



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Прогнозирование временных данных»
для направления 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»
подготовки магистра

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

Факультет компьютерных наук
Департамент больших данных и информационного поиска

**Рабочая программа проектно-учебной дисциплины
«Прогнозирование временных данных»**

для образовательной программы «Финансовые технологии и анализ данных»
направления подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»
уровень магистр

Разработчик(и) программы
Артемов А.В., доцент Базовой кафедры "Яндекс", aartemov@hse.ru

Одобрена на заседании
Департамента больших данных и информационного поиска
Рук. департамента Подольский В.В. _____ « ____ » _____ 2017 г.

Утверждено Академическим советом
магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных»
« ____ » _____ 201_ г., № протокола _____

Академический руководитель
Масютин А.А. _____ « ____ » _____ 2017 г.

Москва, 2017

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



1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину «Прогнозирование временных данных», учебных ассистентов и студентов направления подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика», обучающихся по образовательной программе «Финансовые технологии и анализ данных».

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- образовательным стандартом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», уровень подготовки: магистр, утвержденным ученым советом НИУ ВШЭ 22.12.2017 протокол №13;
- рабочим учебным планом университета по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» подготовки магистра для магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных», утвержденным 02.02.2018 г.

2 Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у студентов комплекса теоретических знаний и методологических основ в области прогнозирования временных данных.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Уровни формирования компетенций:

РБ — ресурсная база, в основном теоретические и предметные основы (знания, умения);

СД – способы деятельности, составляющие практическое ядро данной компетенции;

МЦ – мотивационно-ценностная составляющая, отражает степень осознания ценности компетенции человеком и готовность ее использовать

В результате освоения дисциплины студент осваивает компетенции:

Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
Способен вести исследовательскую деятельность, включая анализ проблем, постановку целей и задач, выделение объекта и предмета исследования, выбор способа и методов исследования, а также оценку его качества	УК-6 СК-Б7	Владеет и применяет	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий
Способен выполнить программную реализацию математического метода, алгоритма, модели данных, описанного в научно-	ПК-2 ИК-Б1.1НИД/ПД(ПМИ)	Владеет и применяет	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий



Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
технической публикации или технического задания			
Способен провести теоретическую и экспериментальную оценку математического метода, алгоритма, модели данных	ПК-3 ИК-Б1.1НИД/ПД(ПМИ)	Владеет и применяет	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий
Способен анализировать тексты и документы по математике и компьютерным наукам на русском(государственном) и английском языках	ПК-11 ИК-Б2.1/3_3.1_2.4.1(ПМИ)	Владеет и применяет	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий
Способен описывать проблемы и ситуации профессиональной деятельности, используя язык и аппарат математических и компьютерных наук	ПК-15 ИК-Б5.2	Владеет и применяет	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий
Способен реализовать законченную программную систему с использованием технологий баз данных, параллельных вычислений, пользовательских и сетевых интерфейсов	ПК-17 ИК-Б7.2(ПМИ)	Демонстрирует	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий

4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

В рамках магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных» настоящая дисциплина относится к вариативной части. Данный курс является адаптационным.

5 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	Другие виды работы ¹	
1	Введение в теорию случайных процессов	18	4		4		10
2	Марковские случайные процессы	12	2		2		8
3	Некоторые вопро-	12	2		2		8

¹ Указать другие виды аудиторной работы студентов, если они применяются при изучении данной дисциплины.



	сы статистического анализа финансовых данных						
4	Элементарные модели и простейшие алгоритмы обработки временных рядов	10	2		2		6
5	Стохастические авторегрессионные и условно-гауссовские модели динамики рыночных цен	16	2		2		12
6	Сегментация временных данных на основе скрытых марковских моделей	13	2		2		9
7	Линейная фильтрация в экономике и финансовой математике. Фильтр Калмана	12	2		2		8
8	Основные задачи теории принятия решений: ретроспективная и последовательная постановки	20	4		4		12
9	Задачи обнаружения разладок временных рядов	17	2		6		9
10	Прогнозирование временных рядов на основе рекуррентных нейронных сетей	16	2		4		10
11	Моделирование и прогнозирование волатильности на финансовом рынке	16	2		4		10
12	Моделирование и прогнозирование процессов с длинной памятью на финансовом рынке	14	2		2		10
13	Модель Блека-Шоулза	14	2		2		10
		190	30		38		122



6 Формы контроля знаний студентов

Тип контроля	Форма контроля	1 год		Параметры **
		3	4	
Текущий	Коллоквиум	*		
	Домашнее задание	*	*	
	Соревнования	*	*	
Итоговый	Экзамен		*	устный

7 Критерии оценки знаний, навыков

Студент должен продемонстрировать знание разделов дисциплины и способность представить результаты выполнения домашнего задания и контрольной работы в соответствии с требуемыми компетенциями.

Оценки по всем формам текущего контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

8 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в теорию случайных процессов (2 лекции, 2 семинара)

Случайный процесс, его основные характеристики. Непрерывность случайного процесса в среднем квадратичном, по вероятности и с вероятностью единица. Процессы с независимыми приращениями. Пуассоновский и винеровский процессы. Гауссовские случайные векторы, их линейные преобразования. Стационарный случайный процесс. Эргодичность случайного процесса. Спектральное представление случайного процесса.

Тема 2. Марковские случайные процессы (1 лекция, 1 семинар)

Марковский случайный процесс и дискретная марковская цепь. Асимптотическое поведение дискретной марковской цепи.

Тема 3. Некоторые вопросы статистического анализа финансовых данных (1 лекция, 1 семинар)

Статистика “тиков” эмпирических данных. Статистическое описание логарифмов относительных изменений цен: “вытянутость”, “тяжелые хвосты”. Статистика волатильности, корреляционная структура, эффектны “кластерности” в ценах. Фрактальность статистических данных.

Тема 4. Элементарные модели и простейшие алгоритмы обработки временных рядов (1 лекция, 1 семинар)

Обработка сигналов: очистка от шума, сглаживание с адаптивными весами, выделение тренда и оценка дисперсии. Экспоненциальное сглаживание временных рядов: оценки среднего значения и параметра масштаба, случай неравномерного расположения наблюдений, метод Хольта-Винтерса, робастный вариант экспоненциального сглаживания.

Тема 5. Стохастические авторегрессионные и условно-гауссовские модели динамики рыночных цен (1 лекция, 1 семинар)

Моделирование временных рядов на основе моделей типа ARMA. Оценивание коэффициентов модели. Уравнения Юла-Уолкера. Прогнозирование в авторегрессионных моделях. Интегральная модель ARIMA. Условно-гауссовские модели ARCH, GARCH. Критерии выбора порядка модели.

Тема 6. Сегментация временных данных на основе скрытых марковских моделей (1 лекция, 1 семинар). Марковские модели цен с переключением режимов. Скрытая марковская модель. Максимизация функции правдоподобия скрытой марковской модели. Алгоритм Витерби.



Тема 7. Линейная фильтрация в экономике и финансовой математике. Фильтр Калмана (1 лекция, 1 семинара)

Модель пространства состояний. Уравнения Калмановской фильтрации в дискретном времени. Вопросы применения уравнений линейной фильтрации в задачах оценки динамических характеристик финансовых инструментов.

Тема 8. Основные задачи теории принятия решений: ретроспективная и последовательная постановки (2 лекции, 2 семинара)

Фундаментальная лемма Неймана-Пирсона. Последовательные статистические тесты. Последовательный критерий отношения правдоподобия. Вальдовская схема наблюдений и принятия решения.

Тема 9. Задачи обнаружения разладок временных рядов (1 лекция, 3 семинара)

Задача «о разладке». Некоторые широко используемые статистики в проблеме скорейшего обнаружения разладки. Статистика «контрольных карт» Шухарта. Статистика кумулятивных сумм. Статистика Ширяева-Робертса. Модификация стандартных статистик для выявления разладки в дисперсии и ковариационной структуре.

Тема 10. Прогнозирование временных рядов на основе рекуррентных нейронных сетей (1 лекция, 2 семинара)

Нейронные сети как модели последовательностей. Рекуррентная модель RNN и модель долгой краткосрочной памяти LSTM. Алгоритм обратного распространения ошибки сквозь время. Моделирование и прогнозирование многокомпонентных (с трендом, периодических) временных рядов.

Тема 11. Моделирование и прогнозирование волатильности на финансовом рынке (1 лекция, 2 семинара)

Дискретные модели стохастической волатильности. Оценивание волатильности финансовых инструментов с помощью подходов линейной фильтрации.

Тема 12. Моделирование и прогнозирование процессов с длинной памятью на финансовом рынке (1 лекция, 1 семинар)

Эффект последействия в ценах. Фрактальное броуновское движение и фрактальный гауссовский шум как модели сильного последействия. Моделирование и оценивание параметров временных рядов с длинной памятью. Статистический R/S анализ временных рядов.

Тема 13. Модель Блека-Шоулза (1 лекция, 1 семинар)

Модели стоимости акций в непрерывном времени. Линейная модель Л. Башелье. Диффузионная (B,S) модель. Рациональная стоимость колл-опционов европейского типа.

9 Образовательные технологии

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы: доклады, обсуждения, решение задач, рассмотрение кейсов.

10 Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

10.1 Оценочные средства для оценки качества освоения дисциплины в ходе текущего контроля

1. Основные понятия теории случайных процессов. Основные классы случайных процессов. Гауссовские случайные векторы. Непрерывность случайного процесса. Характеристики случайных процессов.

2. Марковские случайные процессы, дискретные Марковские цепи.

3. Модель авторегрессии – скользящего среднего.

4. Экспоненциально взвешенное скользящее среднее. Метод Хольта-Винтерса.

5. Скрытые Марковские модели. Алгоритм Витерби.

6. Фильтр Калмана.



7. Лемма Неймана-Пирсона. Вальдовская и Нейман-Пирсоновская схемы принятия решения.
8. Основные статистики в задаче обнаружения разладок временных рядов.
9. Основные методы обнаружения аномалий временных рядов.
10. Условно-гауссовские модели ARCH, GARCH в финансовой математике.

10.2 Примеры заданий промежуточной аттестации

1. Основные понятия теории случайных процессов. Основные классы случайных процессов. Гауссовские случайные векторы. Непрерывность случайного процесса. Характеристики случайных процессов.
2. Марковские случайные процессы, дискретные Марковские цепи.
3. Модель авторегрессии – скользящего среднего.
4. Экспоненциально взвешенное скользящее среднее. Метод Хольта-Винтерса.
5. Скрытые Марковские модели. Алгоритм Витерби.
6. Фильтр Калмана.
7. Лемма Неймана-Пирсона. Вальдовская и Нейман-Пирсоновская схемы принятия решения.
8. Основные статистики в задаче обнаружения разладок временных рядов.
9. Основные методы обнаружения аномалий временных рядов.
10. Условно-гауссовские модели ARCH, GARCH в финансовой математике.

11 Порядок формирования оценок по дисциплине

Результирующая оценка по дисциплине рассчитывается по формуле:

$$O_{итог} = 0.7 O_{накопл} + 0.3 O_{экз};$$

Накопленная и итоговая оценки округляются арифметически.

Накопленная оценка рассчитывается по формуле:

$$O_{накопл} = 0.1 O_{самост} + 0.6 O_{дз} + 0.3 O_{коллоквиум}$$

Оценка за домашние задания рассчитывается как среднее значение оценок за все выданные домашние задания. Оценка за самостоятельную работу рассчитывается как среднее значение оценок за все проверочные работы, проведенные на семинарских занятиях. В конце семестра разрешается переписать все самостоятельные работы, пропущенные по уважительной причине.

Студенту, получившему отличную накопленную оценку, данная оценка может быть выставлена в качестве итоговой при условии, что им набрано не менее 10 дополнительных баллов. Дополнительные баллы выставляются за выполнение дополнительных частей домашних заданий, имеющих повышенную сложность и не участвующих при выставлении накопленной оценки.

12 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1 Основная литература

1. Натан А. А., Горбачёв О. Б., Гуз С. А. Основы теории случайных процессов // М.: МЗ-Пресс. – 2003.
2. Вальд, А. Последовательный анализ. — М.: Физматлит, 1960.
3. Ширяев А. Н. Вероятностно-статистические методы в теории принятия решений. – М.: МЦНМО, 2015.



4. Box G. E. P. et al. Time series analysis: forecasting and control. – John Wiley & Sons, 2015.
5. Hyndman, R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. — OTexts, 2016.
<https://www.otexts.org/book/fpp>
6. Basseville M. et al. Detection of abrupt changes: theory and application. – Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1993.
7. Прохоров А. В., Ушаков В. Г., Ушаков Н. Г. Задачи по теории вероятностей. – М.: «Наука», 2013.
8. Мешалкин Л. Д. Сборник задач по теории вероятностей. – М.: изд-во Московского университета, 1963.
9. Ивченко Г. И., Медведев Ю. И., Чистяков А. В. Сборник задач по математической статистике. – М.: Высшая школа, 1989.
10. Зубков А. М., Севастьянов Б. А., Чистяков В. П. Сборник задач по теории вероятностей. – М.: «Наука», 1989.

12.2 Дополнительная литература

1. Гихман И. И., Скороход А. В. Введение в теорию случайных процессов. – 1977.
2. Липцер Р. Ш., Ширяев А. Н. Статистика случайных процессов. Нелинейная фильтрация и смежные вопросы. – М.: «Наука», 1974.
3. Gustafsson F. Adaptive filtering and change detection. – New York : Wiley, 2000.