



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Анализ временных рядов»
для направления 38.04.08 Финансы и кредит подготовки магистра

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

Банковский институт

УТВЕРЖДЕНА

Экспертно-методическим советом
Банковского института
Председатель:

_____ Р.М. Энтов

«__» _____ 2018 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Анализ временных рядов»**

для образовательной программы «Финансовый аналитик»
направления подготовки 38.04.08 Финансы и кредит подготовки магистра

Автор программы:

к.ф.-м.н. профессор Канторович Г.Г. (gkantorovich@hse.ru)

ОДОБРЕНО:

Директор Банковского института

_____ В.М. Солодков

«__» _____ 2018 г.

Москва, 2016

Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения Банковского института - разработчика программы.



1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления подготовки 38.04.08 Финансы и кредит подготовки магистра, обучающихся по магистерской программе «Финансовый аналитик» и изучающих дисциплину «Анализ временных рядов».

Программа разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом ФГАОУ ВПО «Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» по направлению 38.04.08 Финансы и кредит, уровень подготовки: Магистр;
- Образовательными программами подготовки магистров по направлению 38.04.08 Финансы и кредит;
- Объединенным учебным планом университета по направлению подготовки магистров 38.04.08 Финансы и кредит, утвержденным в 2018 г.

2 Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Анализ временных рядов» предназначена для магистров первого года обучения магистерской программы «Финансовый аналитик». Курс рассчитан на один учебный модуль.

В задачи данного курса входит: изучение математических методов, используемых при работе с временными рядами, умение применять их к конкретным временным рядам.

Анализ временных рядов – это важнейший раздел эконометрической науки, один из наиболее трудных ее разделов, которому уделяется очень большое внимание в образовательных программах ведущих мировых университетов. По своему содержанию анализ временных рядов тесно связан с экономической теорией, а при ориентации на анализ финансово-экономических временных рядов - и с теорией финансовых рынков. Методы теории временных рядов находят непосредственное приложение при прогнозировании социально-экономических и финансовых показателей и при оценке фондовых активов.

Программа курса предусматривает наличие лекционных часов и семинарских занятий, включающих практику работы с современными программными пакетами, а также регулярную самостоятельную работу студентов.

Под самостоятельной подготовкой понимается более детальная проработка теоретического материала, рассматриваемого на лекциях, а также выполнение домашних заданий. В учебной программе курса предусмотрено выполнение одной контрольной работы.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

- Знать
 - традиционные методы анализа временных рядов, предназначенные в основном для работы с данными временных;
 - коинтеграционные модели, модели коррекции ошибок и авторегрессионные модели с распределенными лагами, понимая область и границы их применения в экономике.



- Уметь
 - применять знания и навыки анализа временных рядов в исследовании экономических процессов, а также понимать методы, идеи, результаты и выводы, встречаемые в большинстве экономических книг и статей;
 - рассматриваемые методы и модели освоить на практике с использованием реальных массивов экономических данных и современного эконометрического программного обеспечения.
- Владеть
 - навыками анализа и моделирования случайных процессов в рамках класса моделей ARIMA (p, d, q);
 - пониманием содержательных различий данных перекрестных выборок и временных рядов и тех специфических эконометрических проблем, которые возникают при работе с данными этих типов.

В результате освоения дисциплины, студент осваивает следующие компетенции:

| Компетенция | Код по ФГОС/ НИУ | Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата) | Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции |
|---|--|--|--|
| Профессиональные (ПК): А) Инструментальные компетенции (ИК) | | | |
| В аналитической и консультационной профессиональной деятельности студент должен быть способен: | | | |
| готовить финансовую информацию и составлять отчетность для компаний и финансовых институтов | ПК-10/ ИК-М.3.2; ИК-М.4.1; ИК-М.4.3 | - способен работать с большими массивами разнообразной информации, составлять прогноз основных финансовых показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом, в т.ч. используя современные информационно-компьютерные технологии | Лекция; Семинар (выполнение заданий, участие в дискуссиях, разбор практических ситуаций); Работа с литературой и статистическими данными; Консультации |
| анализировать риски компаний и финансовых институтов и разрабатывать программы и инструменты управления рисками | ПК-12/ ИК-М.7.1; ИК-М.6.2 | - способен ставить задачу и принимать решение с учетом возможных рисков и последствий, - способен разрабатывать соответствующие методические и нормативные документы, а также предложения и мероприятия по реализации разработанных проектов и программ | Лекция; Семинар (выполнение заданий, участие в дискуссиях, разбор практических ситуаций); Работа с литературой и статистическими данными; Консультации |
| анализировать источники капитала для краткосрочного и долгосрочного финансирования компаний и финансовых институтов | ПК-13/ ИК-М.7.1 | - способен анализировать, верифицировать, оценивать полноту информации в ходе профессиональной деятельности, при необходимости восполнять и синтезировать недостающую информацию и работать в условиях неопределенности | Лекция; Семинар (выполнение заданий, участие в дискуссиях, разбор практических ситуаций); Работа с литературой и статистическими данными; Консультации |



| Компетенция | Код по ФГОС/ НИУ | Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата) | Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции |
|---|--|--|--|
| оценивать стоимость финансовых инструментов | ПК-15/ ИК-М.7.1 | - применяет современные эконометрические методы для анализа и прогнозирования стоимости финансовых инструментов | Лекция; Семинар (выполнение заданий, участие в дискуссиях, разбор практических ситуаций); Работа с литературой и статистическими данными; Консультации |
| составить аналитические обоснования руководству компании для принятия стратегических решений в компаниях, финансовых институтах и разработки их финансовой политики | ПК-20/ ИК-М.1.2.э; ИК-М.3.2; ИК-М.4.2 | - способен находить данные, необходимые для анализа и проведения экономических расчетов, используя различные источники информации | Лекция; Семинар (выполнение заданий, участие в дискуссиях, разбор практических ситуаций); Работа с литературой и статистическими данными; Консультации |
| <i>В области управленческой деятельности студент должен быть способен:</i> | | | |
| самостоятельно осуществлять подготовку заданий и разрабатывать проектные решения с учетом фактора неопределенности (риска), разрабатывать соответствующие методические и нормативные документы, а также предложения и мероприятия по реализации разработанных проектов и программ | ПК-31/ СЛК-М3; СЛК-М9; ИК-М.6.2ПД_5 .4 | - способен ставить задачу и принимать решение с учетом возможных рисков и последствий, - способен разрабатывать соответствующие методические и нормативные документы, а также предложения и мероприятия по реализации разработанных проектов и программ | Лекция; Семинар (выполнение заданий, участие в дискуссиях, разбор практических ситуаций); Работа с литературой и статистическими данными; Консультации |
| разрабатывать варианты управленческих решений и обосновывать их выбор на основе критериев социально-экономической эффективности | ПК-32/ ИК-М.1.3.э | - способен готовить аналитические материалы для оценки мероприятий в области экономической политики и принятия стратегических решений на микро- и макроуровне | Лекция; Семинар (выполнение заданий, участие в дискуссиях, разбор практических ситуаций); Работа с литературой и статистическими данными; Консультации |
| вносить предложения и разрабатывать стандарты регулирования финансовых рынков | ПК-34/ ИК-М.6.2 | - способен предлагать концепции, модели, изобретать и апробировать способы и инструменты профессиональной деятельности | Выполнение заданий, участие в дискуссиях, разбор практических ситуаций; Работа с литературой и статистическими данными |

4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к циклу дисциплин программы и блоку дисциплин вариативной части, обеспечивающих подготовку магистра по направлению 38.04.08 Финансы и кредит.



Для направления подготовки 38.04.08 Финансы и кредит подготовки магистра, магистерская программа «Финансовый аналитик», настоящая дисциплина является дисциплиной по выбору.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах: «Математический анализ», включающий дифференциальное и интегральное исчисление, а также «Линейная алгебра», «Методы оптимальных решений», «Экономическая статистика», «Теория вероятностей» и «Математическая статистика», «Эконометрика».

Дополнительно необходимые математические и статистические понятия и концепции будут изучены в рамках самого курса.

Для освоения учебной дисциплины, студенты должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

- иметь представление об эконометрике в рамках бакалаврского курса, но обязательным это требование не может являться, поскольку не может быть предъявлено магистрантам, не обладающим экономическим базовым образованием.

Также, дисциплина «Анализ временных рядов» рассчитана на студентов, прослушавших курс математического анализа, включающий дифференциальное и интегральное исчисление, а также курсы линейной алгебры, методов оптимальных решений, экономической статистики, теории вероятностей и математической статистики, эконометрики

Основные положения дисциплины могут быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин, связанных с количественным анализом динамики реальных экономических явлений, таких как, например, «Макроэкономика», «Прикладная макроэкономика», «Теория финансов» и других. Могут быть использованы в спецкурсах по теории случайных процессов, математическим моделям в экономике, оптимальному управлению, статистическому прогнозированию, применению методов теории вероятностей в финансовой математике, принятию решений в условиях неопределенности, а также в дисциплинах «Прогнозирование в экономике и финансах», «Количественные методы в экономике».

5 Тематический план учебной дисциплины

Тематический план отражает содержание дисциплины «Анализ временных рядов» (перечень разделов), структурированное по видам учебных занятий с указанием их объемов в соответствии с РУП

| № | Название темы | Всего часов | Аудиторные часы | | | Самостоятельная работа |
|---|---|-------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|
| | | | Лекции | Семинары | Практические занятия | |
| 1 | Временной ряд, как дискретный случайный процесс. Стационарность случайных процессов | 10 | 2 | | | 8 |
| 2 | Модели авторегрессии-скользящего среднего ARMA (p,q). Автокорреляционные и частные автокорреляционные функции | 8 | | 2 | | 6 |
| 3 | Оценивание коэффициентов процессов ARMA (p,q). Информационные | 8 | 2 | | | 6 |



| | | | | | | |
|----|---|----|---|---|--|----|
| 4 | Прогнозирование в модели Бокса-Дженкинса | 10 | 2 | 2 | | 6 |
| 5 | Нестационарные временные ряды. Кажущаяся регрессия. Подход Бокса-Дженкинса к определению степени интеграции временного ряда | 8 | | 2 | | 6 |
| 6 | Тесты на единичные корни: тесты Дикки-Фуллера, Филлипса-Перрона, KPSS и др. | 12 | 2 | | | 10 |
| 7 | Единичные корни и структурные сдвиги: Тесты Перрона и Эндрюса-Живота | 8 | | 2 | | 6 |
| 8 | Методика исследования типа нестационарности временного ряда <i>TSP</i> или <i>DSP</i> | 8 | | 2 | | 6 |
| 9 | Авторегрессионные модели с распределенными лагами. Понятие экзогенности (слабой, сильной, супер-). Причинность по Грэнджеру (<i>Granger Causality</i>) | 8 | 2 | | | 6 |
| 10 | Коинтеграция временных рядов. Коинтеграционная регрессия. Общие множители и тренды. Модели коррекции ошибками | 8 | | 2 | | 6 |
| 11 | Многомерные временные ряды. Структурная и приведенная формы многомерных моделей. Модели векторной авторегрессии (VAR). Стационарность VAR-моделей. Оценивание коэффициентов VAR моделей | 14 | 2 | 2 | | 10 |



| | | | | | | |
|----|--|------------|-----------|-----------|--|-----------|
| 12 | Нелинейные модели временных рядов: ARCH, GARCH и др. | 8 | | 2 | | 6 |
| | Экзамен | 4 | | | | 4 |
| | Итого: | 114 | 12 | 16 | | 86 |

6 Формы контроля знаний студентов

| Тип контроля | Форма контроля | 1 год | | | | Параметры |
|------------------|--------------------|-------|---|---|---|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Текущий (неделя) | Контрольная работа | | | * | | письменная контрольная работа в форме Института CFA (60 минут) |
| Итоговый | Экзамен | | | * | | Письменный экзамен (160 минут) |

6.1 Критерии оценки знаний, навыков

Предусмотрено проведение контрольной работы. Основная форма контроля – письменный экзамен. Итоговая оценка проставляется по 10 бальной системе.

Необходимым условием отличной оценки на экзамене является отлично выполненная контрольная работа (40% итоговой оценки), и полное владение теоретическим материалом, отлично выполненная письменная работа в рамках экзамена (60% итоговой оценки).

Необходимым условием хорошей оценки на экзамене является твердое знание основ курса, хорошо выполненная контрольная работа и письменная работа в рамках экзамена.

6.2 Порядок формирования оценок по дисциплине

Итоговая оценка складывается из оценок: за контрольную работу 40% от финальной оценки (максимум 40 баллов) и оценка за итоговый экзамен составляет 60% от финальной оценки (максимум 60 баллов).

Накопленная оценка за текущий контроль учитывает результаты студента по текущему контролю следующим образом:

$$O_{\text{накопленная}} = O_{\text{текущий}}$$

где $O_{\text{текущий}}$ рассчитывается как взвешенная сумма всех форм текущего контроля, предусмотренных в РУП

$$O_{\text{текущий}} = O_{\text{дз}};$$

Результирующая оценка за дисциплину рассчитывается следующим образом:

Если дисциплина преподается один модуль:

$$O_{\text{результ}} = k_1 * O_{\text{накопл}} + k_2 * O_{\text{зач}}$$

Способ округления накопленной оценки текущего контроля: арифметический, в пользу студента.

Способ округления результирующей оценки итогового контроля в форме экзамена: арифметический, в пользу студента.

На передаче студенту не предоставляется возможность получить дополнительный балл для компенсации оценки за текущий контроль.

На экзамене студент может получить дополнительный вопрос (дополнительную практическую задачу), ответ на который оценивается в 1 балл.



7 Содержание дисциплины

Раздел 1. Временной ряд, как дискретный случайный процесс. Стационарность случайных процессов

Понятие случайного (стохастического) процесса. Временной ряд, как дискретный случайный процесс. Слабо и сильно стационарные случайные процессы. Характеристики случайных процессов (математическое ожидание, дисперсия, автоковариационная и автокорреляционная функции). Теорема Вольда. Оператор лага.

Раздел 2. Модели авторегрессии-скользящего среднего ARMA (p,q). Автокорреляционные и частные автокорреляционные функции

Модели скользящего среднего MA(q). Условие обратимости. Модели авторегрессии AR(p). Уравнения Юла-Уокера. Разностные уравнения. Условие стационарности. Модели авторегрессии-скользящего среднего ARMA (p,q). Автокорреляционная и частная автокорреляционная функции.

Раздел 3. Оценивание коэффициентов процессов ARMA (p,q). Информационные критерии

Оценивание коэффициентов авторегрессионных моделей. Оценивание коэффициентов моделей скользящего среднего методами наибольшего правдоподобия и поиска на сетке. Оценивание коэффициентов процессов ARMA (p). Качество подгонки моделей временных рядов. Информационные критерии Акаике (AIC) и Шварца (BIC). "Портмонта"-статистика. Подход Бокса-Дженкинса к идентификации моделей стационарных временных рядов.

Раздел 4. Прогнозирование в модели Бокса-Дженкинса

Прогнозирование в модели Бокса-Дженкинса. Тренд и сезонность в модели Бокса-Дженкинса. Коэффициент множественной детерминации в моделях временных рядов.

Раздел 5. Нестационарные временные ряды. Кажущаяся регрессия. Подход Бокса-Дженкинса к определению степени интеграции временного ряда

Нестационарные временные ряды. Случайное блуждание. Ряды с нестационарной дисперсией. Нестационарное среднее. Процессы, приводимые к стационарным, выделением тренда (TSP) и взятием последовательных разностей (DSP). Модели ARIMA (p,1,q). Подход Бокса-Дженкинса к определению степени интеграции временного ряда.

Раздел 6. Тесты на единичные корни: тесты Дикки-Фуллера, Филлипса-Перрона, KPSS и др.

Кажущиеся тренды и регрессионные зависимости. Тест Дикки-Фуллера на наличие единичных корней. Мощность теста Дикки-Фуллера и выбор альтернативной гипотезы. ADF тест и выбор числа лагов. Непараметрический тест Филлипса и Перрона. Альтернативные тесты на единичные корни. Тест КПСС.

Раздел 7. Единичные корни и структурные сдвиги: Тесты Перрона и Эндрюса-Живота

Тесты на единичные корни со структурными сдвигами. Тест Перрона (с экзогенным структурным сдвигом). Тест Эндрюса-Живота (с эндогенным структурным сдвигом). Тесты на единичные корни со множественными структурными сдвигами.

Раздел 8. Методика исследования типа нестационарности временного ряда TSP или DSP

Методика исследования типа нестационарности временного ряда TS или DS. Использование специализированного компьютерного пакета Eviews. Сегментированные тренды и структурные изменения.

Раздел 9. Авторегрессионные модели с распределенными лагами. Понятие экзогенности (слабой, сильной, супер-). Причинность по Грэнджеру (Granger Causality)

Регрессионные динамические модели. Авторегрессионные модели с распределенными лагами (ADL). Понятие экзогенности. Слабая, сильная и супер-экзогенность переменных.



Причинность по Грэнджеру (Granger causality).

Раздел 10. Коинтеграция временных рядов. Коинтеграционная регрессия. Общие множители и тренды. Модели коррекции ошибками

Коинтеграция временных рядов. Векторная авторегрессия (VAR(p)) и коинтеграция. Коинтеграция и модель коррекции ошибками (*Error Correction Model*).

Раздел 11. Многомерные временные ряды. Структурная и приведенная формы многомерных моделей. Модели векторной авторегрессии (VAR). Стационарность VAR-моделей. Оценивание коэффициентов VAR моделей

Многомерные временные ряды. Структурная и приведенная формы многомерных моделей. Модели векторной авторегрессии (VAR). Стационарность VAR-моделей. Оценивание коэффициентов VAR моделей.

Раздел 12. Нелинейные модели временных рядов: ARCH, GARCH и др.

Коинтеграция временных рядов. Коинтеграционная регрессия. Тестирование коинтеграции. Тест Йохансана.

Проверка гипотезы о рациональных ожиданиях. Проверка гипотезы об эффективности рынка. Общие множители и общие тренды.

8 Образовательные технологии

Занятия проходят в форме лекций и семинаров, допускающих вопросы по ходу изложения материала, а также переходы к интерактивным обсуждениям. Успешное освоение курса предполагает активную работу студентов на занятиях, а также внеаудиторную самостоятельную работу.

В ходе проведения занятий используются различные виды учебной работы, а именно уделяется большое внимание разбору практических задач и кейсов, компьютерным симуляциям.

8.1 Методические рекомендации преподавателю

Контроль осуществляется в ходе выполнения контрольной работы, выполнения зачета в письменной форме.

8.2 Методические указания студентам

Посещение является строго обязательным, учитывая сложность материала и уникальность ряда методов, используемых в анализе и прогнозировании, без посещения занятий невозможно достичь комплексного понимания материала и получить хорошую финальную оценку. Отсутствие на занятиях не освобождает от необходимости выполнения заданных заданий.

Необходимым условием отличной итоговой оценки является своевременное и качественное выполнение контрольной работы в течение изучения дисциплины с демонстрацией полного владения теоретическим материалом и отличное выполнение зачета в письменной форме.

Необходимым условием хорошей итоговой оценки является своевременное и качественное выполнение контрольной работы в течение изучения дисциплины, твердое знание основ курса и хорошее выполнение зачета в письменной форме.



9 Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

9.1 Тематика заданий текущего и итогового контролей

Задание № 1.

- А). Дайте определения слабо и строго стационарного дискретного стохастического процесса.
- Б). Является ли процесс $y_t = 1 + y_{t-1} - 0,5y_{t-2} + \varepsilon_t$, $\varepsilon_t \approx WN(0, \sigma^2)$ стационарным в широком смысле? Почему?
- В). Является ли процесс $y_t = \varepsilon_t + 2\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_{t-2}$, $\varepsilon_t \approx WN(0, \sigma^2)$ стационарным второго порядка? Почему?

Задание № 2.

- А). Выведите автокорреляционную функцию и посчитайте первые пять автокорреляций и частных автокорреляций процесса

$$y_t = 0,6y_{t-1} - 0,2y_{t-2} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \approx WN(0, \sigma^2), \quad E(\varepsilon_{t-i}y_{t-s}) = 0 \quad (\forall s \geq 1, \forall i < s).$$

- Б). Опишите основные свойства автокорреляционной и частной автокорреляционной функций процессов $AR(p)$ и $MA(q)$.
- В). Два первых значения выборочной автокорреляционной функции ряда из 226 наблюдений составили 0,7 и 0,5 соответственно. Рассчитайте первые два значения выборочной частной автокорреляционной функции.

Напоминание: k -е значение выборочной частной автокорреляционной функции – это МНК-оценка ϕ_{kk} и регрессии $y_t = \phi_{k1}y_{t-1} + \dots + \phi_{kk}y_{t-k} + e_t$.

Задание № 3.

Для процессов

А). $MA(1)$: $y_t = 1 + \varepsilon_t + 0,5\varepsilon_{t-1}$, $\varepsilon_t \approx WN(0, \sigma^2)$, $y_T = 2,6$, $\varepsilon_t = 1,2$;

Б). $ARMA(1, 1)$: $y_t = 1 + 0,6y_{t-1} + \varepsilon_t + 0,6\varepsilon_{t-1}$, $\varepsilon_t \approx WN(0, \sigma^2)$, $y_T = 2$, $\varepsilon_t = 0,5$

постройте прогноз на h ($h=1, 2, 3, \dots$) шагов вперед. Вычислите дисперсию ошибки прогнозирования.

Задание № 4.

В таблице 1 приведены значения выборочных автокорреляционной и частной автокорреляционной функций темпа роста ИПЦ РФ за период с сентября 1992 по декабрь 2000 года включительно.

- А). Какой вывод можно сделать о типе процесса (в терминах $ARIMA(p, d, q)$), описывающего ряд темпа роста ИПЦ? Поясните ответ.
- Б). Какие выводы можно сделать, основываясь на значениях Q -статистики? Дайте развернутый ответ.

В таблице 2 приведены значения информационных критериев Акаике и Шварца для моделей $ARMA(p, q)$ ($p \leq 2, q \leq 2$).

- В). Выберите модель, наилучшим образом оценивающую темп роста ИПЦ, с точки зрения информационных критериев. Поясните Ваш выбор.

Таблица 1

| | | | | | |
|--|----|----------|---|--------|------|
| | AC | 10 AC | P | Q-Stat | Prob |
|--|----|----------|---|--------|------|



| | | | | |
|----|--------|--------|--------|-------|
| 1 | -0.299 | -0.299 | 9.2340 | 0.002 |
| 2 | -0.099 | -0.208 | 10.261 | 0.006 |
| 3 | 0.120 | 0.025 | 11.776 | 0.008 |
| 4 | -0.010 | 0.024 | 11.787 | 0.019 |
| 5 | -0.082 | -0.059 | 12.508 | 0.028 |
| 6 | -0.044 | -0.110 | 12.721 | 0.048 |
| 7 | -0.011 | -0.097 | 12.735 | 0.079 |
| 8 | 0.000 | -0.048 | 12.735 | 0.121 |
| 9 | 0.014 | 0.003 | 12.757 | 0.174 |
| 10 | 0.023 | 0.031 | 12.816 | 0.234 |
| 11 | -0.033 | -0.029 | 12.941 | 0.297 |
| 12 | 0.008 | -0.031 | 12.949 | 0.373 |
| 13 | -0.044 | -0.087 | 13.181 | 0.434 |
| 14 | 0.006 | -0.042 | 13.185 | 0.512 |
| 15 | 0.023 | 0.008 | 13.251 | 0.583 |
| 16 | 0.010 | 0.035 | 13.264 | 0.653 |
| 17 | -0.026 | -0.014 | 13.349 | 0.713 |
| 18 | -0.014 | -0.055 | 13.372 | 0.769 |
| 19 | -0.044 | -0.111 | 13.613 | 0.806 |
| 20 | 0.006 | -0.063 | 13.617 | 0.849 |
| 21 | 0.006 | -0.015 | 13.621 | 0.885 |
| 22 | 0.017 | 0.032 | 13.658 | 0.913 |
| 23 | 0.017 | 0.033 | 13.697 | 0.935 |
| 24 | 0.041 | 0.038 | 13.927 | 0.948 |
| 25 | 0.012 | 0.013 | 13.945 | 0.963 |

Таблица 2

| Критерий | p\q | 0 | 1 | 2 |
|----------|-----|---------|---------|---------|
| AIC | 0 | | -3,4040 | -3,4164 |
| | 1 | -3,2774 | -3,4312 | -3,3848 |
| | 2 | -3,4083 | -3,3884 | -3,3939 |
| BIC | 0 | | -3,3519 | -3,3904 |
| | 1 | -3,3513 | -3,3791 | -3,3066 |
| | 2 | -3,3562 | -3,3103 | -3,2897 |

Задание № 5.

В таблицах 3, 6 приведены оценки моделей (1 и 2) $ARMA(p, q)$ для темпа роста ИПЦ РФ за период 09:1992–12:2000.

А). Запишите уравнения, соответствующие каждой модели.

В таблицах 4, 5, 7, 8 и на графиках 1, 2 приведены результаты различных тестов для остатков в моделях 1 и 2.

Б). Какие гипотезы проверяются при помощи каждого из этих тестов?

В). Что Вы можете сказать об остатках каждой модели, опираясь на результаты тестов?

Можно ли сказать, что остатки являются «белым шумом»?

Г). Исходя из выводов, сделанных в пункте В, что можно сказать об адекватности построенных моделей?



Таблица 3: Модель 1

| Dependent Variable: CPIGR | | | | |
|---|-------------|-----------------------|-------------|---------------|
| Method: Least Squares | | | | |
| Included observations: 100 | | | | |
| Convergence achieved after 7 iterations | | | | |
| Backcast: 1992:08 | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| AR(1) | 0.425843 | 0.157574 | 2.702501 | 0.0081 |
| MA(1) | -0.787388 | 0.106920 | -7.364257 | 0.0000 |
| R-squared | 0.155539 | Mean dependent var | | 0.000332 |
| Adjusted R-squared | 0.146922 | S.D. dependent var | | 0.046654 |
| S.E. of regression | 0.043091 | Akaike info criterion | | - 3.431218 |
| Sum squared resid | 0.181968 | Schwarz criterion | | - 3.379115 |
| Log likelihood | 173.5609 | Durbin-Watson stat | | 2.09 7771 |
| Inverted AR Roots | .43 | | | |
| Inverted MA Roots | .79 | | | |

Таблица 4: ACF, PACF и Q-статистики для остатков модели 1

| | AC | PAC | Q-Stat | Prob |
|----|--------|--------|--------|-------|
| 1 | -0.050 | -0.050 | 0.2564 | |
| 2 | 0.031 | 0.028 | 0.3545 | |
| 3 | 0.170 | 0.174 | 3.3970 | 0.065 |
| 4 | 0.031 | 0.049 | 3.4998 | 0.174 |
| 5 | -0.061 | -0.070 | 3.8974 | 0.273 |
| 6 | -0.048 | -0.092 | 4.1502 | 0.386 |
| 7 | -0.029 | -0.049 | 4.2454 | 0.515 |
| 8 | -0.018 | 0.005 | 4.2826 | 0.638 |
| 9 | -0.008 | 0.027 | 4.2890 | 0.746 |
| 10 | -0.002 | 0.017 | 4.2893 | 0.830 |
| 11 | -0.046 | -0.052 | 4.5305 | 0.873 |
| 12 | -0.007 | -0.028 | 4.5361 | 0.920 |
| 13 | -0.043 | -0.052 | 4.7500 | 0.943 |
| 14 | 0.003 | 0.016 | 4.7513 | 0.966 |
| 15 | 0.019 | 0.040 | 4.7958 | 0.979 |
| 16 | 0.002 | 0.020 | 4.7962 | 0.988 |
| 17 | -0.020 | -0.032 | 4.8468 | 0.993 |
| 18 | -0.020 | -0.053 | 4.8985 | 0.996 |
| 19 | -0.045 | -0.066 | 5.1584 | 0.997 |
| 20 | 0.006 | 0.015 | 5.1636 | 0.999 |
| 21 | 0.020 | 0.055 | 5.2141 | 0.999 |
| 22 | 0.038 | 0.072 | 5.3993 | 0.999 |
| 23 | 0.041 | 0.039 | 5.6167 | 1.000 |
| 24 | 0.053 | 0.018 | 5.9980 | 1.000 |
| 25 | 0.021 | -0.016 | 6.0607 | 1.000 |



Таблица 5: Тест Бройша-Годфри для остатков модели 1

| | | | | |
|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------|
| F-statistic | 0.503982 | Probability | 0.916389 | |
| Obs*R-squared | 7.104042 | Probability | 0.896710 | |
| Test Equation: | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| AR(1) | 0.356824 | 0.671489 | 0.531392 | 0.5965 |
| MA(1) | -0.309720 | 0.281625 | -1.099761 | 0.2745 |
| RESID(-1) | -0.132986 | 0.669012 | -0.198780 | 0.8429 |
| RESID(-2) | 0.127342 | 0.331528 | 0.384107 | 0.7019 |
| RESID(-3) | 0.320325 | 0.211240 | 1.516402 | 0.1331 |
| RESID(-4) | 0.180434 | 0.170596 | 1.057671 | 0.2932 |
| RESID(-5) | 0.024304 | 0.150351 | 0.161648 | 0.8720 |
| RESID(-6) | -0.025914 | 0.136706 | -0.189563 | 0.8501 |
| RESID(-7) | 0.009773 | 0.127160 | 0.076856 | 0.9389 |
| RESID(-8) | 0.066268 | 0.120190 | 0.551363 | 0.5828 |
| RESID(-9) | 0.080387 | 0.116076 | 0.692533 | 0.4905 |
| RESID(-10) | 0.058295 | 0.114098 | 0.510917 | 0.6107 |
| RESID(-11) | -0.022076 | 0.111056 | -0.198787 | 0.8429 |
| RESID(-12) | -0.008309 | 0.109898 | -0.075605 | 0.9399 |
| RESID(-13) | -0.034726 | 0.108771 | -0.319258 | 0.7503 |
| R-squared | 0.071040 | Mean dependent var | -0.001012 | |
| Adjusted R-squared | -0.081965 | S.D. dependent var | 0.042861 | |
| S.E. of regression | 0.044582 | Akaike info criterion | -3.245472 | |
| Sum squared resid | 0.168946 | Schwarz criterion | -2.854696 | |
| Log likelihood | 177.2736 | Durbin-Watson stat | 1.985118 | |

График 1: Тест Харке-Бера для остатков модели

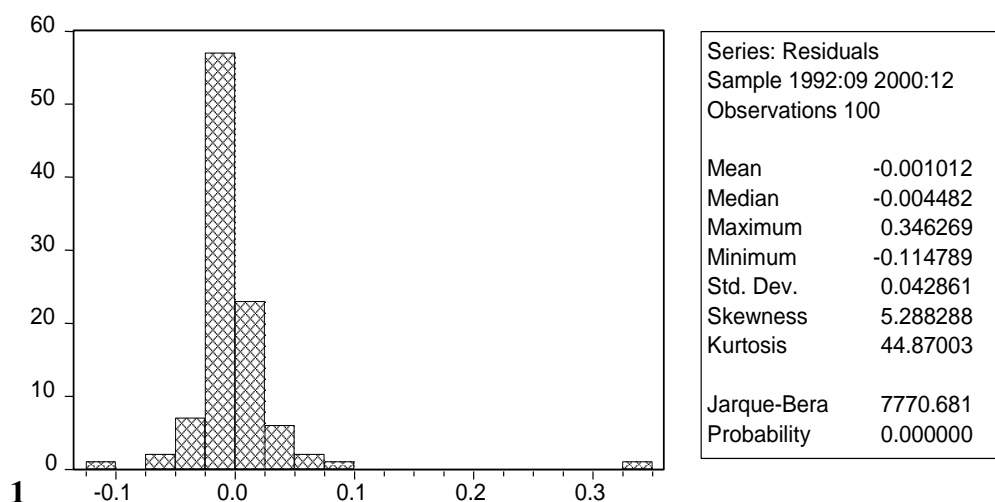


Таблица 6: Модель 2

| |
|---|
| Dependent Variable: CPIGR |
| Method: Least Squares |
| Included observations: 100 |
| Convergence achieved after 7 iterations |



| Backcast: 1992:08 | | | | |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| MA(1) | -0.421104 | 0.089630 | -4.698255 | 0.0000 |
| R-squared | 0.125637 | Mean dependent var | | 0.000332 |
| Adjusted R-squared | 0.125637 | S.D. dependent var | | 0.046654 |
| S.E. of regression | 0.043625 | Akaike info criterion | | -3.416420 |
| Sum squared resid | 0.188411 | Schwarz criterion | | -3.390369 |
| Log likelihood | 171.8210 | Durbin-Watson stat | | 1.912277 |
| Inverted MA Roots | .42 | | | |

Таблица 7: ACF, PACF и Q-статистики для остатков модели 2

| | AC | PAC | Q-Stat | Prob |
|----|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 0.043 | 0.043 | 0.1928 | |
| 2 | -0.050 | -0.052 | 0.4514 | 0.502 |
| 3 | 0.091 | 0.096 | 1.3294 | 0.514 |
| 4 | -0.022 | -0.034 | 1.3801 | 0.710 |
| 5 | -0.124 | -0.113 | 3.0386 | 0.551 |
| 6 | -0.104 | -0.107 | 4.2153 | 0.519 |
| 7 | -0.053 | -0.053 | 4.5218 | 0.606 |
| 8 | -0.014 | 0.000 | 4.5446 | 0.715 |
| 9 | 0.012 | 0.021 | 4.5596 | 0.803 |
| 10 | 0.012 | 0.001 | 4.5753 | 0.870 |
| 11 | -0.038 | -0.065 | 4.7402 | 0.908 |
| 12 | -0.022 | -0.047 | 4.7983 | 0.941 |
| 13 | -0.050 | -0.070 | 5.0960 | 0.955 |
| 14 | -0.002 | 0.009 | 5.0962 | 0.973 |
| 15 | 0.025 | 0.028 | 5.1686 | 0.983 |
| 16 | 0.002 | 0.003 | 5.1694 | 0.991 |
| 17 | -0.038 | -0.061 | 5.3496 | 0.994 |
| 18 | -0.047 | -0.083 | 5.6295 | 0.995 |
| 19 | -0.063 | -0.089 | 6.1348 | 0.996 |
| 20 | -0.010 | -0.003 | 6.1466 | 0.998 |
| 21 | 0.019 | 0.032 | 6.1913 | 0.999 |
| 22 | 0.045 | 0.052 | 6.4568 | 0.999 |
| 23 | 0.060 | 0.032 | 6.9295 | 0.999 |
| 24 | 0.075 | 0.025 | 7.6897 | 0.999 |
| 25 | 0.043 | 0.002 | 7.9406 | 0.999 |

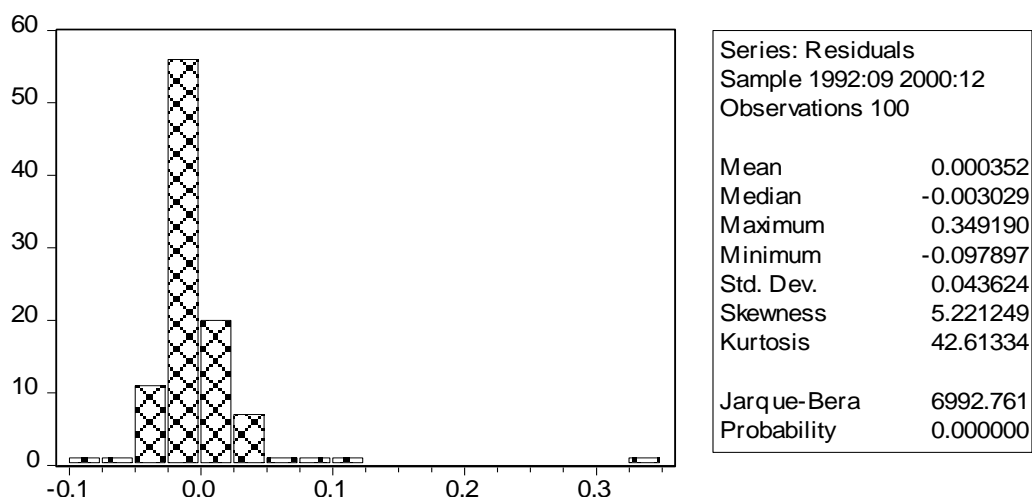
Таблица 8: Тест Бройша-Годфри для остатков модели 2

| Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test: | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|----------|
| F-statistic | 0.542026 | Probability | | 0.891722 |
| Obs*R-squared | 7.566852 | Probability | | 0.870630 |
| Test Equation: | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| MA(1) | -0.737316 | 0.506569 | -1.455510 | 0.1492 |
| RESID(-1) | 0.752896 | 0.510854 | 1.473799 | 0.1442 |
| RESID(-2) | 0.248064 | 0.235433 | 1.053648 | 0.2950 |



| | | | | |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------|--------|
| RESID(-3) | 0.230338 | 0.137823 | 1.671267 | 0.0983 |
| RESID(-4) | 0.027926 | 0.113141 | 0.246824 | 0.8056 |
| RESID(-5) | -0.096674 | 0.107877 | -0.896143 | 0.3727 |
| RESID(-6) | -0.115786 | 0.107652 | -1.075559 | 0.2851 |
| RESID(-7) | -0.065404 | 0.108137 | -0.604829 | 0.5469 |
| RESID(-8) | -0.003121 | 0.107583 | -0.029013 | 0.9769 |
| RESID(-9) | 0.020794 | 0.106805 | 0.194688 | 0.8461 |
| RESID(-10) | 0.008007 | 0.106808 | 0.074964 | 0.9404 |
| RESID(-11) | -0.067815 | 0.106266 | -0.638164 | 0.5251 |
| RESID(-12) | -0.046712 | 0.106379 | -0.439106 | 0.6617 |
| RESID(-13) | -0.071467 | 0.106460 | -0.671299 | 0.5038 |
| R-squared | 0.075669 | Mean dependent var | 0.000352 | |
| Adjusted R-squared | -0.064056 | S.D. dependent var | 0.043624 | |
| S.E. of regression | 0.044999 | Akaike info criterion | -3.235171 | |
| Sum squared resid | 0.174143 | Schwarz criterion | -2.870447 | |
| Log likelihood | 175.7585 | Durbin-Watson stat | 2.060491 | |

График 2: Тест Харке-Бера для остатков модели 2



9.2. Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

1. Понятие слабо стационарного случайного процесса. Характеристики случайных процессов (математическое ожидание, дисперсия, автоковариационная и автокорреляционная функции). Теорема Вольда. Оператор лага. Примеры
2. Модели скользящего среднего $MA(q)$. Условие обратимости. Примеры.
3. Модели авторегрессии $AR(p)$. Уравнения Юла-Уокера. Разностные уравнения. Условие стационарности. Примеры.
4. Модели авторегрессии-скользящего среднего $ARMA(p,q)$. Автокорреляционная и частная автокорреляционная функции. Примеры.
5. Оценивание коэффициентов авторегрессионных моделей. Оценивание коэффициентов моделей скользящего среднего методами наибольшего правдоподобия и поиска на сетке. Пример: процесс $MA(1)$.
6. Оценивание коэффициентов процессов $ARMA(p)$. Пример: процесс $ARMA(1, 1)$.
7. Качество подгонки моделей временных рядов. Информационные критерии Акаике (AIC) и Шварца (BIC). "Портмонто"-статистика. Подход Бокса-Дженкинса к идентификации моделей стационарных временных рядов.
8. Прогнозирование в модели Бокса-Дженкинса. Тренд и сезонность в модели Бокса-



- Дженкинса. Коэффициент множественной детерминации в моделях временных рядов.
9. Нестационарные временные ряды. Случайное блуждание. Ряды с нестационарной дисперсией.
 10. Нестационарное среднее. Процессы, приводимые к стационарным, выделением тренда (*TSP*) и взятием последовательных разностей (*DSP*).
 11. Модели ARIMA ($p, 1, q$). Подход Бокса-Дженкинса к определению степени интеграции временного ряда.
 12. Кажущиеся тренды и регрессионные зависимости.
 13. Тест Дикки-Фуллера на наличие единичных корней.
 14. Мощность теста Дикки-Фуллера и выбор альтернативной гипотезы.
 15. ADF тест и выбор числа лагов.
 16. Непараметрический тест Филлипса и Перрона.
 17. Альтернативные тесты на единичные корни. Тест КПСС.
 18. Тесты на единичные корни со структурными сдвигами. Тест Перрона (с экзогенным структурным сдвигом).
 19. Тест Эндрюса-Живота (с эндогенным структурным сдвигом). Тесты на единичные корни со множественными структурными сдвигами.
 20. Методика исследования типа нестационарности временного ряда *TS* или *DS*. Использование специализированного компьютерного пакета *Eviews*.
 21. Регрессионные динамические модели. Авторегрессионные модели с распределенными лагами (*ADL*).
 22. Понятие экзогенности. Слабая, сильная и супер-экзогенность переменных. Причинность по Грэнджеру (*Granger causality*).
 23. Коинтеграция временных рядов. Векторная авторегрессия (*VAR(p)*) и коинтеграция.
 24. Коинтеграция и модель коррекции ошибками (*Error Correction Model*).
 25. Многомерные временные ряды. Структурная и приведенная формы многомерных моделей. Модели векторной авторегрессии (*VAR*). Стационарность *VAR*-моделей. Оценивание коэффициентов *VAR* моделей.
 26. Коинтеграция временных рядов. Коинтеграционная регрессия. Тестирование коинтеграции. Тест Йохансена

10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

10.1. Базовый учебник

1. Канторович Г.Г., *Лекции по курсу «Анализ временных рядов»*, Экономический журнал ВШЭ, №№1-4, 2002, №1, 2003.

10.2. Основная литература

1. Mills, T.C. and R.N. Markellos, 2008, *The Econometric Modelling of Financial Time Series*, Cambridge University Press, 3rd ed.
2. Mills, T.C., 2008, 1999, *The Econometric Modelling of Financial Time Series*, Cambridge University Press, 2nd ed.
3. Enders, W., 2009, *Applied Econometric Time Series*, Wiley Publ., 3rd ed.

10.3. Дополнительная литература

1. Patterson, K.D., 2000, *Introduction to Applied Econometrics: A Time Series Approach*, Palgrave Macmillan
2. Brockwell, P.J., and R.A. Davis, 2003, *Introduction to Time Series and Forecasting*, Springer Publ., 2nd ed.
3. Hamilton J.D., 1994, *Time Series Analysis*, Princeton University Press
4. Box, G.E.P., G.M. Jenkins, and G.C. Reinsel, 2008, *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (Wiley Series in Probability and Statistics), Wiley Publ., 4th ed.

5. Maddala, G.S. and In-Moo Kim, 1999, *Unit Roots, Cointegration, and Structural Changes* (Themes in Modern Econometrics), Cambridge University Press
6. Banerjee, A., J. Dolado, J.W. Galbraith, and D.F. Hendry, 1993, *Co-integration, error-correction, and the econometric analysis of non-stationary data*, N.Y., Oxford Univ. Press
7. Harvey, A.C., 1993, *Time Series Models*, Harvester Wheatsheaf, 2nd ed.

10.4 Справочники, словари, энциклопедии

- Сайт Росстата www.gks.ru
- Сайт Центрального банка России www.cbr.ru
- Сайт статистики валютных курсов www.oanda.ru
- «Экономический журнал ВШЭ» (продолжающееся издание). Статистический раздел.

11. Материально-техническое обеспечение дисциплины

В учебном процессе используются специально оборудованные кабинеты и аудитории: компьютерные классы, аудитории, оборудованные мультимедийными средствами обучения.