



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Анализ и прогнозирование временных рядов: методы и приложения»
для образовательной программы подготовки магистра «Науки о данных»
направления подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика

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

Факультет компьютерных наук
Департамент анализа данных и искусственного интеллекта

**Рабочая программа дисциплины
«Анализ и прогнозирование временных рядов: методы и приложения»**

для образовательной программы «Науки о данных»
направления подготовки 01.04.02
Прикладная математика и информатика
уровень - магистр

Разработчик программы

Громов В.А., доктор физико-математических наук, профессор, vgromov@hse.ru

Одобрена на заседании департамента анализа данных и искусственного интеллекта

«__»_____ 2018 г.

Руководитель департамента С.О. Кузнецов_____

Утверждена Академическим советом образовательной программы

«__»_____ 2018 г., № протокола _____

Академический руководитель образовательной программы С.О. Кузнецов_____

Москва, 2018

*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 данную дисциплину, и студентов первого года обучения по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика», обучающихся по магистерской программе «Науки о данных» и выбравших для изучения данную дисциплину.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом ВПО ГОБУ НИУ ВШЭ;
- Образовательной программой «Науки о данных» подготовки магистра направления 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»;
- Рабочим учебным планом подготовки магистра по направлению 01.04.02, утвержденным в 2015 г.

2 Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Анализ и прогнозирование временных рядов: методы и приложения» являются изучения моделей прогноза регулярных и хаотических временных рядов, а также приложений данной теории к прогнозированию поведения финансовых, природных и социальных систем, решению задач мобильного здоровья.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент осваивает компетенции:

Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Уровень формирования компетенции	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции	Форма контроля уровня сформированности компетенции
Способен рефлексировать (оценивать и перерабатывать) освоенные научные методы и способы деятельности.	СК-1	РБ, СД	Обосновывает, интерпретирует и оценивает применимость различных прогнозных моделей для анализа реальных временных рядов.	Лекции, семинары	Экзамен
Способен анализировать и воспроизводить смысл междисциплинарных текстов с использованием языка и ап	ПК-10	СД	Понимает, алгоритмически интерпретирует, и программно реализует математические модели для регу-	Лекции, семинары, выполнение лабораторных	Экзамен, л.р.



Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Уровень формирования компетенции	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции	Форма контроля уровня сформированности компетенции
парата прикладной математики.			лярных и хаотических рядов	работ	
Способен использовать в профессиональной деятельности знания в области естественных наук, математики и информатики, понимание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой.	ПК-16	РБ, СД	Идентифицирует реальные временные ряды, как регулярные, так и хаотические, отыскивает их характеристики, прогнозирует на один и много шагов вперед	Лекции, семинары, выполнение лабораторных работ	Экзамен, л.р.
Способен строить и решать математические модели в соответствии с направлением подготовки и специализацией.	ПК-17	РБ, СД	Строит математические модели динамического поведения природных и социальных систем, соотносит их с поведением реальных систем	Лекции, семинары, выполнение лабораторных работ	Экзамен, л.р.
Способен понимать и применять в исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат.	ПК-18	РБ, СД	Понимает и использует в исследовательской деятельности основные понятия и методы теории динамических систем, различных методологий прогнозирования регулярных и хаотических рядов	Лекции, семинары, выполнение лабораторных работ	Экзамен, л.р.

4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к циклу/блоку дисциплин Вариативная часть специализации ИССА и ТМСС.

Для специализаций ИССА и ТМСС настоящая дисциплина является дисциплиной по выбору.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах:

- Теория вероятностей и математическая статистика
- Современные методы анализа данных

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

- знание базовых статических моделей;
- знание базовых моделей регрессионного и корреляционного анализа;



- знание основных концепций и методов теории обыкновенных дифференциальных уравнений.

Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	Другие виды работы ¹	
1	Прогнозирование в моделях регрессии	21	8	4			9
2	ARIMA-модели	62	8	4			50
3	Прогнозирование хаотических временных рядов	62	8	4			50
4	Элементы нелинейной динамики	62	8	4			50
5	Оценка горизонта стационарности	21	8	4			9

5 Формы контроля знаний студентов

Тип контроля	Форма контроля	1 год				Параметры **
		1	2	3	4	
Текущий	Лабораторная работа	*	*			Сдаются в конце соответствующего модуля
Итоговый	Экзамен		*			Устный

6 Критерии оценки знаний, навыков

Лабораторная работа № 1 (1-й модуль) предполагает получение характеристик и построение прогнозов для простейших регулярных рядов: случайное блуждание, AR- и ARIMA-модели (*Компетенции*: СК-1, ПК-10, ПК-16, ПК-17).

0-4 балла. Представлены ряды, вычислены их характеристики, неидентифицированы модели.

5-7 баллов. Осуществлена идентификация модели, получены оценки параметров, но не представлен прогноз.

8-10 баллов. Представлены прогнозные значения.

Лабораторная работа № 2 (2-й модуль) предполагает получение характеристик и построение прогнозов для простейших хаотических рядов: ряд Лоренца (классический и отвечающий случаю частично предсказуемого хаоса), а также реальные финансовые ряды. (*Компетенции*: СК-1, ПК-10, ПК-16, ПК-18).

0-4 балла. Представлены ряды, вычислены оценки старшего показателя Ляпунова, горизонта прогнозирования.

5-7 баллов. Представлены прогнозные значения для прогноза на один шаг вперёд.

8-10 баллов. Представлены прогнозные значения для прогноза на много шагов вперёд.



7 Содержание дисциплины

Раздел 1. Прогнозирование в моделях регрессии.

ТЕМА 1. Прогнозирование в моделях регрессии. Безусловное прогнозирование. Условное прогнозирование. Прогнозирование при наличии авторегрессии ошибок.

Лекций – 4, семинарских занятий – 0

ТЕМА 2. Метод максимального правдоподобия в моделях регрессии. Свойства оценок максимального правдоподобия. Оценка максимального правдоподобия в линейной модели. Проверка гипотез в линейной модели. Нелинейные ограничения.

Лекций – 4, семинарских занятий – 4

Самостоятельная работа студента (9) состоит в подготовке к семинарским занятиям (100% времени).

Литература:

1. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс. М.: Дело, 2007.
2. Fan J., Yao Q. Nonlinear Time Series: Nonparametric and Parametric methods, N.-Y., Springer, 2003.

Раздел 2. ARIMA-модели.

ТЕМА 3. Временные ряды. Динамические модели. Единичные корни и коинтеграция. Автокорреляционная и частичная автокорреляционная функции. Свойства AR(1)-процесса. Свойства автокорреляционного процесса второго порядка AR(2). Свойства процессов скользящего среднего.

Лекций – 4, семинарских занятий – 2

ТЕМА 4. ARIMA-модели. Идентификация ARIMA-моделей. Способы определения параметров моделей. Прогнозирование в ARIMA-моделях. Свойства прогнозов в простейших ARIMA-моделях. GARCH-модели.

Лекций – 4, семинарских занятий – 2

Самостоятельная работа студента (50) состоит в выполнении лабораторных работ (80% времени) и подготовке к семинарским занятиям (20% времени).

Литература:

1. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс. М.: Дело, 2007.
2. Fan J., Yao Q. Nonlinear Time Series: Nonparametric and Parametric methods, N.-Y., Springer, 2003.

Раздел 3. Элементы нелинейной динамики.

ТЕМА 5. Хаотические временные ряды. Отпечатки пальцев хаоса. Горизонт прогнозирования. Вычисление горизонта прогнозирования по временному ряду. Мультипликативная эргодическая теорема. Инвариантная мера динамической системы. Энтропия Колмогорова-Синяя: ряды, которые порождают информацию.

Лекций – 4, семинарских занятий – 4

ТЕМА 6. Реконструкция аттракторов по временным рядам. Теорема Такенса. Выбор параметров реконструкции. Свойства корреляционного интеграла. Ограничения на применимость алгоритмов нелинейной динамики. Эконофизика.

Лекций – 4, семинарских занятий – 0

Самостоятельная работа студента (50) состоит в выполнении лабораторных работ (80% времени) и подготовке к семинарским занятиям (20% времени).

Литература:

1. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: УРСС, 2002.
2. Орлов Ю.Н., Осминин К.П. Нестационарные временные ряды: Методы прогнозирования с примерами анализа финансовых и сырьевых рынков. М.: УРСС, 2018.



Раздел 4. Прогнозирование хаотических временных рядов.

ТЕМА 7. Прогнозирование на основе кластеризации (predictive clustering). Одношаговое и многошаговое прогнозирование. Алгоритмы кластеризации, используемые в данном подходе. Связь с инвариантной мерой динамической системы. Непрогнозируемые точки. Использование родственных временных рядов. Представление информации о хаотическом временном ряде с помощью тензоров специального вида.

Лекций – 2, семинарских занятий – 2

ТЕМА 8. Приложения прогнозирования на основе кластеризации. Mobile health. Фабрика по производству фигур технического анализа. Предсказание популярности тем в социальных сетях. Предсказание погоды, потребления электроэнергии. Тексты естественных языков как хаотические временные ряды.

Лекций – 2, семинарских занятий – 0

ТЕМА 9. Нейронные сети и прогнозирование временных рядов. Конструктивные нейронные сети. NEAT-модель. Сети глубокого обучения для прогнозирования временных рядов.

Лекций – 4, семинарских занятий – 2

Самостоятельная работа студента (50) состоит в выполнении лабораторных работ (80% времени) и подготовке к семинарским занятиям (20% времени).

Литература:

1. Stanley K.O., Miikkulainen R. Evolving Neural Networks through Augmenting Topologies Evolutionary Computation; 2002 10(2): 99-127

Раздел 5. Оценка горизонта стационарности.

ТЕМА 10. Горизонт стационарности. Нестационарные временные ряды. Понятие о горизонте стационарности. Определение квазистационарных выборочная плотность функции распределения. Критерий близости двух выборочных плотностей. Оценка минимального объема выборки. Горизонтные ряды. Выборочная плотность стационарного горизонтного ряда.

Лекций – 2, семинарских занятий – 2

ТЕМА 11. Предвестники бифуркации и временные ряды. Понятие предвестника бифуркации. Различные подходы к определению предбифуркационных состояний по временному ряду.

Лекций – 2, семинарских занятий – 2

ТЕМА 12. Предсказательная сложность. Обучаемость и предсказуемость. Обучение в случае распределения, допускающего параметризацию. За пределами параметризуемости: общие соображения. За пределами параметризуемости: модельный процесс.

Лекций – 4, семинарских занятий – 0

Самостоятельная работа студента (9) состоит в подготовке к семинарским занятиям (100% времени).

Литература:

1. Орлов Ю.Н., Осминин К.П. Нестационарные временные ряды: Методы прогнозирования с примерами анализа финансовых и сырьевых рынков. М.: УРСС, 2018.
2. W. Bialek, I. Nemenman, N. Tishby Predictability, complexity and learning [Neural Comput.](#) 2001;13(11):2409-63

8 Образовательные технологии

В рамках курса предусмотрены компьютерные симуляции, демонстрирующие поведение реальных временных рядов, разбор практических задач.



9 Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

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

Примерный перечень вопросов к экзамену:

1. Основные понятия теории динамических систем.
2. Хаотические временные ряды. Отпечатки пальцев хаоса. Горизонт прогнозирования. Инвариантная мера динамической системы. Мультипликативная эргодическая теорема.
3. Теорема Такенса. Выбор параметров реконструкции.
4. Горизонт прогнозирования. Ляпуновский показатель. Вычисление ляпуновского показателя в случае анализа систем, заданных аналитически.
5. Горизонт прогнозирования. Ляпуновский показатель. Вычисление ляпуновского показателя по временному ряду. Метод аналога. Фрейм-разложение.
6. Энтропия Колмогорова-Синяя: ряды, которые порождают информацию.
7. Прогнозирование на основе кластеризации. Общие идеи.
8. Метод Уишарта.
9. Метод Зана. Метод Гата-Гевы.
10. Методы, на основе принципа бутылочного горлышка.
11. Нейронные сети и прогнозирование временных рядов. Конструктивные нейронные сети. NEAT-модель.
12. Прогнозирование в моделях регрессии. Безусловное прогнозирование. Условное прогнозирование. Прогнозирование при наличии авторегрессии ошибок.
13. Временные ряды. Динамические модели. Единичные корни и коинтеграция. Автокорреляционная и частичная автокорреляционная функции.
14. Временные ряды. Свойства AR(1)-процесса. Свойства автокорреляционного процесса второго порядка AR(2). Свойства процессов скользящего среднего.
15. ARIMA-модели. Идентификация ARIMA-моделей. Способы определения параметров моделей. Прогнозирование в ARIMA-моделях.
16. Горизонт стационарности. Нестационарные временные ряды. Понятие о горизонте стационарности. Оценка минимального объема выборки. Горизонтные ряды. Выборочная плотность стационарного горизонтного ряда.
17. Предсказательная сложность. Обучаемость и предсказуемость. Обучение в случае распределения, допускающего параметризацию.

9.2 Примеры заданий промежуточной аттестации

В рамках промежуточных аттестаций (после 1-го и 2-го модулей) предполагается выполнение лабораторных работ.

10 Порядок формирования оценок по дисциплине

Накопленная оценка по дисциплине рассчитывается по формуле:

Накопленная оценка по дисциплине = $0.5 * \text{Оценка за Лабораторную работу № 1} + 0.5 * \text{Оценка за Лабораторную работу № 2}$.

В диплом выставляется результирующая оценка по учебной дисциплине.

Результирующая оценка = $0.6 * \text{Накопленная оценка по дисциплине} + 0.4 * \text{Оценка на экзамене}$.

Во всех случаях округление осуществляется арифметически.



11 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

11.1 Базовый учебник

1. Малинецкий, Г.Г., Потапов, А.Б. (2002). Современные проблемы нелинейной динамики. Эдиториал УРСС.

11.2 Основная литература

2. Fan, J., Yao, Q. (2003). Nonlinear Time Series: Nonparametric and Parametric methods. Springer International Publishing.
3. Магнус, Я.Р., Катышев, П.К., Пересецкий, А.А. (2007). Эконометрика. Начальный курс. Дело.
4. Орлов, Ю.Н., Осминин, К.П. (2018). Нестационарные временные ряды: Методы прогнозирования с примерами анализа финансовых и сырьевых рынков. Эдиториал УРСС.

11.3 Дополнительная литература

5. Unpingco, J. (2014). Python for Signal Processing. Springer International Publishing.
6. Prandoni, P., Vetterli, M. (2008). Signal processing for communications. Taylor and Francis Group.

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для лекций и семинаров используется проектор.