

**ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ  
ПЕРЕХОДНОГО ПЕРИОДА**

*НАУЧНЫЕ ТРУДЫ*  
*№ 34Р*

**Эконометрический анализ  
динамических рядов основных  
макроэкономических показателей**

**Москва  
2001**

**Институт экономики переходного периода**  
**Под редакцией: С. Синельникова-Мурылева**

Настоящая работа посвящена эконометрическому анализу временных рядов, отражающих динамику развития основных макроэкономических показателей, характеризующих состояние экономики России. В работе исследуются глобальные статистические свойства некоторых экономических и социальных рядов, отработана методика исследования экономических временных рядов, рассмотрена простейшая производственная база знаний, которая может стать основой для последующей разработки экспертной системы анализа временных рядов, которая в свою очередь позволит упростить и унифицировать анализ временных рядов и может служить основой эконометрического анализа различных показателей экономической динамики.

**Авторы: С. Дробышевский, В. Носко, Р. Энгов, А. Юдин**

**Выпускающий редактор: А. Молдавский**  
**Компьютерный дизайн: А. Астахов**

*Настоящее издание подготовлено по материалам исследовательского Проекта Института экономики переходного периода, выполненного в рамках гранта, предоставленного Агентством международного развития США*

*ISBN 5-93255-056-2*

Лицензия на издательскую деятельность № ЛР 021018 от 09 ноября 1995 г.  
103918, Москва, Газетный пер., 5  
Тел. (095) 229–6413, FAX (095) 203–8816  
E-MAIL – root @iet.ru, WEB Site – <http://www.iet.ru>

© Институт экономики переходного периода 2001

# Оглавление

<b>Введение</b> .....	5
<b>1. Постановка проблемы и инструментарий исследования</b> .....	7
1.1. Постановка задачи эконометрического исследования	
макрэкономических рядов динамики .....	7
1.1.1. Общие соображения .....	7
1.1.2. Формальная постановка задачи .....	9
1.1.3. Основные задачи анализа временных рядов .....	13
1.2. Методология исследования .....	19
1.2.1. Общие замечания .....	19
1.2.2. Схема анализа временных рядов с использованием	
дерева решений .....	20
<b>2. Эконометрический анализ макроэкономических</b>	
<b>динамических рядов</b> .....	25
2.1. Статистическая база исследования .....	25
2.2. Анализ временных рядов для денежных агрегатов .....	31
2.2.1. Денежный агрегат M1 .....	32
2.2.2. Денежный агрегат M0 .....	46
2.2.3. Денежный агрегат M2 .....	56
2.3. Анализ временных рядов для экспорта и импорта .....	64
2.3.1. Экспорт .....	64
2.3.2. Импорт .....	69
2.4. Анализ ряда доходов федерального бюджета и	
ряда налоговых доходов федерального бюджета .....	76
2.4.1. Доходы федерального бюджета .....	76
2.4.2. Налоговые доходы федерального бюджета .....	82
2.5. Анализ временного ряда для данных о темпах инфляции .....	87
2.6. Анализ временного ряда индекса интенсивности	
промышленного производства .....	94
2.7. Анализ временного ряда для валового внутреннего продукта .....	101
2.8. Анализ временного ряда для уровней безработицы .....	104
2.9. Анализ временного ряда для индекса РТС-1 .....	107
2.10. Анализ временного ряда “обменный курс рубля” .....	124
<b>3. Экономический анализ результатов эконометрического анализа</b> .....	138
3.1. Анализ временных рядов для денежных агрегатов .....	138
3.1.1. Денежный агрегат M1 .....	138
3.1.2. Денежный агрегат M0 .....	140
3.1.3. Денежный агрегат M2 .....	141
3.2. Анализ временных рядов для экспорта и импорта .....	142
3.2.1. Экспорт .....	142
3.2.2. Импорт .....	143

3.3. Анализ рядов доходов федерального бюджета .....	146
3.3.1. Доходы федерального бюджета .....	146
3.3.2. Налоговые доходы федерального бюджета .....	149
3.4. Темпы инфляции .....	150
3.5. Индекс интенсивности промышленного производства .....	152
3.6. Валовый внутренний продукт .....	155
3.7. Безработица .....	156
3.8. Фондовый индекс РТС-1 .....	157
3.9. Обменный курс рубля .....	159
<b>Заключение</b> .....	161
<b>Приложения</b> .....	165
П1. Обзор процедур, используемых для различения TS и DS рядов .....	165
П1.1. Критерий Дики-Фуллера и его обобщение .....	165
П1.2. Критерий Филлипса-Перрона .....	169
П1.3. Критерий Лейбурна .....	171
П1.4. Критерий Шмидта-Филлипса .....	171
П1.5. Критерий DF-GLS .....	172
П1.6. Критерий Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина (KPSS) .....	172
П1.7. Критерий Перрона и его обобщение .....	173
П1.8. Процедура Кохрейна (отношение дисперсий) .....	175
П1.9. Коррекция сезонности .....	176
П1.10. Процедура Дики-Пантулы.....	177
П1.11. Протяженность ряда и мощность критерия .....	177
П2. Проблема анализа временных рядов .....	177
П2.1. Стационарные временные ряды и их основные характеристики..	177
П2.2. Неслучайная составляющая временного ряда и методы его сглаживания .....	181
П2.3. Модели стационарных временных рядов и их идентификация .....	188
П2.4. Модели нестационарных временных рядов и их идентификация .	
П2.5. Прогнозирование экономических показателей на основе моделей временных рядов.....	210
П3. Исходные данные для расчетов .....	216
П3.1. Темпы инфляции .....	216
П3.2. Денежные агрегаты .....	217
П3.3. Экспорт и импорт .....	220
П3.4. Валовой внутренний продукт .....	221
П3.5. Доходы федерального бюджета .....	221
П3.6. Интенсивность промышленного производства .....	222
П3.7. Индекс РТС-1 .....	223
П3.8. Обменный курс рубля .....	227
П3.9. Безработица .....	237
<b>Литература</b> .....	240

# 1. Постановка проблемы и инструментарий исследования

## 1.1. Постановка задачи эконометрического исследования макроэкономических рядов динамики

### 1.1.1. Общие соображения

В последние годы в эконометрической литературе большое внимание уделяется исследованию рядов динамики макроэкономических показателей. Разнообразные содержательные задачи экономического анализа требуют использования статистических данных, характеризующих исследуемые экономические процессы и развернутых во времени в форме временных рядов. При этом нередко одни и те же временные ряды используются для решения разных содержательных проблем.

В то же время, в российской практике построения эконометрических (как правило, регрессионных) моделей основное внимание уделяется проблемам идентификации моделей, отбору эндогенных и экзогенных показателей, но почти не обращается внимания на формальный анализ структуры исходных статистических временных рядов. Настоящая работа посвящена исследованию глобальных статистических свойств (стационарность, наличие детерминированного и/или стохастического тренда и др.) экономических и социальных рядов динамики, отражающих развитие экономики России.

Проблема эконометрического исследования макроэкономических процессов является весьма актуальной. В последнее время появилось достаточно большое количество работ, в которых рассматриваются различные эконометрические аспекты развития российской экономики. Однако в этих работах практически не уделяется внимания статистическим характеристикам самих динамических рядов, определяющих исходные данные моделей. В тоже время в западной литературе анализу эконометрических свойств временных рядов макроэкономических показателей уделяется повышенное внимание. Это вызвано целым рядом причин. Далекое не всегда значения временного ряда формируются только под воздействием каких-либо факторов. Нередко бывает, что развитие того или иного процесса обусловлено его внутренними закономерностями, а отклонения от детерминированного процесса вызваны ошибками измерений или случайными флуктуациями. Особый интерес пред-

ставляют процессы, находящиеся в «переходном» режиме, т.е. процессы, являющиеся по существу «стационарными», но на исследуемом промежутке времени проявляющие свойства нестационарного временного ряда, что объясняется далекими от стационарного режима начальными условиями. В ситуациях, когда временной ряд формируется под воздействием некоторого набора случайных и неслучайных факторов, анализ отдельных временных рядов, как результирующих, так и факторных, имеет огромное значение. Это необходимо для правильной идентификации моделей, которые строятся по информации об исследуемых процессах (векторные авторегрессии, модели коррекции ошибок, динамические модели с распределенными запаздываниями и т.п.).

При анализе временных рядов основное внимание уделяется исследованию, описанию и/или моделированию их структуры. Цель таких исследований, как правило, шире просто моделирования и исследования соответствующих процессов. Построенная модель обычно используется для экстраполяции или прогнозирования временного ряда, и тогда качество прогноза может служить полезным критерием при выборе среди нескольких альтернативных моделей. Построение хороших моделей ряда необходимо и для других приложений, таких, как корректировка сезонных эффектов и сглаживание. Наконец, построенные модели могут использоваться для статистического моделирования длинных рядов наблюдений при исследовании больших систем, для которых временной ряд рассматривается как входная информация.

В связи с наличием ошибок измерения экономических показателей, наличием случайных флуктуаций, собственных наблюдаемым системам, при исследовании временных рядов широко применяется вероятностно-статистический подход. В рамках такого подхода наблюдаемый временной ряд понимается как реализация некоторого случайного процесса. При этом неявно предполагается, что временной ряд имеет какую-то структуру, отличающую его от последовательности независимых случайных величин, так что наблюдения не являются набором совершенно независимых числовых значений. (Некоторые элементы структуры ряда иногда можно выявить уже на основании простого визуального анализа графика ряда. Это относится, например, к таким компонентам ряда, как тренд и циклы.) Обычно предполагается, что структуру ряда можно описать моделью, содержащей небольшое число параметров по сравнению с количеством наблюдений, – это практически важно при использовании модели для прогнозирования. Примерами таких моделей служат модели авторегрессии, скользящего среднего и их комбинации – модели  $AR(p)$ ,  $MA(q)$ ,  $ARMA(p, q)$ ,  $ARIMA(p, k, q)$ .

### 1.1.2. Формальная постановка задачи

Десятилетний период перехода России к рыночной экономике наряду с ростом понимания экономических последствий принятия тех или иных политических решений сопровождался и накоплением статистических данных о динамике различных макроэкономических показателей. По мере накопления таких данных появляется возможность выявления и изучения долговременных связей между различными макроэкономическими показателями внутри российской экономики, возможность проведения сравнительного анализа динамики аналогичных макроэкономических переменных в Российской Федерации и других развитых и развивающихся странах, возможность выявления долговременных связей между такими переменными и построения эконометрических моделей таких связей.

Однако при построении моделей связей в долгосрочной перспективе необходимо учитывать факт наличия или отсутствия у анализируемых макроэкономических рядов стохастического (недетерминированного) тренда. Иначе говоря, приходится решать вопрос об отнесении каждого из рассматриваемых рядов к классу рядов, стационарных относительно детерминированного тренда (или просто стационарных) – TS (trend stationary) ряды, или к классу рядов, имеющих стохастический тренд (возможно, наряду с детерминированным трендом) и приводящихся к стационарному (или стационарному относительно детерминированного тренда) ряду только путем однократного или  $k$ -кратного<sup>1</sup> дифференцирования ряда – DS (difference stationary) ряды.

Принципиальное различие между этими двумя классами рядов выражается в том, что в случае TS ряда вычитание из ряда соответствующего детерминированного тренда приводит к стационарному ряду, тогда как в случае DS ряда вычитание детерминированной составляющей ряда оставляет ряд нестационарным из-за наличия у него стохастического тренда.

Определение принадлежности рядов классам TS или DS весьма важно для правильного построения долгосрочных регрессионных моделей, в которых объясняемыми и объясняющими переменными являются макроэкономические временные ряды (модели коинтеграции, модели коррекции ошибок, векторные авторегрессии). Хорошо известно, что построение регрессии DS-ряда на TS-ряд (с детерминированным трендом) приводит к фиктивным результатам – паразитной (spurious) линейной связи. Паразитная линейная связь возникает и при построении регрессионных моделей

---

<sup>1</sup> Мы не затрагиваем здесь вопрос о возможной дробной интегрированности рядов.

между двумя статистически независимыми стохастическими трендами. В то же время, если выявляется группа макроэкономических рядов, принадлежащих классу DS-рядов, то между этими рядами возможна так называемая коинтеграционная связь, анализ которой позволяет, например,

- проверять гипотезу эффективности финансовых рынков (см., например, [Dweyer, Wallace (1992)]; [Dutt, Ghosh (1999)]);
- проверять выполнение на практике теории паритета покупательной способности ([Ardeni, Lubian (1991)], [Dutt (1998)]);
- проверять выполнение в долгосрочной перспективе уравнения спроса на деньги ([Johansen, Juselius (1990)]; [Hafer, Jansen (1991)]; [Funke, Thornton (1999)]).

Более того, при наличии коинтеграционной связи между DS-рядами имеется возможность построения комбинации краткосрочной и долгосрочной динамических регрессионных моделей в форме так называемой модели коррекции ошибок, что открывает возможность построения на основании подобранной модели как краткосрочных, так и долгосрочных прогнозов.

Литература по этому вопросу весьма обширна. В качестве обзорных работ можно сослаться на монографии [Maddala, Kim (1998)], [Enders (1995)], [Hamilton (1994)], [Hatanaka (1996)]. Отметим лишь (чрезвычайно малую) часть работ, посвященных построению моделей связи между конкретными макроэкономическими рядами:

- Денежные агрегаты: [Hasan (1998)].
- Инфляция: [Metin (1995)], [Freeman (1998)]
- Валовой внутренний продукт: [Christiano, Eichenbaum (1990)]; [Murray, Nelson (2000)].
- Уровень безработицы: [Clark (1989)]; [Woodward, Pillarisetti (1999)].
- Обменный курс национальной валюты: [Copeland (1991)], [Kim, Mo (1995)], [Nadal-De Simone, Razzak (1999)].
- Импорт: [Milas (1998)].
- Налоговые ряды: [Molana (1994)].
- Производство: [Cheung, Chinn (1996)], [den Haan (2000)].
- Биржевые индексы: [Fama, French (1988)].

Проблема отнесения макроэкономических рядов динамики, имеющих выраженный тренд, к одному из двух указанных классов активно обсуждалась в последние два десятилетия в мировой эконометрической и экономической литературе. Дело в том, что траектории TS и DS рядов отличаются друг от друга кардинальным образом.



TS ряды имеют линию тренда в качестве некоторой «центральной линии», которой следует траектория ряда, находясь то выше, то ниже этой линии, с достаточно частой сменой положений выше-ниже. DS ряды помимо детерминированного тренда (если таковой имеется) имеют еще и так называемый стохастический тренд, из-за присутствия которого траектория DS ряда весьма долго пребывает по одну сторону от линии детерминированного тренда (выше или ниже соответствующей прямой), удаляясь от нее на значительные расстояния, так что по-существу в этом случае линия детерминированного тренда перестает играть роль «центральной» линии, вокруг которой колеблется траектория процесса.

В TS-рядах влияние предыдущих шоковых воздействий затухает с течением времени, а в DS-рядах такое затухание отсутствует, и каждый отдельный шок влияет с одинаковой силой на все последующие значения ряда. Поэтому наличие стохастического тренда требует проведения определенной экономической политики для возвращения макроэкономической переменной к ее долговременной перспективе, тогда как при отсутствии стохастического тренда серьезных усилий для достижения такой цели не требуется – в этом случае макроэкономическая переменная «скользит» вдоль линии тренда как направляющей, пересекая ее достаточно часто и не уклоняясь от этой линии сколько-нибудь далеко.

В течение довольно долгого времени было принято при анализе рядов с выраженным трендом производить оценивание и выделение детерминированного тренда, после чего производить подбор динамической модели (например, ARMA) к ряду, «очищенному от тренда», т.е. к ряду остатков от соответствующей оцененной регрессионной модели. После введения Боксом и Дженкинсом ([Бокс, Дженкинс (1974)]) в обиход моделей ARIMA стало модным остационирование рядов с выраженным трендом и медленным убыванием (оцененной) автокорреляционной функции путем перехода к рядам первых или вторых разностей. Однако, как показали дальнейшие исследования, произвольный выбор одного из этих двух способов остационирования ряда вовсе не так безобиден, как это казалось поначалу.

В работах [Chan, Науау, Ord (1977)], [Nelson, Kang (1981)] было показано, что остационирование DS рядов путем перехода к очищенному ряду (детрендирование) изменяет спектр ряда, приводя к появлению ложной периодичности (ложные длиннопериодные циклы), которая может быть ошибочно истолкована как проявление некоторого экономического цикла. С другой стороны, дифференцирование TS ряда приводит к «передифференцированному ряду», который хотя и является стационарным, но облада-

ет некоторыми нежелательными свойствами, связанными с необратимостью его MA-составляющей; при этом возникает паразитная автокоррелированность соседних значений продифференцированного ряда (в спектре доминируют короткие циклы). Более того, в случае необратимости MA-составляющей продифференцированного ряда становится невозможным использование обычных алгоритмов оценивания параметров и прогнозирования ряда (см., например, [Hamilton (1994), главы 4 и 5]).

Итак, построение адекватной модели макроэкономического ряда, которую можно использовать для описания динамики ряда и прогнозирования его будущих значений, и адекватных моделей связей этого ряда с другими макроэкономическими рядами невозможно без выяснения природы этого ряда и природы рядов, с ним связываемых, т.е. без выяснения принадлежности ряда к одному из двух указанных классов (TS или DS). **В настоящем исследовании мы займемся проблемой такой классификации для некоторых российских макроэкономических рядов.**

Как показывает огромное количество работ, подробный обзор которых можно найти, например, в книге [Maddala, Kim (1998)], проблема отнесения ряда к одному из указанных двух классов на основании наблюдения реализации ряда на некотором интервале времени оказалась весьма сложной. Было предложено множество процедур такой классификации, но и по настоящее время предлагаются все новые и новые процедуры, которые либо несколько превосходят старые в статистической эффективности (по крайней мере, теоретически) либо могут составить конкуренцию старым процедурам и служить дополнительным средством подтверждения классификации, произведенной другими методами. Описание многих таких процедур и ссылки на статьи с подробным описанием и теоретическим обоснованием этих процедур можно найти, например, в упоминавшихся выше книгах [Maddala, Kim (1998)], [Enders (1995)], [Hamilton (1994)], [Hatanaka (1996)].

Краткое описание процедур классификации, использованных в настоящей работе, дано в Приложении П1. Здесь мы заметим только, что использование различных процедур может приводить к противоположным выводам о принадлежности наблюдаемого ряда классу TS-рядов или классу DS-рядов. В этом отношении весьма показательным является сопоставление выводов, полученных при анализе 14 макроэкономических рядов США (имеющих протяженность от 62 до 111 лет) в работе [Nelson, Plosser (1982)] и в более поздней работе Перрона ([Perron (1989)]). Если в первой работе лишь один из 14 рассмотренных рядов был отнесен к классу TS, то

во второй, напротив, к этому классу было отнесено уже 11 из этих рядов. Правда, подобное кардинальное изменение результатов классификации было связано с расширением понятия TS рядов. В класс TS-рядов стали включать и ряды, стационарные относительно трендов, имеющих «излом» в известный момент времени. Отказ от предположения об известной дате излома тренда, в свою очередь привел к некоторому изменению классификации, полученной Педроном (см. [Zivot, Andrews (1992)]). Допущение еще более гибких форм функции тренда изменило и последнюю классификацию, см. [Bierens (1997)]. Наконец, работа [Nunes, Newbold, Kuan (1997)] «замкнула круг»: изменение предположения о характере процесса порождения данных по сравнению с работой [Zivot, Andrews (1992)] привело к той же самой классификации 14 рядов, которая была получена в работе [Nelson, Plosser (1982)].

В связи с такими результатами при анализе конкретных макроэкономических рядов теперь обычно применяют несколько разных статистических процедур, что позволяет несколько укрепить выводы, сделанные в пользу одной из двух (TS или DS) конкурирующих гипотез. В проводимом ниже анализе российских макроэкономических рядов мы будем поступать именно таким образом.

### 1.1.3. Основные задачи анализа временных рядов

Принципиальные отличия временного ряда от последовательности наблюдений, образующих случайную выборку, заключаются в следующем:

- во-первых, в отличие от элементов случайной выборки члены временного ряда не являются независимыми;
- во-вторых, члены временного ряда не обязательно являются одинаково распределенными, так что  $P\{x_t < x\} \neq P\{x_{t'} < x\}$  при  $t \neq t'$ .

Это означает, что свойства и правила статистического анализа случайной выборки нельзя распространять на временные ряды. С другой стороны, взаимозависимость членов временного ряда создает свою специфическую базу для построения прогнозных значений анализируемого показателя по наблюдаемым значениям.

**Генезис наблюдений, образующих временной ряд (механизм порождения данных).** Речь идет о структуре и классификации основных факторов, под воздействием которых формируются значения временного ряда. Как правило, выделяются 4 типа таких факторов.

- *Долговременные*, формирующие общую (в длительной перспективе) тенденцию в изменении анализируемого признака  $x_t$ . Обычно эта тен-

денция описывается с помощью той или иной неслучайной функции  $f_{тр}(t)$  (аргументом которой является время), как правило, монотонной. Эту функцию называют функцией тренда или просто – трендом.

- *Сезонные*, формирующие периодически повторяющиеся в определенное время года колебания анализируемого признака. Поскольку эта функция  $\varphi(e)$  должна быть периодической (с периодами, кратными «сезонам»), в ее аналитическом выражении участвуют гармоники (тригонометрические функции), периодичность которых, как правило, обусловлена содержательной сущностью задачи.
- *Циклические (конъюнктурные)*, формирующие изменения анализируемого признака, обусловленные действием долговременных циклов экономической или демографической природы (волны Кондратьева, демографические «ямы» и т.п.) Результат действия циклических факторов будем обозначать с помощью неслучайной функции  $\psi(t)$ .
- *Случайные (нерегулярные)*, не поддающиеся учету и регистрации. Их воздействие на формирование значений временного ряда как раз и обуславливает стохастическую природу элементов  $x_t$ , а, следовательно, и необходимость интерпретации  $x_1, \dots, x_T$  как наблюдений, произведенных над случайными величинами  $\xi_1, \dots, \xi_T$ . Будем обозначать результат воздействия случайных факторов с помощью случайных величин («остатков», «ошибок»)  $\varepsilon_t$ .

Конечно, вовсе не обязательно, чтобы в процессе формирования значений всякого временного ряда участвовали одновременно факторы всех четырех типов. Выводы о том, участвуют или нет факторы данного типа в формировании значений конкретного ряда, могут базироваться как на анализе содержательной сущности задачи, так и на специальном статистическом анализе исследуемого временного ряда. Однако во всех случаях предполагается неперемное участие случайных факторов. Таким образом, в общем виде модель формирования данных (при аддитивной структурной схеме влияния факторов) выглядит как:

$$x_t = \chi_1 f(t) + \chi_2 \varphi(t) + \chi_3 \psi(t) + \varepsilon_t. \quad (1.1.1)$$

где  $\chi_i = 1$ , если факторы  $i$ -го типа участвуют в формировании значений ряда и  $\chi_i = 0$  – в противном случае.

**Основные задачи анализа временных рядов.** Базисная цель статистического анализа временного ряда заключается в том, чтобы по имеющейся траектории этого ряда:

1. определить, какие из неслучайных функций присутствуют в разложении (1.1.1), т.е. определить значения индикаторов  $\chi_i$ ;

2. построить «хорошие» оценки для тех неслучайных функций, которые присутствуют в разложении (1.1.1);
3. подобрать модель, адекватно описывающую поведение случайных остатков  $\varepsilon_t$ , и статистически оценить параметры этой модели.

Успешное решение перечисленных задач, обусловленных базовой целью статистического анализа временного ряда, является основой для достижения конечных прикладных целей исследования и, в первую очередь, для решения задачи кратко- и среднесрочного прогноза значений временного ряда. Приведем кратко основные элементы эконометрического анализа временных рядов.

- Большинство математико-статистических методов имеет дело с моделями, в которых наблюдения предполагаются независимыми и одинаково распределенными. При этом зависимость между наблюдениями чаще всего рассматривается как помеха в эффективном применении этих методов. Однако разнообразные данные в экономике, социологии, финансах, коммерции и других сферах человеческой деятельности поступают в форме временных рядов, в которых наблюдения взаимно зависимы, и характер этой зависимости как раз и представляет главный интерес для исследователя. Совокупность методов и моделей исследования таких рядов зависимых наблюдений называется анализом временных рядов. Главная цель эконометрического анализа временных рядов состоит в построении по возможности простых и экономично параметризованных моделей, адекватно описывающих имеющиеся ряды наблюдений и составляющих базу для решения, в первую очередь, следующих задач:
  - (а) вскрытие механизма генезиса наблюдений, составляющих анализируемый временной ряд;
  - (б) построение оптимального прогноза для будущих значений временного ряда;
  - (в) выработка стратегии управления и оптимизации анализируемых процессов.
- Говоря о генезисе образующих временной ряд наблюдений, следует иметь в виду (и по возможности модельно описать) четыре типа факторов, под воздействием которых могут формироваться эти наблюдения: долговременные, сезонные, циклические (или конъюнктурные) и случайные. При этом не обязательно в процессе формирования значений конкретного временного ряда должны одновременно участвовать факторы всех четырех типов. Успешное решение задач выявления и моде-

лирования действия этих факторов является основой, базисным отправным пунктом для достижения конечных прикладных целей исследования, главные из которых упомянуты в предыдущем пункте.

- Приступая к анализу дискретного ряда наблюдений, расположенных в хронологическом порядке, следует в первую очередь убедиться, действительно ли в формировании значений этого ряда участвовали какие-либо факторы, помимо чисто случайных. При этом под «чисто случайными» понимаются лишь те случайные факторы, под воздействием которых генерируются последовательности взаимно не коррелированных и одинаково распределенных случайных величин, обладающих постоянными (не зависящими от времени) средними значениями и дисперсиями. Ответ на поставленный вопрос получают, проводя статистическую проверку соответствующей гипотезы, например, с помощью одного из «критериев серий», критерия Аббе, критериев Бокса-Пирса и Люнга-Бокса.

Если в результате проверки такой статистической гипотезы выяснилось, что имеющиеся наблюдения взаимно зависимы (и, возможно, неодинаково распределены), то приступают к подбору подходящей модели для этого ряда. Множество моделей, в рамках которого ведется этот подбор, ограничивается обычно следующими классами моделей: (а) классом стационарных временных рядов (которые используются, в основном, для описания поведения «случайных остатков»), (б) классом нестационарных временных рядов, которые являются суммой детерминированного тренда и стационарного временного ряда, (в) классом нестационарных временных рядов, имеющих стохастический тренд, который можно удалить последовательным дифференцированием ряда (т.е. путем перехода от ряда уровней к ряду разностей первого или более высокого порядка).

В рамках эконометрического анализа временных рядов макроэкономических показателей российской экономики, проводимого в настоящей работе, мы объединяем ряды, входящие в классы (а) и (б), в один класс, который, следуя общепринятой в последнее время практике [см., например, Maddala, Kim (1998)], называем классом TS-рядов (trend stationary series – ряды, стационарные относительно детерминированного тренда). Адекватным методом остационаривания временных рядов, принадлежащих классу (б), является вычитание из ряда детерминированного тренда. Напротив, для рядов, принадлежащих классу (в), адекватным методом остационаривания ряда является пе-

переход от ряда уровней к ряду разностей (первого или более высокого порядка).

- Стационарные (в широком смысле) временные ряды  $x_t$  характеризуются тем, что их средние значения  $E x_t$ , дисперсии  $D x_t$  и ковариации  $\gamma(\tau) = E[x_t - E x_t](x_{t+\tau} - E x_{t+\tau})$  не зависят от  $t$ , для которого они вычисляются. Взаимозависимости, существующие между членами стационарного временного ряда, как правило, могут быть адекватно описаны в рамках моделей авторегрессии порядка  $p$  (AR( $p$ )-моделей), моделей скользящего среднего порядка  $q$  (MA( $q$ )-моделей) или моделей авторегрессии со скользящими средними в остатках порядка  $p$  и  $q$  (ARMA( $p$ ,  $q$ )-моделей).
- Временной ряд  $x_t$  называется интегрированным (проинтегрированным) порядка  $k$ , если последовательные разности  $\Delta^k x_t$  этого ряда порядка  $k$  (но не меньшего порядка!) образуют стационарный временной ряд. Поведение таких рядов, в том числе рядов, содержащих сезонную компоненту, в эконометрических прикладных задачах достаточно успешно описывают с помощью моделей авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего порядка  $p$ ,  $k$  и  $q$  (ARIMA( $p$ ,  $k$ ,  $q$ )-моделей) и некоторых их модификаций. К этому классу относится и простейшая модель стохастического тренда – процесс случайного блуждания (ARIMA(0, 1, 0)). Приращения случайного блуждания образуют последовательность независимых, одинаково распределенных случайных величин («белый шум»). Поэтому процесс случайного блуждания называют также «проинтегрированным белым шумом».

В настоящее время в класс интегрированных рядов порядка  $k$  включают также ряды, у которых разность порядка  $k$  (но не меньшего!) является процессом, стационарным относительно детерминированного тренда. В нашей работе используется именно такое определение. При этом если сам временной ряд является стационарным или стационарным относительно детерминированного тренда (TS-рядом), то он определяется как интегрированный ряд нулевого порядка.

При наличии сезонности получить стационарный ряд иногда возможно, переходя к разностям не соседних значений ряда, а значений, отстоящих на соответствующее число единиц времени. Например, при квартальных данных для достижения стационарности бывает достаточно перейти к последовательности разностей значений ряда, отстоящих на 4 единицы времени.

- Подобрать модель для конкретного временного ряда  $\{x_t\}$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$  – это значит определить подходящее параметрическое семейство моделей в качестве допустимого множества решений, а затем статистически оценить параметры модели на основании имеющихся наблюдений  $x_1, x_2, \dots, x_T$ . Весь этот процесс принято называть процессом идентификации модели, или просто идентификацией. Для правильной идентификации модели временного ряда необходимо решить вопрос о том, является ли исследуемый временной ряд стационарным, стационарным относительно детерминированного тренда (т.е. суммой детерминированных компонент и стационарного ряда) или в его составе содержится стохастический тренд. Решению этой задачи для ряда российских макроэкономических рядов посвящена основная часть настоящей работы.
- В ситуациях, когда временные ряды  $\{x_t\}$  и  $\{y_t\}$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ , являются исходными данными для построения регрессии  $y$  на  $x$ , причем воздействие единовременного изменения одной из переменных ( $x$ ) на другую ( $y$ ) растянуто (распределено) во времени, большой прикладной интерес представляют так называемые модели с распределенными лагами. В рамках этого специального класса моделей проводится, в частности, эконометрический анализ таких важных экономических явлений, как «процесс частичного приспособления», «модели адаптивных ожиданий» и др.
- Важную роль в системах поддержки принятия экономических решений играет прогнозирование экономических показателей. Методы автопрогноза, основанные на анализе временных рядов, экстраполируют имеющийся в наличии ряд только на основании информации, содержащейся в нем самом. Такого рода прогноз может оказаться эффективным лишь в кратко- и, максимум, в среднесрочной перспективе. Серьезное решение задач долгосрочного прогнозирования требует использования комплексных подходов, и в первую очередь привлечения различных (в том числе, статистических) технологий сбора и анализа экспертных оценок.
- Эффективный подход к решению задач кратко- и среднесрочного автопрогноза – это прогнозирование, основанное на использовании «подогнанных» (идентифицированных) моделей типа  $ARIMA(p, k, q)$ , включая, в качестве частных случаев, и модели AR-, MA- и ARMA.
- Весьма широко распространены в решении прикладных задач кратко- и среднесрочного автопрогноза и так называемые адаптивные методы, позволяющие по мере поступления новых данных обновлять ранее



сделанные прогнозы с минимальной задержкой и с помощью относительно несложных математических процедур.

В приложении П2 приведен краткий обзор методов построения, идентификации и верификации моделей одномерных временных рядов, подробный обзор имеется, например, в [Айвазян, Мхитарян (1998)], [Ллойд, Ледерман (1990)].

## 1.2. Методология исследования

### 1.2.1. Общие замечания

Как уже отмечалось выше, для решения вопроса об отнесении исследуемого ряда  $X_t$  к классу TS (стационарных или стационарных относительно тренда) или DS (разностно стационарных) процессов имеется целый ряд различных процедур. Однако все эти процедуры страдают теми или иными недостатками. Процедуры, оформленные в виде формальных статистических критериев, как правило, имеют достаточно низкую мощность, а это ведет к тому, что весьма часто не отвергается исходная (нулевая гипотеза), когда она в действительности не выполняется. В то же время невыполнение теоретических предпосылок, на которых основывается критерий, при применении его к реальным данным приводит к отличию реально наблюдаемого размера критерия от заявленного уровня значимости. Вследствие последнего обстоятельства теряется контроль над вероятностью ошибки первого рода, и это может приводить к слишком частому отвержению нулевой гипотезы, когда она в действительности верна. В связи с таким положением вещей исследователи обычно используют при анализе рядов на принадлежность их к классу TS или DS не один, а несколько критериев и подкрепляют выводы, полученные с использованием формальных критериев (с установленными уровнями значимости) графическими процедурами. Мы также будем пользоваться в нашем исследовании несколькими процедурами различения TS и DS рядов и в этом разделе кратко опишем эти процедуры. Более подробное их описание можно найти в цитируемой ниже литературе.

В большинстве критериев, предложенных для различения DS и TS гипотез, в качестве нулевой (исходной) берется гипотеза DS, а TS-гипотеза является альтернативной гипотезой. При этом нулевая DS-гипотеза формулируется как «гипотеза единичного корня» (unit root, UR-гипотеза), т.е. как гипотеза о наличии корня  $z = 1$  («единичного корня») у уравнения  $a(z) = 0$ ,

где  $a(L)$  – многочлен от оператора обратного сдвига  $L$  в авторегрессионном представлении  $a(L)x_t = \varepsilon_t$  ряда  $x_t$ .

Критерии, в которых за исходную (нулевую) гипотезу берется гипотеза TS, служат скорее для подтверждения результатов проверки DS-гипотезы. В этом случае вместо проверки гипотезы единичного корня для самого ряда  $x_t$  проверяется гипотеза о наличии единичного корня  $z = 1$  у уравнения  $b(z) = 0$ , где  $b(L)$  – многочлен от оператора обратного сдвига  $L$  в представлении в виде процесса скользящего среднего  $\Delta x_t = b(z)\varepsilon_t$  ряда разностей  $\Delta x_t = x_t - x_{t-1}$  исходного процесса  $x_t$ .

Краткий обзор основных критериев, использованных в настоящей работе, приведен в приложении П1.

В заключение раздела приведем интерпретацию результатов в зависимости от выводов, получаемых различными критериями.

Для простоты предположим, что при анализе ряда мы используем критерий ADF для проверки DS-гипотезы в качестве нулевой и критерий KPSS для проверки TS-гипотезы в качестве нулевой. Тогда возможны четыре различных исхода статистического анализа:

	KPSS – TS не отвергается	KPSS – TS отвергается
ADF – DS не отвергается	Исход 1	Исход 2
ADF – DS отвергается	Исход 3	Исход 4

Если наблюдается исход 2, то это говорит в пользу DS-гипотезы.

Если наблюдается исход 3, то это говорит в пользу TS-гипотезы.

Если наблюдается исход 1, то это можно объяснить низкой мощностью обоих критериев.

Если наблюдается исход 4, то это может говорить о том, что процесс порождения данных (DGP) не описывается DS или TS моделями, а может быть, например, дробно-интегрированным процессом или процессом с нелинейным трендом.

### 1.2.2. Схема анализа временных рядов с использованием дерева решений

Рассмотрим схему исследования временных рядов экономической динамики с использованием дерева решений. Сформируем базу знаний простейшей производственной системы (см., например, [Осуга (1989)], отвечающей на вопрос<sup>2</sup>: является ли исследуемый временной ряд рядом типа TS

<sup>2</sup> Заметим, что на данном этапе исследований мы предполагаем, что все исследуемые ряды имеют порядок интегрированности не выше 1. Это означает, что они ли-

или рядом типа DS, с шестью вариантами ответа, которые приведены в табл. 2-1 (предполагается, что ряд представляется моделью авторегрессии порядка 1 или порядка  $p > 1$  – в последнем случае в модели, приведенные в табл. 2-1, включаются дополнительные слагаемые, заключенные в круглые скобки).

ТАБЛИЦА 2-1. ВАРИАНТЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РЯДОВ НА СТАЦИОНАРНОСТЬ

№	Единичные корни	Стационарность	Тип	Вид модели
1	Нет	Стационарный относительно тренда	TS	$\Delta x_t = \alpha + \beta t + \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$
2	Есть	Нестационарный	DS	$\Delta x_t = \alpha + \beta t \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$
3	Нет	Стационарный	TS	$\Delta x_t = \alpha + \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$
4	Есть	Нестационарный	DS	$\Delta x_t = \alpha \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$
5	Нет	Стационарный	TS	$\Delta x_t = \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$
6	Есть	Нестационарный	DS	$\Delta x_t = \left( \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$

В процессе исследования производится оценка трех статистических моделей:

$$1. \Delta x_t = \alpha + \beta t + \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$$

либо сами являются стационарными (стационарными относительно детерминированного тренда), либо стационарными (стационарными относительно детерминированного тренда) являются ряды их первых разностей.

$$2. \Delta x_t = \alpha + \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$$

$$3. \Delta x_t = \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$$

Выбор варианта анализируемой модели основан на рассмотрении пяти нулевых гипотез:

1.  $H_0: \varphi = 0$
2.  $H_0: \beta = 0$  при условии  $\varphi = 0$
3.  $H_0: \varphi = 0$  при условии  $\beta \neq 0$
4.  $H_0: \alpha = 0$  при условии  $\varphi = 0$
5.  $H_0: \varphi = 0$  при условии  $\alpha \neq 0$

Система логического вывода содержит семь правил вида «если..., то..., иначе...» и шесть правил, фиксирующих результат:

1. Если для модели 1 справедлива нулевая гипотеза 1, то переходим к правилу 2, иначе – к правилу 8;
2. Если для модели 1 справедлива нулевая гипотеза 2, то переходим к правилу 4, иначе – к правилу 3;
3. Если для модели 1 справедлива нулевая гипотеза 3, то переходим к правилу 9, иначе – к правилу 8;
4. Если для модели 2 справедлива нулевая гипотеза 1, то переходим к правилу 5, иначе – к правилу 10;
5. Если для модели 2 справедлива нулевая гипотеза 4, то переходим к правилу 7, иначе – к правилу 6;
6. Если для модели 2 справедлива нулевая гипотеза 5, то переходим к правилу 11, иначе – к правилу 10;
7. Если для модели 3 справедлива нулевая гипотеза 1, то переходим к правилу 13, иначе – к правилу 12;
8. Ряд стационарен относительно тренда. Модель ряда имеет вид:

$$\Delta x_t = \alpha + \beta t + \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$$

9. Ряд нестационарен. Модель ряда имеет вид:

$$\Delta x_t = \alpha + \beta t \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$$

10. Ряд стационарен. Модель ряда имеет вид:

$$\Delta x_t = \alpha + \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$$

11. Ряд нестационарен. Модель ряда имеет вид:

$$\Delta x_t = \alpha \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$$

12. Ряд стационарен. Модель ряда имеет вид:

$$\Delta x_t = \varphi x_{t-1} \left( + \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$$

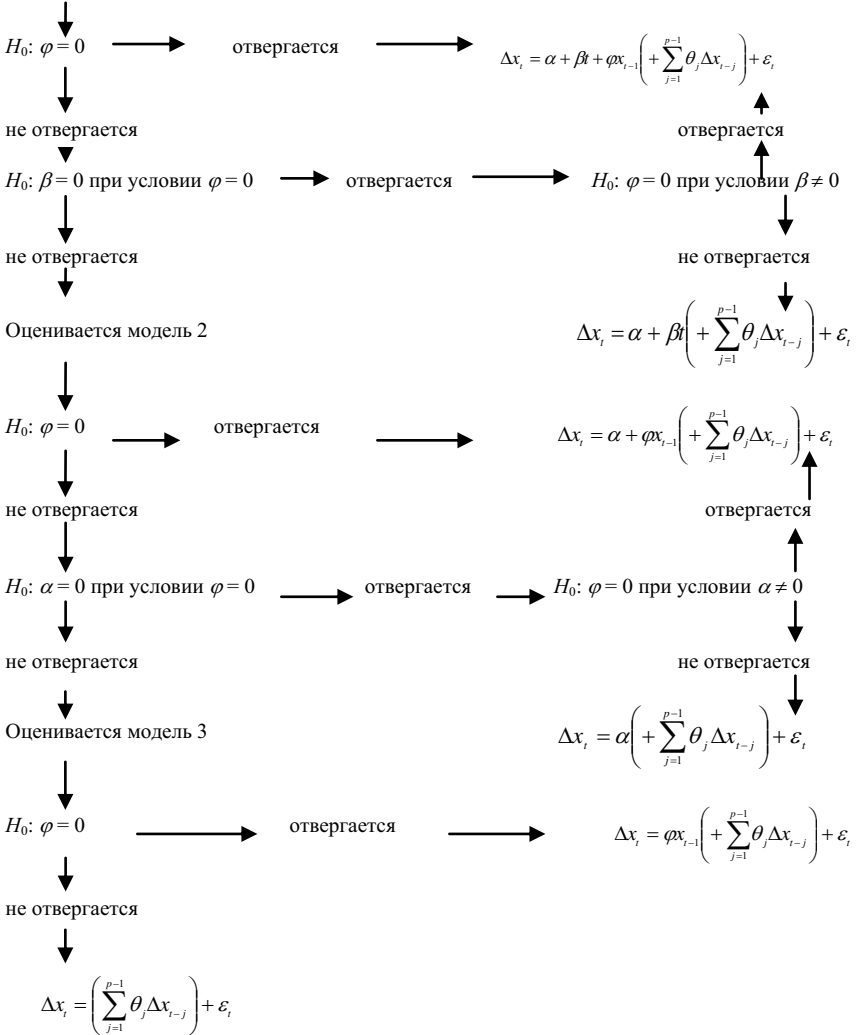
13. Ряд нестационарен. Модель ряда имеет вид:  $\Delta x_t = \left( \sum_{j=1}^{p-1} \theta_j \Delta x_{t-j} \right) + \varepsilon_t$

На рис. 2-1 приведено дерево решений для данной системы.

Построенная здесь простейшая продукционная база знаний может стать основой для последующей разработки экспертной системы анализа временных рядов. Такая экспертная система позволит упростить и унифицировать анализ временных рядов и может служить основой эконометрического анализа различных показателей экономической динамики.

РИСУНОК 2-1. ДЕРЕВО РЕШЕНИЙ ПРОДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Оценивается модель 1



## 2. Эконометрический анализ макроэкономических динамических рядов

### 2.1. Статистическая база исследования

На данном этапе исследования основным критерием отбора временных рядов для эконометрического анализа являлась их доступность и наличие достаточного числа наблюдений, позволяющего использовать предложенную методологию анализа. В последующем предполагается проводить отбор рядов исходя из потребностей содержательных задач.

Для анализа были использованы данные о следующих макроэкономических показателях (в круглых скобках указаны рабочие названия соответствующих рядов):

*Темпы прироста индекса потребительских цен (Inflation), %* – месячные данные с 1991:01 по 2000:08;

*Денежный агрегат M0 (M0), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – месячные данные с 1990:12 по 2000:07;

*Узкая денежная база (Denbaza), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – месячные данные с 1992:05 по 2000:08;

*Резервные деньги (Shirdenmas), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – месячные данные с 1995:06 по 2000:07;

*Денежный агрегат M1 (M1), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – месячные данные с 1995:06 по 2000:07;

*Денежный агрегат M2 (M2), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – месячные данные с 1990:12 по 2000:07;

*Широкие деньги (Shirdengi), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – месячные данные с 1992:01 по 2000:07;

*Объем экспорта (Export), млрд. долл.* – месячные данные с 1994:01 по 2000:04

*Объем импорта (Import), млрд. долл.* – месячные данные с 1994:01 по 2000:04;

*Объем валового внутреннего продукта (GDP), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – квартальные данные с 1994:1 по 2000:2;

*Доходы федерального бюджета (Dokhfedbud), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – месячные данные с 1992:01 по 2000:05;

*Налоговые доходы федерального бюджета (Dokhnalog), млрд. руб. (с 1998 г. млн. руб.)* – месячные данные с 1992:01 по 2000:05;

*Индекс интенсивности промышленного производства (Intprom)* – сезонно скорректированные месячные данные с 1990:12 по 2000:07;

*Фондовый индекс РТС-1 (RTS1)* – дневные данные (значение закрытия) с 01/09/95 по 31/10/00;

*Номинальный обменный курс руб./доллар (Rubkurs)* – дневные данные с 01/07/92 по 01/11/00.

*Общая численность безработных (на конец года), млн. человек (UNJOB)* – месячные данные с 01/1994 по 08/2000.

Все исходные данные для эконометрического анализа приведены в приложениях ПЗ.2–ПЗ.9.

Общее представление о характере поведения перечисленных макроэкономических показателей дают графики изменения этих показателей (см. рис. 2-1 – 2-9).

**РИСУНОК 2-1. ИНФЛЯЦИЯ**

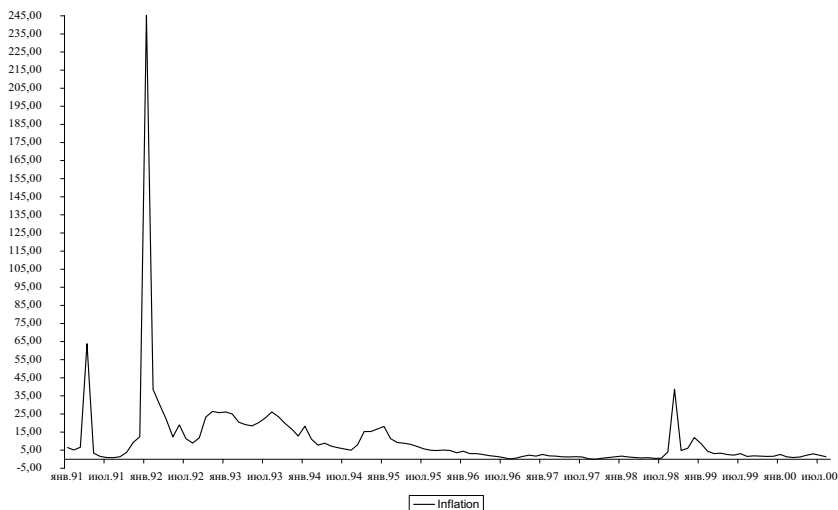




РИСУНОК 2-2. ДЕНЕЖНЫЕ АГРЕГАТЫ

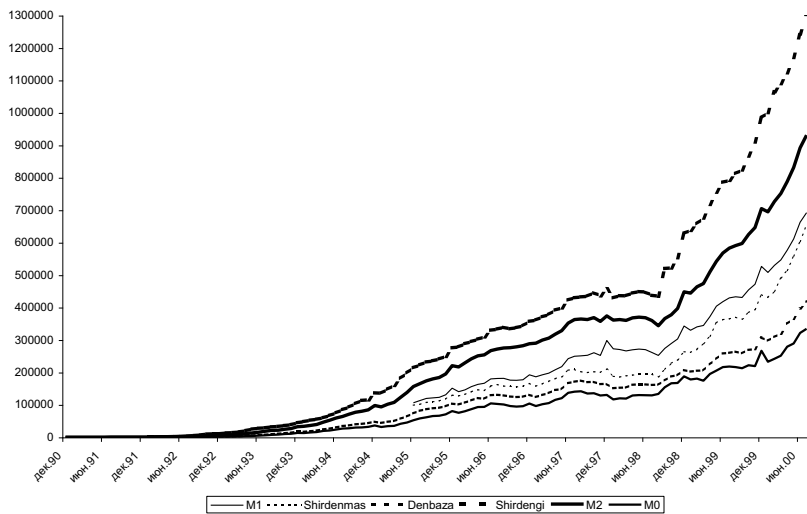


РИСУНОК 2-3. ЭКСПОРТ И ИМПОРТ

