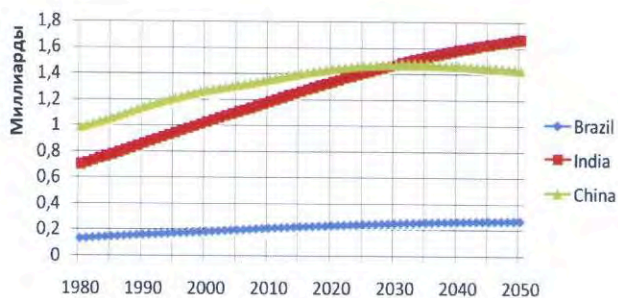


Рисунок 6.2
Динамика численности населения Бразилии, Индии и Китая,
1980–2050 гг.

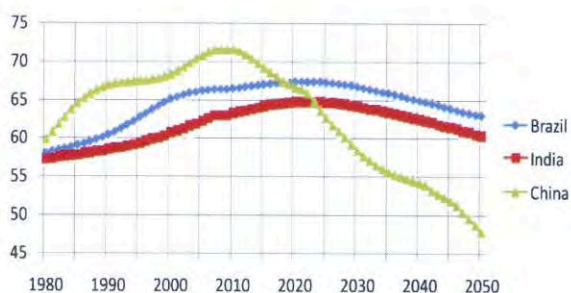


Рисунок 6.3
Динамика доли трудоспособного населения Бразилии, Индии и Китая,
1980–2050 гг. (%)

При моделировании демографического развития России рассматривалось три сценария: наилучший, инерционный и наихудший (см. рис. 6.4).

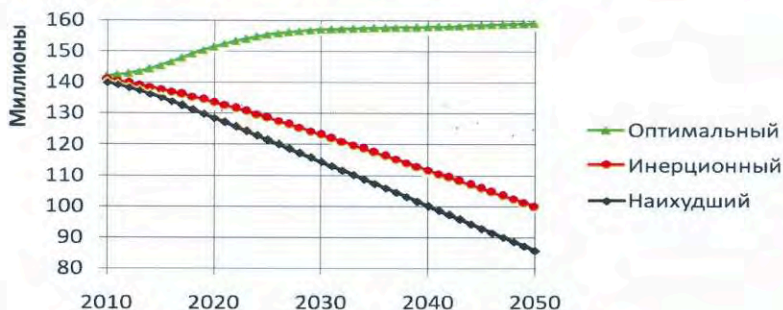
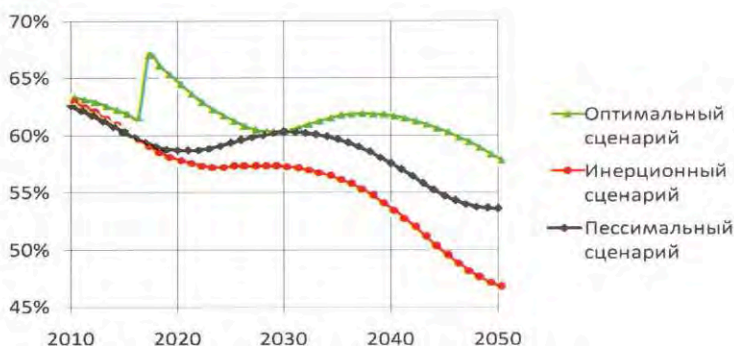


Рисунок 6.4
Динамика численности населения России, 2010–2050 гг.:
оптимальный, инерционный и наихудший сценарии
по варианту постоянного миграционного прироста на уровне 2007 г. (млн чел.)

Характеристики сценариев соответствуют указанным ниже моделям рождаемости и смертности:

Сценарий	Смертность	Рождаемость	Миграция
Наилучший	Норвегия 2008	Исландия 2008	120 тыс. чел. в год
Инерционный	Россия 2008	Россия 2008	120 тыс. чел. в год
Наихудший	Россия 1994	Россия 2000	120 тыс. чел. в год

На рис. 6.5 представлены результаты прогноза динамики доли трудоспособного населения в России.



ПРИМЕЧАНИЕ: доля трудоспособного населения для наилучшего сценария рассчитывалась в предположении увеличения пенсионного возраста до 65 лет в 2017 г. (именно такова природа скачкообразного изменения доли трудоспособного населения на рис. 6.5); большая доля трудоспособного населения в наихудшем сценарии связана с тем, что ожидаемая продолжительность жизни составляет в данном сценарии всего 63 года (57 лет для мужчин и 71 год для женщин).

Рисунок 6.5

**Динамика доли трудоспособного населения России, 2010–2050 гг.:
оптимальный, инерционный и пессимистический сценарии
по варианту постоянного миграционного прироста на уровне 2007 г. (млн чел.)**

Б) ЭКОНОМИЧЕСКИЙ БЛОК

Основные допущения модели и методы моделирования

В качестве основного экономического фактора для развивающихся стран (в число которых входят страны БРИК) рассматривается показатель уровня доходов на душу населения в сравнении с высокоразвитыми странами. Предполагается, что именно высокоразвитые страны определяют международный экономический климат и, соответственно, уровень международных цен на экспортные товары и услуги.

Уровень доходов на душу населения высокоразвитых стран определяется как среднее по странам ОЭСР с высоким уровнем дохода. Эта величина взята как нормировочный (единичный) уровень (см. рис. 6.6).

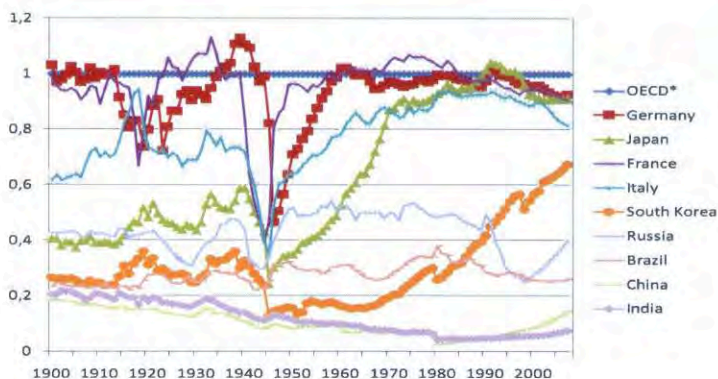


Рисунок 6.6

Динамика ВВП на душу населения

(за единицу принят соответствующий уровень стран ОЭСР с высоким доходом)

Главным параметром порядка является *производительность труда A* , определяемая как отношение ВВП к числу занятых в производстве (необходимо иметь в виду, что занятое в производстве население и трудоспособное население (как демографический показатель) – разные категории: первая группа меньше второй за счет безработицы).

В модели считается, что производительность труда в странах БРИК подтягивается к уровню развитых стран ОЭСР. Механизмами такого процесса являются освоение современных технологий и разработка технологий следующего кондратьевского цикла, поддержка научно-исследовательских и образовательных программ, внедрение современных методов управления и клиентно-ориентированного подхода и т.д. Предлагаемая математическая модель позволяет описать совокупность таких действий с помощью логистического уравнения:

$$\frac{dA}{dt} = kA(A_c - A), \quad (6.7)$$

где A – производительность; A_c – «эталонная» производительность (уровень стран ОЭСР с высоким уровнем развития); k – коэффициент догоняющего развития; чем он больше, тем быстрее происходит процесс выхода на эталонный уровень; t – время.

Параметр k управляет скоростью развития: мало обеспечить выход в единое пространство с эталоном, нужна еще возможность самого процесса «выравнивания». При уменьшении или увеличении параметра k , соответственно, уменьшается или увеличивается скорость развития.

Качественная динамика решения данного уравнения с заданными начальными условиями – логистическая кривая, где уровень насыщения определяется величиной A_c , а темпы роста – параметром k .

Методика моделирования

В ходе моделирования задаются различные варианты развития стран БРИК на основе сценариев демографического (см. выше) и технологического (величина коэффициента k) роста. Для этих сценариев оценивается число занятых в производстве

на основе данных о количестве трудоспособного населения $N_e(t)$ [см. уравнение (6.3)], оценивается динамика роста производительности труда A [см. уравнение (6.7)], рассчитывается динамика ВВП. Параметры модели тестируются на статистических данных за 1980–2008 гг.

В результате расчетов определяется динамика роста производительности труда, ВВП, темпов экономического роста.

Результаты моделирования

Для Бразилии, Индии и Китая расчеты проводились для двух сценариев.

Сценарий эндогенного развития (рис. 6.7 и 6.9). Этот сценарий показывает внутренний потенциал роста с минимизацией внешних связей. Безусловно, это модельное приближение, реализация которого невозможна в чистом виде. Тем не менее этот сценарий показывает, во-первых, собственный потенциал страны и, во-вторых, этот сценарий – оценка нижнего уровня экономического развития. Таким образом, можно оценить давление со стороны ресурсных, социальных и прочих ограничений.

Сценарий интеграционного развития (рис. 6.8 и 6.10). Этот сценарий предполагает в некоторой степени идеализированное развитие, при котором страна ведет себя как часть глобальной системы с глубоким уровнем интеграции. Результаты расчетов по данному сценарию позволяют оценить максимально возможный уровень экономического развития.

Интересно отметить, если для Индии и Китая расчеты по двум сценариям отличаются кардинально, то для Бразилии – практически нет, за исключением более ярко выраженной циклической динамики при интеграционном сценарии.

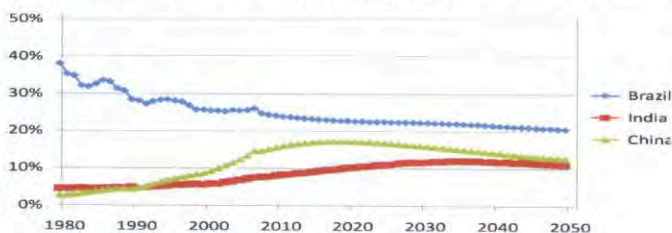


Рисунок 6.7

Уровень развития относительно стран ОЭСР при эндогенном развитии

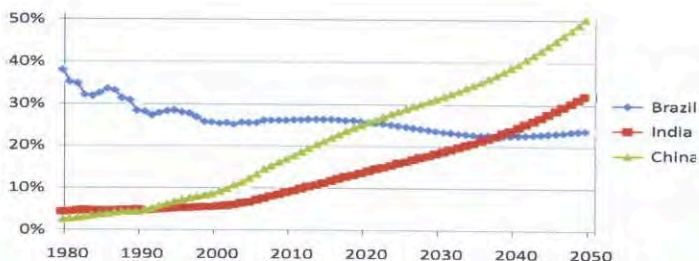


Рисунок 6.8

Уровень развития относительно стран ОЭСР при интеграционном развитии

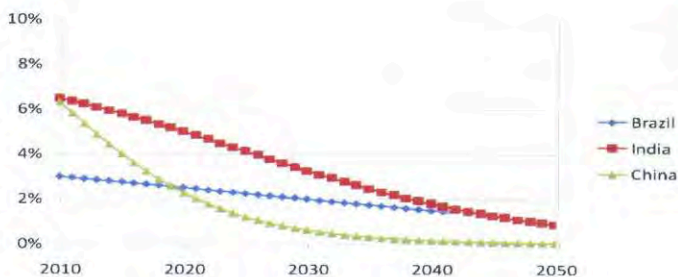


Рисунок 6.9

Годовые темпы экономического роста при эндогенном развитии

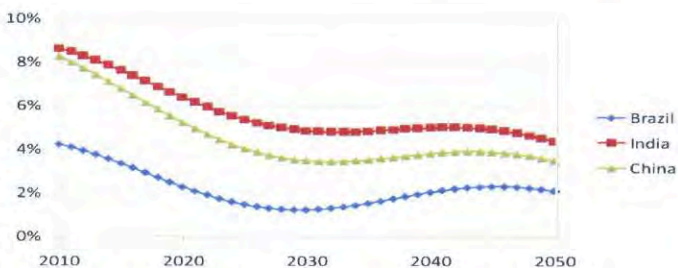


Рисунок 6.10

Годовые темпы экономического роста при интеграционном развитии

Для России при моделировании рассматривались три сценария развития.

Оптимистичный сценарий: Россия – на пути в ОЭСР. Экономика становится инновационной, диверсифицируется, уходит от экспортносырьевой ориентации; доли отраслей промышленности в экспорте растут, в то же время доля энергоресурсов снижается. В этом случае догоняющее развитие будет происходить (относительно) равномерно по секторам и, более того, верхнюю планку (уровень насыщения логистического догоняющего развития) будет задавать соответствующий международный уровень. В данном сценарии верхняя планка для экономического развития составит 70% (уровень Италии, см. рис. 6.6).

Ресурсный сценарий: Россия – ресурсная держава. Структурных сдвигов в экономике не произойдет, и, соответственно, структура экспорта останется ресурсозависимой. Делается также предположение, что нефть как экспортный ресурс (по истощению запасов) сменит какой-либо другой ресурс (например, газ) и т.д. При таком сценарии развития, на международный уровень будет «иметь выход» только добывающий (и напрямую связанные отрасли) сектор. Остальные сектора будут «подтягиваться» к ресурсному сектору, который полностью определит верхнюю планку догоняющего развития. Надо учесть, что население, занятое в области добычи ресурсов, составляет малую долю от общего населения и не будет увеличиваться. Поэтому усредненный предельный уровень экономического развития составит 30% от уровня стран ОЭСР (нынешний уровень Турции, Бразилии, см. рис. 6.6).

Пессимистический сценарий: Россия – «Периферия» мира. Структура экономики не меняется. Ресурсодобывающая промышленность сохраняет ориентирован-

ность на нефть и не перестраивается. По оценкам British Petroleum запасов нефти в России осталось на 27 лет (при текущем уровне добычи). Прогноз по данному сценарию основан на оценке стоимости нефти на международном рынке. После исчерпания нефтяного запаса начнется стагнация, и уровень экономического развития составит 15% от уровня стран ОЭСР (нынешний уровень Индии, см. рис. 6.6).

В предложенных сценариях считается, что не произойдет техногенных и социальных катастроф. Тем не менее эти факторы нельзя исключать. По данным Росстата около половины оборудования изношено. Города с единственным градообразующим предприятием, находящимся за порогом рентабельности, могут стать очагами социальных волнений.

В условиях предположений оптимистического сценария имеет смысл рассматривать совокупную производительность экономики России – делается предположение о проведении структурных сдвигов, необходимых для оптимизации структуры экономики, и об обеспечении возможности догоняющего развития как такового.

Для остальных двух сценариев рассматривается энергетический сектор и остальная часть экономики. При этом, российская экономика рассматривается как двухступенчатая: производительность в добывающем секторе как добавочный продукт, приходящийся на одного занятого в этом секторе, стремится на внешнем рынке к международному уровню, а остальные сегменты экономики «притягиваются» уже только к внутреннему добывающему сектору.

Как показал анализ структуры экономики России, последние сценарии (вследствие малой доли трудоустроенных в добывающем секторе) можно отнести к *эндогенному росту*.

Чрезвычайно важным фактором долгосрочного экономического развития является демографический фактор: рост ВВП во многом зависит от количества трудоспособного населения в стране и его доли во всем населении. При проведении расчетов динамики ВВП России рассматривались три описанных ранее демографических сценария: наилучший, наихудший и инерционный, которые накладывались на экономические сценарии: оптимистичный, ресурсный и пессимистичный (см. рис. 6.11 и 6.12).

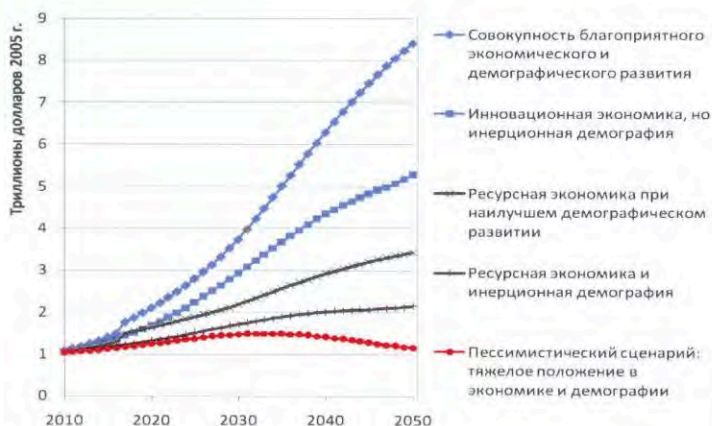


Рисунок 6.11
Динамика ВВП России
при различных вариантах экономического и демографического развития

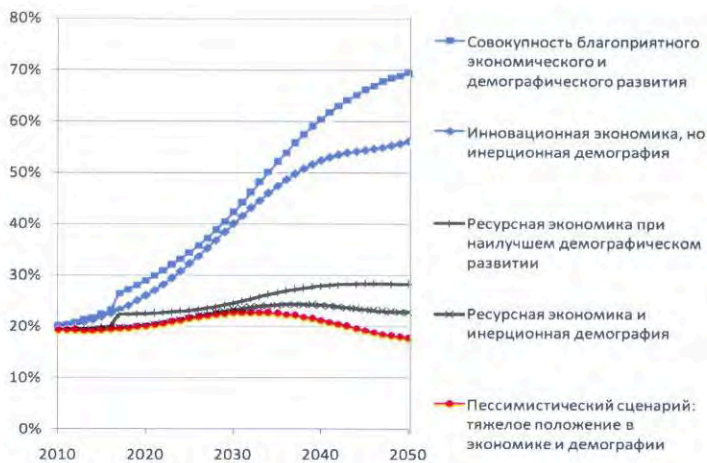


Рисунок 6.12

Уровень ВВП на душу населения относительно стран ОЭСР при различных вариантах экономического и демографического развития

На рис. 6.13 и 6.14 представлены результаты сравнения расчетов, выполненных с использованием модели, с прогнозом Goldman Sachs [Goldman Sachs 2003]. На рис. 6.13 отражена ситуация, соответствующая благоприятному сценарию для стран БРИК. На рис. 6.14 отражена ситуация, соответствующая неблагоприятному сценарию для стран БРИК.

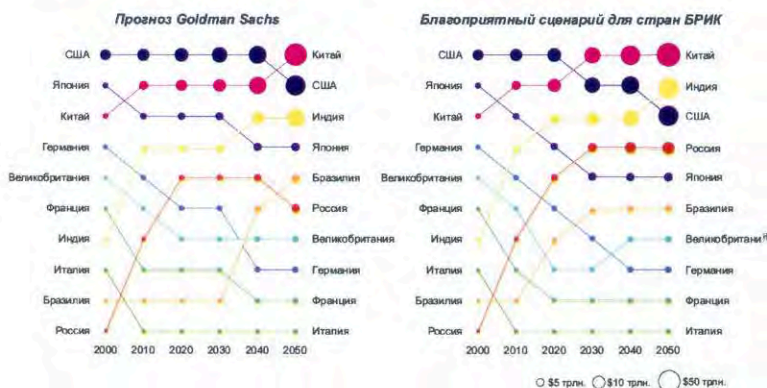


Рисунок 6.13

Сравнение благоприятного прогноза для стран БРИК с прогнозом Goldman Sachs

Таким образом, базовая модель долгосрочной динамики позволяет оценивать перспективы развития стран БРИК в рамках различных сценариев. Однако данная модель является слишком агрегированной для решения практических оптимизационных задач и может прогнозировать лишь общие тренды при различных сценариях развития. Решения оптимизационных задач, предназначенных для поддержки принятия практических решений, должно осуществляться с использованием моделей другого типа (см. следующий раздел).

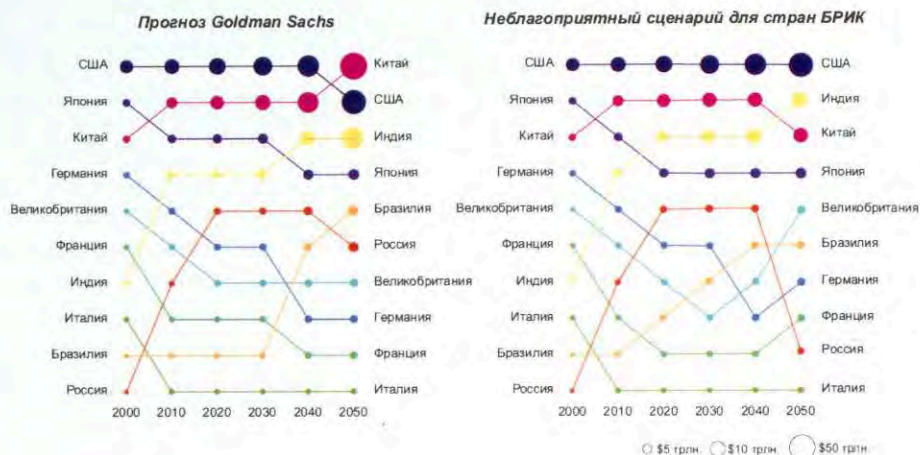


Рисунок 6.14
Сравнение неблагоприятного прогноза для стран БРИК
с прогнозом Goldman Sachs

7. Краткосрочная модель социально-экономической динамики России

Назначение модели

Модель описывает макроэкономические процессы и предназначена для анализа и прогноза реакции экономики России на изменение внешних и внутренних условий (цены на сырье, курс валют, тарифы, таможенные сборы, налоги и т.п.) в краткосрочном периоде (от одного до трех лет) [Чернавский и др. 2010, 2011]. Основные рассчитываемые показатели: объем выпуска продукции внутриориентированных отраслей экономики, уровень доходов и накоплений населения по социальным группам, динамика инфляции, динамика спроса и др. Модель носит агрегированный характер, ее задача – прогноз динамического отклика экономики России на внешние шоки и управляющие воздействия. Модель может использоваться как инструмент поддержки принятия решений.

Основные допущения модели и методы моделирования

Модель построена на основе принципов моделирования развивающихся систем. Поскольку она предназначена для поддержки принятия решений на краткосрочном горизонте, то в ней используются «быстрые» переменные, с помощью которых возможно описание достаточно скоротечных процессов и реакции рассматриваемой социальной системы на изменение внешних и внутренних условий. Для выполнения своих функций модель должна:

- описывать динамическую реакцию экономики на изменение внешних и внутренних параметров (изменение курса рубля, тарифов, государственных расходов, объемов экспорта/импорта и т.п.);

- учитывать процессы рыночного ценообразования и инфляционные процессы, что является крайне важным при оценке целесообразности той или иной бюджетной политики;
- учитывать влияние экономической политики на динамику экономической структуры общества (ЭСО) и – в свою очередь – влияние динамики ЭСО на социально-экономические процессы в стране;
- учитывать функционирование отдельных отраслей в составе экономики России;
- иметь прозрачную структуру, оперировать небольшим количеством параметров (с их настройкой по ретропрогнозу).

Разработанная с учетом этих требований модель описывает материальные и финансовые потоки согласно схеме на рис. 7.1. На схеме выделена отдельная отрасль (в данном случае – оборонно-промышленный комплекс), функционирование которой подвергается при моделировании более детальному анализу.

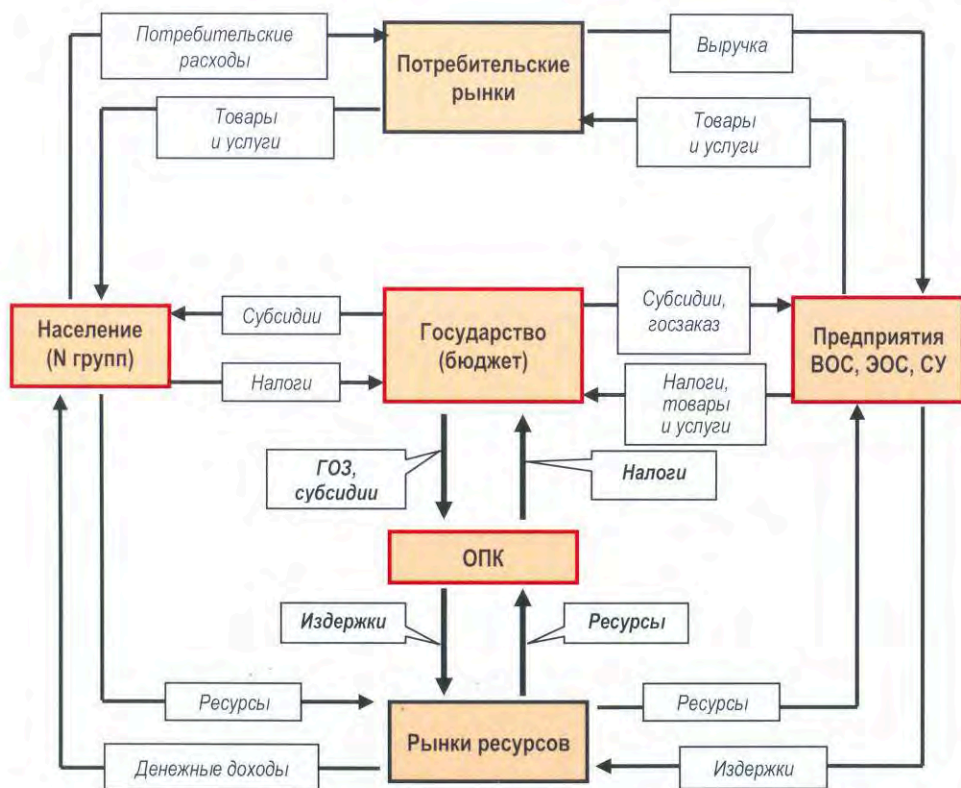


Рисунок 7.1

**Структурная схема базовой модели
социально-экономической динамики РФ
(с выделением ОПК в качестве отдельного сектора экономики)**

Особенностями модели являются следующие.

1. Основа модели – динамическое определение макроэкономических показателей в соответствии с методологией системы национальных счетов (валовой внутренний продукт, валовая добавленная стоимость, индекс инфляции и т.п.).
2. Межотраслевые связи учитываются по схеме межотраслевого баланса для следующих базовых секторов экономики (см. рис. 7.2):
 - а) внутриориентированный сектор (ВОС) – производящие отрасли, ориентированные на внутренний рынок (в том числе ОПК);
 - б) экспортно-ориентированный сектор (ЭОС) и естественные монополии (в том числе сырье, металлургия, энергетика, железнодорожный транспорт и т.п.);
 - в) сектор услуг (СУ) (в том числе торговля, автомобильный транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, финансы, здравоохранение и т.п.);
 - г) государственный сектор (ГС);
 - д) население.

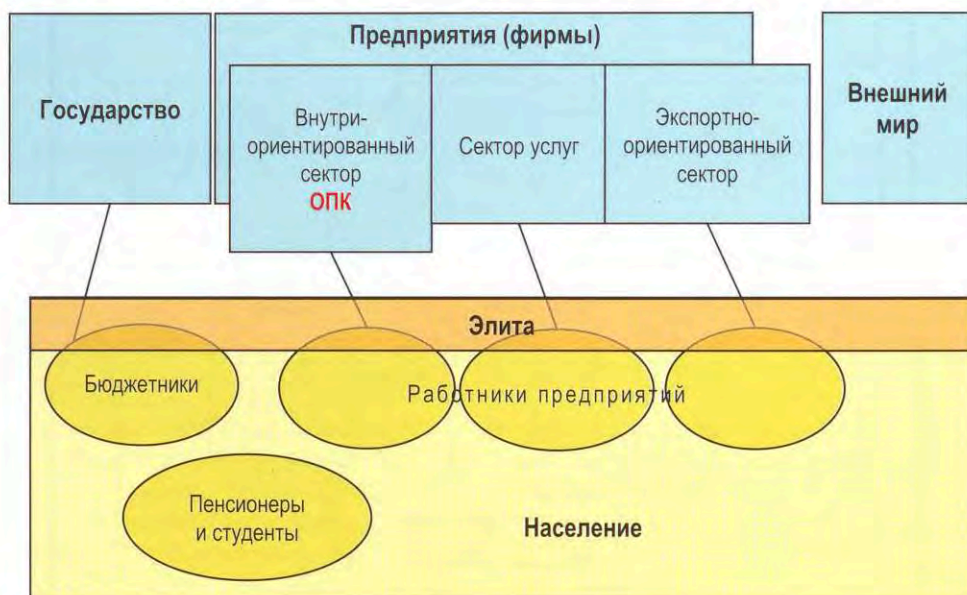


Рисунок 7.2

Структура экономики и населения, используемая в модели

3. Сектор «домохозяйства» дезагрегирован на несколько социальных групп в соответствии с их отношением к рассматриваемым секторам экономики (см. рис. 7.2), что позволяет моделировать экономическую структуру общества – распределение населения по накоплениям – и учитывать влияние социального расслоения общества на экономические процессы.
4. Ценообразование на продукцию ВОС и инфляция определяются непосредственно в ходе моделирования динамики внутреннего рынка.

В модели использовано так называемое *однопродуктовое приближение*. Это значит, что рассматривается единый агрегат продуктов, которые производятся и потребляются внутри страны – России. В этот агрегат входит продукция ВОС и СУ, а именно: продукция сельского хозяйства, продукция обрабатывающей промышленности и услуги [к последним традиционно относятся услуги посредников (торговля) и финансовые услуги (банки)]. Цена этого агрегата продуктов p в модели является динамической переменной и определяется из условия баланса спроса и предложения на внутреннем рынке России. Она играет важную роль как индикатор состояния экономики.

В указанный агрегат (продукт) не входят: сырье и продукты его первичной переработки, энергоносители, транспортные услуги (т.е. продукция ЭОС). Основания для такого выделения состоят в следующем.

Цены сырья, энергоносителей и транспортные тарифы определяются не на внутреннем рынке. Частично они диктуются мировым рынком, частично контролируются государством (транспортные тарифы и электроэнергия). Причина в том, что упомянутые товары являются продукцией естественных монополий, поэтому их цена не может регулироваться свободным рынком. Сырьевые монополии работают преимущественно на экспорт и продают свою продукцию по мировым ценам. Цены металлов «назначаются» по воле владельцев монополий либо определяются внешним рынком. Цены энергоносителей изменяются пропорционально внутренним ценам, т.е. они либо отслеживают инфляцию, либо сами вызывают ее.

Товары, входящие в единый «продукт», можно классифицировать по характеру их использования. Традиционно выделяют следующие классы: товары первой необходимости (жизненно важные, такие как пища и одежда), товары длительного пользования (автомобили, бытовая техника и т.д.) и элитные товары. Эта классификация важна при формировании функции спроса продукции (см. ниже).

Функция спроса

Важную роль в модели играет функция спроса $Q(U, p)$. При моделировании развивающихся систем необходимо учитывать поведенческие реакции агентов. В экономике поведенческие реакции описываются, в частности, функциями спроса. Они представляют собой количество продукта, приобретаемого потребителем в единицу времени при наличии у него средств, – U и цене продукта p . Условимся единицу продукта в натуральном измерении называть термином «штука».

При пропорциональном изменении величин U и p (например, при деноминации денег) величина Q не должна меняться. Поэтому функция спроса Q зависит от одной переменной $U/p = r$, которую мы будем называть *покупательной способностью потребителя*. Отметим, что в экономической литературе чаще используются функции спроса, зависящие не от накоплений, а от доходов, точнее от отношения доходов P в единицу времени к цене:

$$Q_j \left(\frac{P}{p_j} \right)$$

где p_j – цена товара j -го типа, Q_j – количество этого товара. Данная функция спроса актуальна, когда имеется несколько продуктов и потребитель решает какую часть дохода истратить на приобретение каждого из них.

Функции $Q_j\left(\frac{U}{p_j}\right)$ и $Q_j\left(\frac{P}{p_j}\right)$ вообще говоря, различны, хотя и сходны по поведению в зависимости от соответствующего аргумента. Какая из них более адекватна поведению потребителя – вопрос спорный. При малых накоплениях U (или отсутствии их) потребитель чаще ориентируется на доходы. При приобретении дорогих товаров долговременного пользования потребитель ориентируется на имеющиеся у него накопления (для чего значительная часть накоплений и делается). При развитии системы кредитования населения возможны оба типа поведения.

В однопродуктовом приближении использовать функцию $Q\left(\frac{P}{p}\right)$ невозможно.

Действительно в стационарных условиях весь доход P должен быть истрачен на приобретение одного продукта. Следовательно, количество его Q должно быть равно $Q\left(\frac{P}{p}\right) \equiv \frac{P}{p}$. Функция $Q\left(\frac{U}{p}\right)$ сохраняет смысл, поскольку не все накопления тратятся на приобретение продукта.

Форма функции спроса $Q\left(\frac{U}{p}\right)$ приведена на рис. 7.3 и может быть представлена в аналитическом виде:

$$Q(r) = Q_1 \cdot \frac{r}{r+r_1} + \Theta(r-r_{\min}) \cdot \left[Q_2 \cdot \frac{r-r_{\min}}{r-r_{\min}+r_{02}} + \varepsilon \cdot (r-r_{\min}) \right], \quad (7.1)$$

где $\Theta(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ 1, & \text{при } x > 0 \end{cases}$

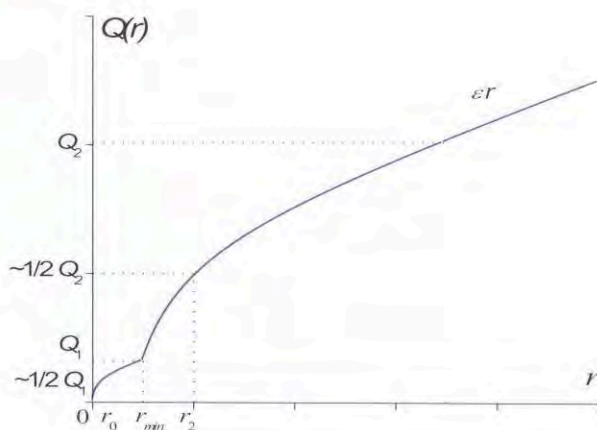


Рисунок 7.3
Вид функции спроса

Смысл параметров Q_1 , Q_2 , r_1 , r_2 , r_{\min} и ε состоит в следующем.

Параметр Q_1 соответствует полному удовлетворению жизненно необходимых потребностей, r_1 – значение покупательной способности, при которой эти потребности удовлетворяются наполовину.

Величина r_{min} – покупательная способность, ниже которой потребитель не приобретает товаров долговременного пользования. Значение r_{min} зависит от психологии потребителя. Так, большое значение r_{min} означает, что человек склонен полнее удовлетворить потребности первой необходимости, т.е. жить проще. Малое значение r_{min} означает, что потребитель склонен жить «по-современному», даже в ущерб питанию.

Параметр Q_2 соответствует полной удовлетворенности товарами долговременного пользования, т.е. приобретению потребителем всего «джентльменского набора» товаров: престижного жилья, автомобиля, дачи, новейшей бытовой техники и т.д.

Параметр r_2 характеризует стремление человека выглядеть достойным титула «джентльмена». При малом значении r_2 человек, едва накопивший средства в количестве $U \approx r_{min} \cdot p$, стремится тут же их потратить на приобретение «джентльменского набора». При большом значении r_2 , напротив, человек ведет себя скромно и бережливо даже при накоплениях $U > r_{min} \cdot p$.

Параметр ε отражает наличие «всевозрастающих потребностей человека», то есть неспособность многих остановиться в своих тратах на приобретение роскоши при наличии соответствующих средств.

Таким образом, параметры функции спроса отражают человеческий фактор – психологию потребителя.

Как упоминалось ранее, в модели важно поведение коллектива потребителей и, следовательно, параметры функции спроса имеют социально-психологический характер, учитывают обычаи и правила поведения, сложившиеся в данном обществе.

В разных странах эти параметры, вообще говоря, различны и функции спроса могут заметно отличаться. Сигмоидальный характер функции спроса играет в модели очень важную роль. Его эффект зависит от параметров r_{min} и r_2 : при малых r_{min} и больших r_2 функция спроса практически становится плавной и всюду выпуклой: сигмоидность (т.е. «клюв» на рис. 7.3) исчезает. Параметры функции спроса могут меняться с течением времени, но медленно (например, при смене поколений).

Производственная функция

Уровень технологии производства отражается так называемой производственной функцией $F(r')$. Она представляет собой количество продукции в штуках, производимое за единицу времени при вложении средств в размере r' (здесь средства тоже удобнее измерять в штуках продукта r). Зависимость $F(r')$ в общем случае представлена на рис. 7.4, она имеет пороговый характер.

Можно выделить три области:

1. Область при малых r' ($r' < \bar{r}$), где продукция практически отсутствует, но средства необходимо вкладывать для покрытия так называемых постоянных издержек. В них входят:

- а) затраты на содержание предприятия κ , даже если оно не работает;
- б) затраты на совершенствование технологий – на создание инноваций (НИР, НИОКР).

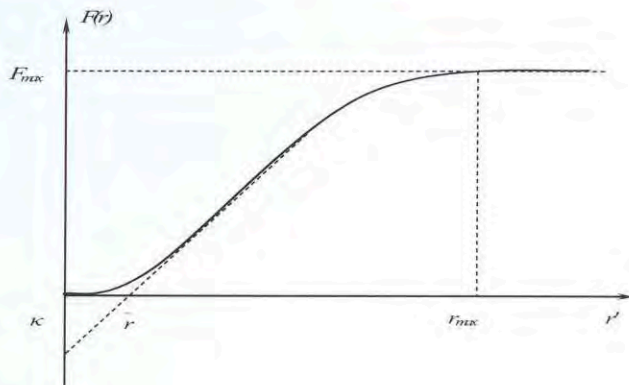


Рисунок 7.4
Вид производственной функции

Далее мы будем аппроксимировать функцию $F(r')$ кусочно-линейной функцией.

Как правило, величины $\kappa \ll F_{\max}$ и $r \ll r_{\max}$ и в первом приближении ими можно пренебречь.

2. Область, в которой производственные фонды загружены не полностью и при изменении объема оборотных средств r' пропорционально изменяется объем произведенной продукции

$$F = \chi \cdot h \cdot r' \cdot \frac{1}{\tau}, \quad (7.2)$$

где h – доля оборотных средств, идущая на оплату рабочих, χ – характеризует прибавочный продукт: $\chi-1$ – это число штук продукта, переданного рабочими владельцу в обмен на одну штуку продукта, полученного ими в форме зарплаты; τ – время производственного цикла.

Замечания:

- а) фактически здесь принято, что имеет место сделная оплата труда. Это оправдано в случае серийного производства, когда предприятие может временно прекращать работу (простаивать). В современной России ситуация близка к таковой. Повременная оплата труда более эффективна в случае непрерывного поточного производства;
- б) оборотные средства r' составляют основную часть полных накоплений владельцев r . Другая (меньшая) часть r'' не используется в производстве, а идет на покрытие личных нужд владельца. Далее для удобства мы примем:

$$r' = (1-g)r; \quad r'' = g \cdot r, \quad (7.3)$$

где $g < 1$ – доля накоплений владельцев, используемая ими для приобретения продуктов для личных нужд в соответствии с функцией спроса;

- в) коэффициент χ зависит от уровня технологии, определяющего производительность труда, и от психологии рабочих и владельцев. Величина χ кроме того определяется в результате договора между владельцами и рабочими и, следовательно, тоже отражает «человеческий фактор». В разных странах величина χ может быть различной.

3. Область $r > r_{\min}$, которая соответствует ситуации, в которой все производственные мощности загружены максимально. Тогда количество продукции, производимой в единицу времени, зависит только от количества и качества (т.е. производительности) оборудования и равно F_{\max} . Увеличение оборотных средств в этом случае не ведет к увеличению производства продукта, т.е. $F(r') = F_{\max}$ и не зависит от r' . (Реально величина F_{\max} изменяется со временем под воздействием инвестиций в основные средства, а также из-за естественного выбытия основных средств вследствие их физического и морального устаревания. Однако здесь для упрощения изложения F_{\max} считается неизменной, т.е., поскольку производственные процессы, по существу, рассматриваются в краткосрочном периоде. Соответственно, денежные балансы в излагаемой версии модели не учитывают динамику долгосрочных инвестиций.)

В кусочно-линейном представлении производственную функцию можно записать в виде:

$$F(r) = \begin{cases} \frac{\chi \cdot h \cdot (1-g)}{\tau} \cdot r, & \text{при } r < r_{\max} \\ F_{\max}, & \text{при } r > r_{\max} \end{cases}, \quad (7.4)$$

где $F_{\max} = \frac{\chi \cdot h \cdot (1-g)}{\tau} \cdot r_{\max}$.

Область, где $F = \frac{\chi \cdot h \cdot (1-g)}{\tau} \cdot r$, соответствует низкопродуктивному (НП) состоянию, а область, где $F = F_{\max}$, – высокопродуктивному (ВП) состоянию.

В модели особую роль играют переменные издержки, пропорциональные объему производства. К ним относятся: налоги, издержки на сырье, энергию, транспорт и зарплата рабочим. Отметим, что важную роль играет оплата труда. С одной стороны, она определяет объем производства, с другой стороны – входит в число издержек.

С учетом этого издержки можно представить в виде:

$$F \cdot (k_2 + \lambda) + F \cdot (1 + k_1) \cdot \frac{1}{\chi} \quad (7.5)$$

В НП состоянии, где $F = \frac{\chi \cdot h \cdot (1-g)}{\tau} \cdot r$, издержки равны:

$$\begin{aligned} & \frac{\chi \cdot h \cdot (1-g)}{\tau} \cdot r \cdot (k_2 + \lambda) + \frac{h \cdot (1-g)}{\tau} \cdot r \cdot (1 + k_1) = \\ & = \frac{\chi \cdot h \cdot (1-g)}{\tau} \cdot r \cdot \left[k_2 + \lambda + \frac{1}{\chi} \cdot (1 + k_1) \right] = \frac{\chi \cdot h \cdot (1-g)}{\tau} \cdot r \cdot (1 - \mu) \end{aligned} \quad (7.6)$$

где $\mu = 1 - \left[k_2 + \lambda + \frac{1}{\chi} \cdot (1 + k_1) \right]$.

Здесь k_2 – доля произведенного продукта, выплачиваемого в форме налогов; λ – доля произведенного продукта, выплачиваемая за сырье, энергию и транспорт, т.е. товары и услуги сырьевых компаний и естественных монополий; k_1 – социальный налог, начисляемый на фонд оплаты труда.

Замечания:

- а) налоговая система в современной России достаточно сложна (как, впрочем, и в других странах). В данном случае речь идет о налогах начисляемых юридическим лицам. Мы используем один коэффициент k_2 , включающий налоги на прибыль, НДС и т.д., поскольку все они пропорциональны объему производства;
- б) в современной России заметную роль играют нелегальные поборы (так называемые «откаты», взятки и т.п.). Они тоже пропорциональны объему производства и могут быть учтены как дополнительное увеличение коэффициента k_2 , по сравнению с официальными налоговыми ставками;
- в) параметр $(1-\mu)$ имеет простой смысл: это отношение издержек к валовой продукции. Иными словами, рентабельность производства равна μ ;
- г) величина λ фигурирует в (7.5) и (7.6) как внешний параметр. В действительности величина λ зависит от отношения цен сырья и товаров естественных монополий (далее СТЕМ) к цене внутреннего продукта p . Как упоминалось, цена части СТЕМ (например, отдельных видов сырья) пропорциональна цене p . В этом случае величина λ постоянна. Цены другой части СТЕМ (транспорт, энергия) фиксируются на определенное время, в течение которого относительные издержки обратно пропорциональны p . В целом можно положить:

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - a + a \frac{p_0}{p} \right), \quad (7.7)$$

где a – доля издержек на СТЕМ, цены которых фиксированы; λ_0 и p_0 – значения соответствующих величин в момент фиксации.

Учет импорта

В настоящее время на внутреннем рынке России существенную роль играют импортные товары. В последние годы величина импорта Q_{imp} непрерывно возрастала и достигла уровня порядка 30% от величины отечественного производства. Разумеется, импортируются не все товары, а лишь те, цена которых p_{ex} (в свободно конвертируемой валюте – СКВ) существенно ниже цен на внутреннем рынке (с учетом курса рубля к СКВ). Поэтому рентабельность импортных операций достаточно высока и по порядку величины равна:

$$rent_{imp} \approx \left(\frac{p}{cp_{ex}} - 1 \right),$$

где c – курс рубля к СКВ (здесь мы не учитываем издержки на транспорт и хранение импортных товаров, которые относительно малы). В настоящее время рентабельность импорта товаров обрабатывающих отраслей сильно превышает рентабельность отечественных предприятий. Величина импорта Q_{imp} определяется не только рентабельностью, но и другими факторами. Тем не менее и она возрастает с ростом цены p . В модели Q_{imp} учитывается как внешний параметр.

Основные экономические агенты

Население страны в модели разделено на 7 групп, представленных в табл. 7.1. Известны данные по численности групп n_i (в млн человек).

В табл. 7.1 названы те группы, которые имеют доходы и тратят их на приобретение продукта, а также участвуют в производстве. Полное число таких людей при-

нято равным $N=100$ млн. В табл. 7.1 не учтены несовершеннолетние, поскольку они не имеют доходов и не участвуют лично в приобретении товаров.

Таблица 7.1

Группы населения и их численность

№ п/п	Группа	Численность n_i (млн чел.)
1	Пенсионеры	31
2	Работники промышленности (ВОС)	24
3	Бюджетники (ГС)	23
4	Работники сферы услуг (СУ)	12
5	Работники сырьевой промышленности (ЭОС)	3
6	Владельцы (ВОС, СУ)	5
7	Элита (ГС, ЭОС)	0,3

Основной признак разделения на группы – характер экономической деятельности (или, что то же самое, способ получения дохода).

Группа 1 – пенсионеры. Их доходы номинированы в рублях и постоянны в соответствии с законом. Часть из пенсионеров продолжают работать (или подрабатывать) и по этому принципу они должны быть отнесены к группе 2 или 4. Однако, информация о том, какова эта часть, не достоверна.

Группа 2 – рабочие и служащие промышленных предприятий (ВОС). Их доходы в рамках модели составляют определенную часть оборотных средств и номинированы в штуках продукта. В стабильных условиях, когда цена продукта p постоянна (ценовая инфляция отсутствует) доход может быть номинирован как в штуках, так и в рублях. При изменении цены p то, в каких единица номинированы доходы рабочих, становится существенным.

Модель допускает вариант, в котором зарплаты рабочих номинируются в рублях и при инфляции реальные доходы (покупательные способности) падают.

Группа 3 – бюджетники (ГС). Их доходы номинированы в рублях, они определяются штатным расписанием и постоянны. В эту группу входят: чиновники, военнослужащие, работники в сферах образования, науки и медицины. Их доходы выше, чем у пенсионеров, но дисперсии доходов подгрупп очень велики.

Группа 4 – работники в сфере услуг (СУ). Их доходы, так же как и в группе 2, зависят от оборотных средств соответствующих предприятий и номинированы в штуках. В среднем (в пределах погрешности оценки) их доходы равны доходам второй группы. В рамках модели важна суммарная численность работников 2 и 4 групп.

Группа 5 – работники сырьевых предприятий (ЭОС). Их зарплата выплачивается в рублях (в соответствии с запретом использования иной валюты как платежного средства внутри России). Величина ее зависит от состояния предприятий. Как упоминалось ранее, сырьевые отрасли в модели не рассматриваются. Однако их работники потребляют продукцию на внутреннем рынке России, что необходимо учесть в модели.

Группа 6 – условно именуется «владельцы». В нее входят собственники предприятий всех масштабов (мелких, средних, крупных), как обрабатывающей промышленности, так и сферы услуг (ВОС, СУ). Также в нее включены топ-менеджеры средних и крупных предприятий, как правило, являющиеся совладельцами данных структур – держателями весомых пакетов акций. Они объединены в одну группу по принципу

получения доходов. Их доходы напрямую связаны с прибыльностью предприятий. Эти доходы могут быть оформлены по-разному: как «зарплата», как выплата дивидендов по акциям, как «премии» и т.п. Важно, что в стационарных условиях, когда накопления участников всех групп не изменяются во времени, вся прибыль распределяется между «владельцами», как их доходы, и тратится данными «владельцами» на личные нужды.

Группа 7 – «элита». В нее входят высшие чиновники, владельцы крупных предприятий (в том числе сырьевых), банков и «олигархи». Доходы и накопления в этой группе находятся в интервале от десятков миллионов до миллиардов рублей (накопления в других валютах выше, но в расчет они здесь не берутся).

В экономике (и в других развивающихся системах) существует правило: плотность распределения в столь широком диапазоне подчиняется закону Парето, т.е. имеет степенной вид:

$$\rho(u) = N_7 \cdot \frac{U_{\min}}{U^2}$$

где N_7 – численность группы.

Отсюда можно оценить сумму рублевых накоплений элиты:

$$U_7^{\text{Total}} = \int dU N_7 \frac{U_{\min}}{U^2} U = N_7 U_{\min} \ln \left(\frac{U_{\max}}{U_{\min}} \right) \approx 2 \div 3 \text{ трлн руб.}$$

Число людей в этой группе мало (~0,3%), тем не менее, именно в ней сосредоточена значительная часть средств. Поведенческие реакции элиты отличаются от других групп. На потребительском рынке России элита практически не участвует. Даже товары первой необходимости и долговременного пользования элита приобретает за счет импорта или за рубежом. Потребление ее сосредоточено в элитной части функции спроса.

Структура модели

Динамическими переменными являются накопления членов каждой группы: U_i , $i=1, \dots, 7$ и цена продукта p . Уравнения для U_i представляют собой баланс доходов и расходов каждого из агрегатов. Цена продукта p определяется из условия баланса спроса и предложения на рынке. Суммарный спрос определяется накоплениями всех групп и функцией спроса. Предложение равно сумме произведенного и импортного продуктов.

Для построения модели использованы методы теории динамических систем. Этот метод опробован на примере моделирования развивающихся систем (в частности, биологических).

1. Уравнение для U_1 (накопления пенсионеров) имеет вид:

$$\frac{dU_1}{dt} = \bar{P}_1 - p \cdot Q\left(\frac{U_1}{p}\right) = \bar{P}_1 - p \cdot Q(r_1) \quad (7.8)$$

где \bar{P}_1 – размер пенсии (в рублях в месяц). В модели эта величина является внешним параметром; $Q\left(\frac{U_1}{p}\right)$ – потребление продукта (в штуках в месяц); p – цена продукта (в рублях за штуку); $r_1 = \frac{U_1}{p}$ – покупательная способность (в штуках).

Характерное время изменения переменных для этого уравнения равно одному месяцу, поскольку именно с такой периодичностью выдается пенсия. Далее мы примем эту величину за единицу измерения времени.

2. Уравнение для работников предприятий имеет вид:

$$\frac{dU_2}{dt} = (1 - k_0) \cdot P_2 \cdot p - p \cdot Q\left(\frac{U_2}{p}\right), \quad (7.9)$$

где P_2 – зарплата (в штуках в месяц); $k_0=0,13$ – подоходный налог, который взимается со всех физических лиц, исключая пенсионеров.

Как упоминалось ранее, владельцы промышленных предприятий и сферы услуг объединены в одну группу N_6 . Соответственно, в рамках модели работники этих предприятий получают одинаковую зарплату.

Суммарная зарплата всех работников сферы услуг и предприятий промышленности равна

$$(n_2 + n_4) \cdot P_2 = n_6 \cdot \frac{1}{\tau} \cdot h \cdot (1 - g) \cdot r_6$$

Отсюда зарплата каждого работника составляет:

$$P_2 = \frac{n_6}{n_2 + n_4} \cdot \frac{1}{\tau} \cdot h \cdot (1 - g) \cdot r_6 \quad (7.10)$$

Эта величина зависит от динамических переменных U_6 и p и определяется в результате решения системы уравнений.

3. Уравнение для накоплений бюджетников U_3 имеет вид:

$$\frac{dU_3}{dt} = (1 - k_0) \cdot \bar{P}_3 - p \cdot Q\left(\frac{U_3}{p}\right) = (1 - k_0) \cdot \bar{P}_3 - p \cdot Q(r_3) \quad (7.11)$$

где \bar{P}_3 – зарплата в рублях, которая также как и \bar{P}_1 является внешним параметром.

4. Уравнение для накоплений работников сферы услуг U_4 имеет вид, аналогичный уравнению для U_2 :

$$\frac{dU_4}{dt} = (1 - k_0) \cdot P_4 \cdot p - p \cdot Q\left(\frac{U_4}{p}\right) \quad (7.12)$$

5. Уравнение для накоплений работников сырьевой промышленности U_5 :

$$\frac{dU_5}{dt} = (1 - k_0) \cdot \bar{P}_5 - p \cdot Q\left(\frac{U_5}{p}\right) = (1 - k_0) \cdot \bar{P}_5 - p \cdot Q(r_5) \quad (7.13)$$

где \bar{P}_5 – зарплата, которая, как упоминалось выше, выплачивается в рублях и в модели фигурирует как внешний параметр.

6. В уравнении для накоплений владельцев U_6 учтем, что на рынок поступает не только «своя» продукция (величина которой равна $N_6 F$), но и импортные товары в объеме Q_{imp} . Доходы от продажи этих товаров поступают к импортёрам. В модели принято, что доход от продаж распределяется между владельцами и импортёрами пропорционально объёму продукта, предлагаемого ими на рынке. С учетом этого можно положить:

$$\frac{dU_6}{dt} = \frac{p}{N_0} \left\{ \frac{FN_6}{FN_6 + Q_{imp}} \cdot \frac{1}{N_6} \cdot \sum_{i=1}^5 N_i \cdot Q(r_i) - (1 - \mu)F - \frac{Q_{imp}}{N_6 F + Q_{imp}} Q(gr_6) \right\}; \quad (7.14)$$

Здесь первый член – доходы от реализации своей продукции. Отношение $\frac{FN_6}{FN_6 + Q_{imp}}$ – доля отечественной продукции на рынке. Отношение $\frac{Q_{imp}}{FN_6 + Q_{imp}}$ – доля личных затрат владельцев на импортную продукцию. В уравнении (7.14) отсутствуют доходы от продажи своей продукции самим себе и расходы по их приобретению, поскольку они компенсируются. В многопродуктовой модели владельцы производят и потребляют разные товары. Однако в денежном выражении эти доходы и расходы тоже должны компенсироваться.

Уравнение для цены p имеет вид:

$$\frac{dp}{dt} = \gamma \left\{ \sum_{i=1}^5 N_i \cdot Q(r_i) + N_6 \cdot Q(g \cdot r_6) - Q_{imp} - N_6 \cdot F \right\}; \quad (7.15)$$

Оно означает, что изменения цены определяются динамикой спроса и предложения. Равновесная рыночная цена соответствует случаю, когда спрос равен предложению. Первые два члена выражены в «штуках» в месяц и обсуждались выше. Последние два члена соответствуют предложению. Величина Q_{imp} представляет собой количество импортного товара, поступающее на внутренний рынок («штуки» в месяц). Последний член – поступление товаров отечественного производства.

Параметр γ определяет скорость установления равновесной цены. Размерность этого параметра – руб./шт. (на сколько изменится цена при изменении предложения на одну штуку) и он может быть представлен как $\gamma = \frac{\hat{p}}{\hat{q}} \frac{\tau_0}{\tau_p}$; где: \hat{p} – параметр порядка равновесной цены одной штуки, $\hat{q} = 1$ – одна «штука» (физическая единица измерения количества продукта); $\tau_0 = 1$ месяц (принятая в модели единица измерения времени); τ_p – время установления равновесной цены. Известно, что цена на рынке устанавливается быстро, т.е. $\tau_p \ll \tau_0$.

Уравнения (7.8)–(7.15) составляют полную систему. В этой системе имеет место временная иерархия, т.е. имеются: быстрый процесс (7.15) (установление рыночной цены с характерным временем τ_p), промежуточные процессы с характерным временем $\tau_0 = 1$ месяц [уравнения (7.8)–(7.12)] и «медленный» процесс [уравнение (7.13)] с характерным временем $\tau \approx 3$ мес. (В экономике существует также еще более медленный процесс – инвестиционный, приводящий к изменению F_{max} , но, как уже отмечалось выше, в данной версии модели он не рассматривается.)

Модель можно упростить (редуцировать), исключив «быстрый» процесс в соответствии с теоремой Тихонова [Оболенский 2006]. При этом уравнение (7.15) заменяется алгебраическим соотношением:

$$\left\{ \sum_{i=1}^5 N_i \cdot Q(r_i) + N_6 \cdot Q(g \cdot r_6) - Q_{imp} - N_6 \cdot F \right\} = 0; \quad (7.16)$$

из которого определяется значение цены p . Отметим, что по условиям теоремы Тихонова, редукция возможна только, если уравнение (7.15) устойчиво. Если это условие выполнено, то с учетом (7.16) уравнение (7.14) тоже упрощается и принимает вид:

$$\frac{dU_6}{dt} = (\mu \cdot F - Q(g \cdot r_6))p; \quad (7.17)$$

Модель включает в себя дифференциальные и алгебраические уравнения, моделирующие:

- 1) динамику производства;
- 2) динамику спроса (изменение функции потребления по различным социальным группам);
- 3) динамику накоплений различных социальных групп населения (баланс доходов и расходов);
- 4) динамику бюджетных доходов и расходов государства;
- 5) динамику ценообразования на внутреннем рынке (баланс спроса и предложения, инфляционные процессы).

Основными уравнениями модели являются следующие: (7.8)–(7.13), (7.16), (7.17). Параметры модели задаются на основе эмпирических данных (*источник*: Росстат) либо оцениваются на основе процедуры идентификации с использованием эмпирических данных.

Расчеты ведутся по следующей схеме.

На основе анализа эмпирических данных определяется временной интервал, для которого имеется надежная статистика, выбирается начальный момент времени t_0 для проведения расчетов и соответствующие ему значения переменных модели. Проводятся тестовые расчеты для выбранного временного интервала с целью определения и согласования значений параметров модели для рассматриваемых сценариев. После настройки модели проводятся расчеты значений переменных на прогнозный период при выбранных значениях параметров.

Результаты моделирования

На основе изложенной выше методики было проведено тестирование модели, а также проведены расчеты реакции экономической системы на изменение параметров в результате изменения внешней среды (мировые цены на сырье, курсы валют и т.п.) и/или принимаемых экономических решений.

В условиях начавшегося кризиса, когда все экономические показатели быстро и непредсказуемо меняются, очень важно выбрать момент, когда будут приняты те или иные меры. В зависимости от времени приложения управляющих воздействий реакция системы на них может быть существенно различной. Можно упустить время и тогда никакие меры не помогут.

Принимая это во внимание, вначале рассмотрим ответы модели на разные воздействия в докризисной ситуации, а затем приведем примеры ее ответов в настоящее время.

А. ДОКРИЗИСНАЯ СИТУАЦИЯ

До кризиса цены товаров естественных монополий практически не регулировались государством и не фиксировались. Исходя из этого, в данном разделе будем использовать в модели формулу (7.7), полагая в ней, что параметр $a = 0$.

Первый вопрос. Как возрастет инфляция, если пенсионерам бюджетникам будет увеличено финансирование? Результат представлен на [рис. 7.5](#).

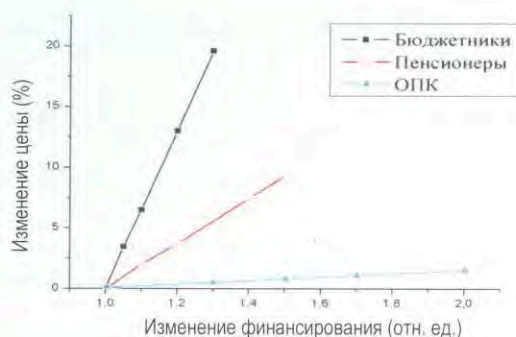


Рисунок 7.5

Реакция системы на увеличение финансирования бюджетникам, пенсионерам и ОПК

По оси абсцисс отложено изменение финансирования в долях от имеющегося финансирования (2007). По оси ординат отложено изменение цены p в процентах. Видно, что увеличение зарплаты бюджетникам на 25% вызывает инфляцию на 20%, т.е. инфляция практически съедает все прибавление к зарплате.

Средняя линия — увеличение пенсий. Инфляция при этом ниже, поскольку объем выделяемых средств намного меньше, но тоже достаточно велика.

Второй вопрос. Как возрастет инфляция при увеличении финансирования оборонно-промышленного комплекса (ОПК)? Для ответа на этот вопрос в модель была введена дополнительная группа — сотрудники ОПК и определена ее численность. По аналогии с другими группами для нее было записано динамическое уравнение доходов и расходов [Чернавский и др. 2004]. Доходы этой группы зависят от объема госзаказа ОПК. Особенность этой группы в том, что ее продукция не попадает на внутренний рынок России и, следовательно, — в уравнение для цены.

В действительности, предприятия ОПК производят военную продукцию на экспорт (примерно одна треть), продукцию в соответствии с госзаказом ОПК (тоже одна треть) и мирную продукцию, поступающую на внутренний рынок (результат конверсии).

Расчет, проведенный с учетом приведенной выше структуры продукции ОПК, представлен нижней линией на рис. 7.5. Видно, что эффект инфляции здесь существенно ниже. Причины просты. Во-первых, средства, выделяемые ОПК, поступают на рынок не все и не сразу. Непосредственно на рынок поступает малая часть — зарплата сотрудникам. Во-вторых, прибыль, получаемая в результате выполнения госзаказа, стимулирует производство ТНП на тех же заводах. В-третьих, объем необходимых средств намного меньше, чем в случае прибавок зарплат и пенсий.

Мы не обсуждаем здесь эффект инноваций. Последние, как правило, возникают и разрабатываются на предприятиях ОПК и затем распространяются на все предприятия. Однако, этот эффект в модели пока не учитывается.

Третий вопрос. Каков эффект от предоставления предприятиям обрабатывающей промышленности долговременных кредитов частными банками? Этот вопрос не требует вмешательства государства, тем не менее, мы его обсудим в рамках модели.

Результаты расчетов представлены на рис. 7.6. В качестве примера взято среднее предприятие. По оси абсцисс отложена величина кредита (в год, в долях от оборота). По оси ординат – объем производства. Принято, что кредит долговременный и в обозримом будущем его возврат не планируется, так что предприятие выплачивает только проценты.

Из рис. 7.6 видно, что малые кредиты большой роли не играют и результаты практически не зависят ни от величины, ни от процента. Большие кредиты при малых процентах (меньше 10% годовых) влияют положительно и даже могут перевести предприятие в высокопроизводительное (ВП) состояние (более подробно о ВП состоянии смотри, например, в [Чернавский 2002a]). Однако кредиты под большие проценты (больше 15%) губительны и приводят к банкротству. В современной России частные банки кредитуют предприятия под 25% и выше, иначе им это не выгодно.

Некоторые предприятия, оказавшись в экстремальной ситуации, вынуждены брать подобные кредиты, но, в основном, впоследствии они банкротятся. Кратковременные кредиты (с возвратом) тоже не выгодны предприятиям (кроме «газелей», которые часто данными кредитами пользуются).

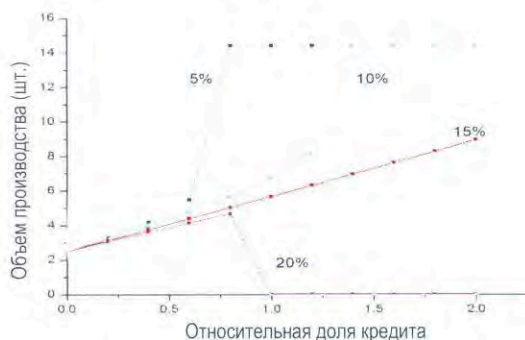


Рисунок 7.6

Реакция на предоставление долговременных кредитов предприятиям обрабатывающей промышленности

Из изложенного следует, что система коммерческих банков в России не может справиться с задачей долговременного кредитования и, следовательно, не может вывести страну ни из наступившего кризиса, ни из НП состояния (стагнации).

Этот вывод не касается развитых стран (например, США). Дело в том, что банковская система любой страны должна быть согласована с работой других экономических институтов и с экономикой в целом. Процесс согласования обычно бывает длинным и трудным. В США, например, он длился более ста лет. Банковская система России построена по образу и подобию таковой в США (т.е. скопирована с нее). И недостаток выстроенной в РФ системы не в том, что она «несовершенна» или «недоразвита» – главное, что она не согласована с реалиями российской экономики, не адекватна ей. Это утверждение касается всех финансовых институтов. Бездумное перенесение успешно работающих в развитых странах финансовых институтов не приводит к положительным результатам в России. В результате экономика России может попасть в так называемую «институциональную ловушку».

Четвертый вопрос: К какому результату приведет государственное долговременное и беспроцентное кредитование? Результаты представлены на рис. 7.7. Видно, что небольшой объем кредита (порядка 2–3% от оборотных средств в квартал) несколько оживляет производство, но через несколько лет система возвращается в НП состояние. При объеме кредита порядка 4–5% экономика переходит в ВП состояние. В ценах 2007 г. в масштабах страны этот кредит составляет порядка 1 трлн руб. в год.

Б. СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ (В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА)

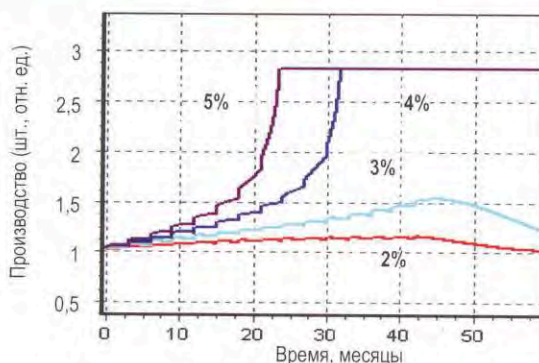


Рисунок 7.7
**Реакция системы
на долговременное государственное
кредитование**

Начало экономического кризиса в России датируется августом 2008 г. т.е. совпадает со временем проявления мирового финансового кризиса. Как упоминалось, эти кризисы имеют разную природу, и российский кризис мог бы произойти позже. Однако они произошли одновременно. Тому есть причины — финансовый кризис в США «подтолкнул» российский. Конкретно «толчок» заключался в следующем.

В начале финансового кризиса западные банки потребовали от российских банков и предприятий возврата кредитов, которые были взяты ранее из-за намного более низких ставок, чем в России. Министерство финансов России, «спасая» банки, выделило им 1,5 трлн руб. Эти средства были фактически изъяты из бюджета, и в результате российские предприятия, работающие по заказам государства, почти год не получали денег за уже выполненную работу. Данная операция оказалась равносильной изъятию большого объема оборотных средств, что в свою очередь, равносильно силовому перебору в область притяжения более низкого состояния системы — начался кризис.

В начале кризиса была принята программа антикризисных мер. В частности, в ней декларировалась фиксация (и даже понижение) цен на некоторые товары и услуги естественных монополий. В модели фиксация цен описывается параметром a в формуле (7.7), который в докризисной ситуации был принят равным нулю. Приведем результаты моделирования кризисной ситуации с учетом отличия от нуля указанного параметра.

Положим, что в момент времени $t = 0$ (реально, сентябрь 2008 г.), параметр затрат изменился и принял значение $\lambda = 0,25$ (вместо изначального 0,16), при котором система при тех же значениях динамических переменных находится не в стационарном состоянии, а в области притяжения так называемого «натурального хозяйства», но вблизи сепаратрисы. Остальные параметры (кроме a) оставим прежними.

Без внешних воздействий система сама будет смещаться по траектории, ведущей к «натуральному хозяйству». Задача правительства – принять меры, способствующие перебросу системы через сепаратрису обратно в область притяжения низкопроизводительного, но стационарного состояния.

Приведем некоторые примеры ответов модели на вопросы: «Какова будет динамика развития кризиса, если...»

Первый вопрос. Какова роль частичной фиксации цен на продукцию естественных монополий?

На рис. 7.8 приведены результаты расчетов при различных значениях параметра a . По оси абсцисс отложено время в месяцах. По оси ординат – объем обрабатывающей промышленности (в естественных единицах) в долях от начального. Кривая $a = 1$ означает, что все цены СТЕМ фиксированы на уровне конца 2008 г. Кривая $a = 0,5$ означает, что 50% цен СТЕМ не фиксированы и изменяются пропорционально цене основного продукта. Видно, что в диапазоне $0,75 < a < 1$ положение стабилизируется на уровне более низком, чем исходный. Это означает, что экономика вернулась в НП-состояние, кризис миновал, но исходное состояние не достигнуто.

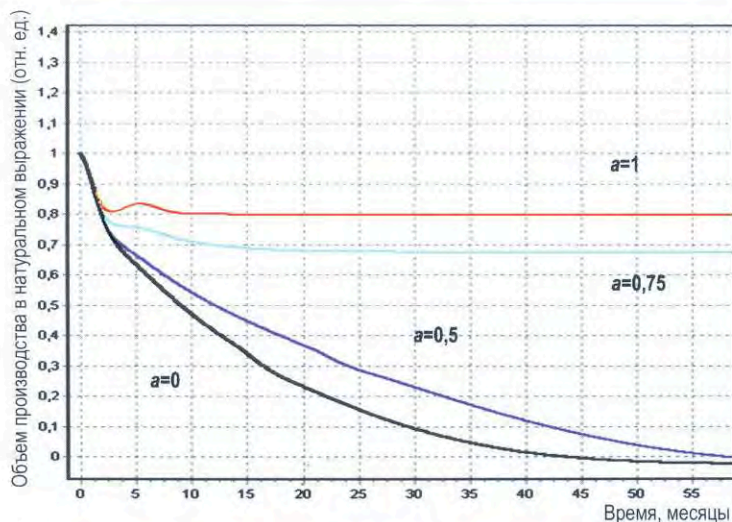


Рисунок 7.8
Динамика развития экономики
при различных вариантах государственного регулирования

При $a = 0,5$ кризис продолжает развиваться в неблагоприятном направлении. Кривая $a = 0$ означает, что цены на продукцию СТЕМ не фиксируются, не контролируются и государство никаких мер не предпринимает. Кризис развивается.

Таким образом, контроль за ценами продукции СТЕМ – очень важный фактор в управлении экономикой в кризисной ситуации.

Второй вопрос. Как повлияет на развитие кризиса изменение налогов?

В модели налоги представлены тремя параметрами: подоходный налог k_0 , социальный налог k_1 и налог на предприятия k_2 . Последний представляет собой совокупность налогов, пропорциональных выручке. Параметр k_2 является долей от выручки и существенно влияет на рентабельность. В модели 2007 г. было принято: $k_2=0,2$.

На рис. 7.9 представлена динамика производства при изменении параметра k_2 в момент времени $t_1=12$ мес. (через год после начала кризиса). По оси абсцисс отложено время (в месяцах). По оси ординат – производство в долях от исходного.

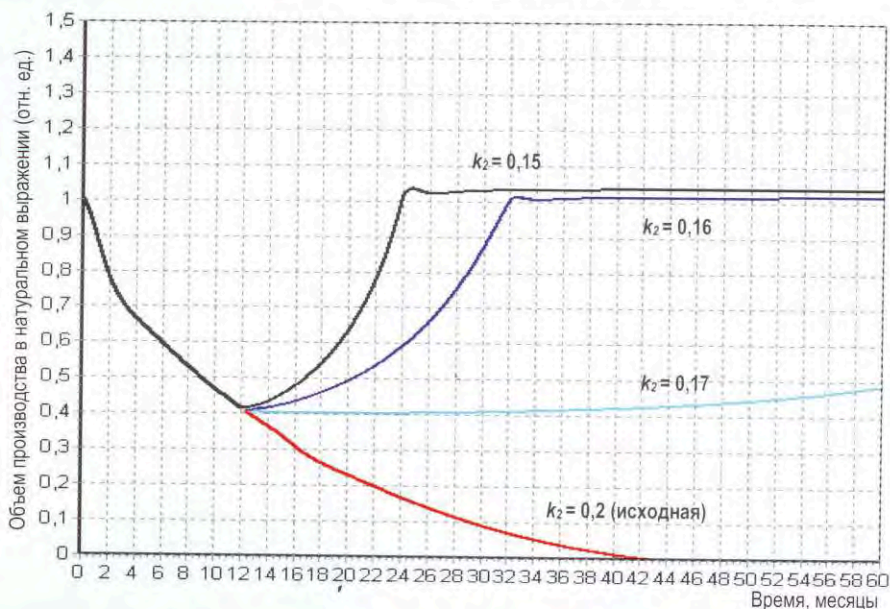


Рисунок 7.9

Выход экономики из кризиса при различных ставках налога на предприятие

Видно, что при сохранении налоговой ставки кризис продолжает усугубляться. При снижении налоговой ставки система возвращается в исходное положение (кризис преодолевается). Однако время возврата зависит от ставки: отметим, что оно еще сильнее зависит от момента принятия решения о снижении ставки. Дело в том, что кризис со временем углубляется и для выхода из него требуется большее снижение налогов.

Третий вопрос. Каков эффект государственного кредитования в кризисных условиях?

Выше было показано, что кредитование предприятий частными банками в России неэффективно даже в обычных условиях – банкам это не выгодно. Тем более оно не эффективно в кризисный период. Здесь мы рассмотрим вопрос о долгосрочном льготном кредитовании за счет государства (минуя частные банки).

На рис. 7.10 приведены результаты расчетов при условии, что кредит (dU) выдается в определенный момент и весь «сразу». По оси абсцисс отложено время, по оси ординат – производство.

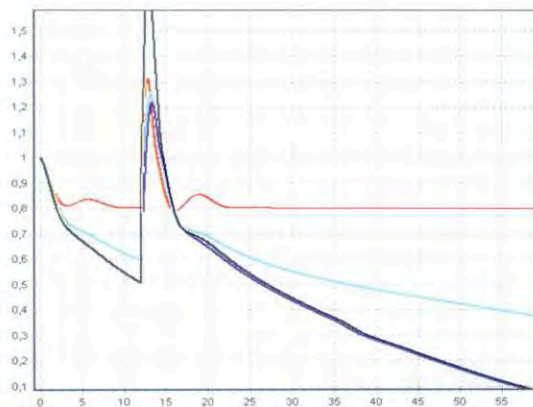


Рисунок 7.10
Выход из кризиса при разных уровнях кредитования

Видно, что во всех случаях (кроме $\alpha=1$) кредиты расходуются очень быстро и на последствия не влияют.

На рис. 7.11 приведены результаты расчетов, когда кредит выдается поквартально ($\lambda=0,25$; $\alpha=0,4$) в течение 4 лет. Результат зависит от величины кредита dU .

Видно, что при кредитах порядка 1,5–2,0 трлн в год возможна стабилизация и даже возврат в исходное состояние. Однако по истечении срока кредитования система снова переходит в кризисный режим.

Приведенные результаты моделирования показывают возможности модели по оценке реакции экономики РФ на изменяющиеся внешние условия и по выявлению последствий различных мер государственного регулирования. Модель позволяет описать динамику системы при отсутствии экономического равновесия, что является необходимым условием моделирования в условиях кризиса. Модель может быть использована как инструмент макроэкономического анализа и поддержки принятия решений.

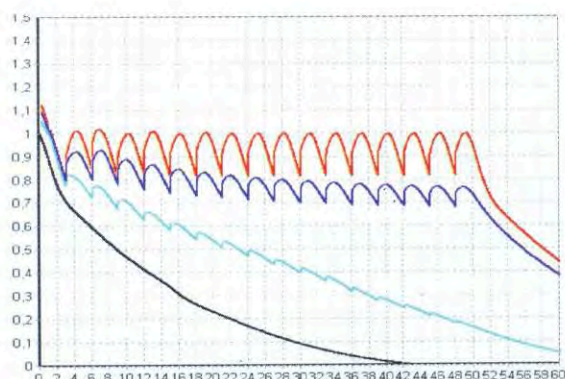


Рисунок 7.11
Выход из кризиса в случае, если кредит выдается ежеквартально