

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе и  
образовательным инновациям

О. И. Чуприс  
(И.О.Фамилия)

27.08.2018

Регистрационный № УД 5236 /уч.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАДИОФИЗИЧЕСКИХ  
СИСТЕМАХ**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 80 07 Радиофизика

2018 г.

программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31  
80 07-2012 «Радиофизика», учебного плана УВО  
№ G31-284/уч. от 26.05.2017 г.

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

Константин Владимирович КОЗАДАЕВ, доцент кафедры интеллектуальных систем Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

Александр Васильевич КУРОЧКИН, ассистент кафедры интеллектуальных систем Белорусского государственного университета

Екатерина Александровна ГОЛОВАТАЯ, ассистент кафедры интеллектуальных систем Белорусского государственного университета

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой интеллектуальных систем

(протокол № 12 от 06.06.2018 г.);

Учебно-методической комиссией факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета

(протокол № 10 от 19.06.2018 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа дисциплины по выбору специальной подготовки «Интеллектуальные технологии в радиофизических системах» разработана в соответствии с требованиями образовательного стандарта по специальности 1-31 80 07 «Радиофизика». Программа предназначена для магистрантов дневной формы получения высшего образования.

**Целью изучения** данной учебной дисциплины является освоение современных подходов к интеллектуальной обработке цифровых сигналов различной природы с использованием методов статистического анализа, теории информации, вероятностного и машинного обучения

**Основная задача дисциплины** – сформировать представление о задачах интеллектуальной обработки сигналов; рассмотреть основные области применения; представить и научить применять подходы и методы для практической реализации систем обработки сигналов с использованием машинного и глубокого обучения.

Для успешного усвоения данной учебной дисциплины необходимы знания по дисциплинам «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Цифровая обработка сигналов», «Теория информации», «Программирование» в объеме программы высшей школы.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен **знать:**

- теоретические основы работы современных подходов и методов машинного обучения в обработке сигналов;
- основные области применения методов вероятностного машинного обучения, машинного обучения с учителем и без учителя;
- особенности предварительной обработки цифровых сигналов для последующего применения в системах машинного обучения

**уметь:**

- реализовывать предварительную обработку цифровых сигналов для последующего применения в системах машинного обучения;
- применять подходы построения систем машинного обучения для решения задач прогнозирования, классификации и кластеризации, распознавания образов;

**владеть:**

- основными методами прикладного интеллектуального анализа цифровых сигналов, в том числе методами машинного обучения с учителем и без учителя, системами нечеткого вывода.

**Формируемые компетенции:**

- ПК-7. Работать с научно-технической информацией с использованием современных информационных технологий.
- ПК-8. Разрабатывать и совершенствовать радиофизические методы исследований.
- ПК-11. Разрабатывать численные алгоритмы и программы

- ПК-12. Обосновывать достоверность полученных результатов.
- ПК-13. Формулировать выводы и рекомендации по применению результатов научно-исследовательской работы.
- ПК-19. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям информационной безопасности, инновационным технологиям, проектам и решениям.

В соответствии с учебным планом на изучение дисциплины в 3 семестре отведено всего 124 часа, в том числе 50 аудиторных часов, из них лекции – 20 часов, лабораторные работы – 20 часов, управляемая самостоятельная работа – 10 часов. Форма текущей аттестации – зачет в 3 семестре.

Зачетные единицы – 3,5.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

- 1. Введение.** Основные определения. История развития интеллектуальных технологий обработки данных. Машинное обучение и обработка сигналов. Области применения в радиофизических системах. Поточковая обработка и обработка больших объемов данных.
- 2. Предварительная обработка сигналов.** Частотные преобразования. Фильтрация и свертка. Методы извлечения, описания и сравнения локальных признаков сигнала. Моделирование и статистическая декомпозиция сигналов. Интеллектуальный синтез сигналов.
- 3. Принципы теории информации в машинном обучении.** Относительная и взаимная энтропия. Оценка максимума правдоподобия. Субмодулярность энтропии и взаимной информации. Кластеризация на основе энтропии. Оценки энтропии, взаимной информации и распределений. Минимизация эмпирического риска. Классификация на основе гистограмм и деревьев принятия решений. Гауссовы каналы и проблема коктейльной вечеринки. Минимаксная оптимизация.
- 4. Вероятностное машинное обучение.** Вероятностные модели. Параметрическая и структурная неопределенность. Марковские процессы и скрытые марковские модели. Байесова оптимизация. Наивный байесовский классификатор. Непараметрическое байесово обучение. Системы вероятностного вывода. Метод опорных векторов.
- 5. Нейросетевое машинное обучение.** Нейронные сети прямого распространения. Функции активации. Методы обучения нейронных сетей. Градиентный спуск и его модификации, метод Ньютона и квазиньютоновские методы, линейный и нелинейный метод сопряженных градиентов, комбинированные методы обучения. Специализированные архитектуры нейронных сетей: рекуррентные нейронные сети, автоэнкодеры, генеративные сети, сети с памятью и т.д. Глубокое обучение на основе нейронных сетей, сверточные нейронные сети. Анализ работы сети, регуляризация параметров.
- 6. Машинное обучение без учителя.** Сингулярное разложение матриц, метод главных компонент, линейное и нелинейное понижение размерности. Иерархическая и неиерархическая кластеризация. Метод дендрограмм, алгоритм максимизации ожидания. Задача поиска аномалий. Нейросетевые методы обучения без учителя. Самоорганизующиеся карты, глубокие сети доверия, правило Хебба и сеть Хопфилда. Оценка результатов обучения без учителя.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                                                                                                                                                                                                                | Количество аудиторных часов |                      |                     |                      |      | Количество часов<br>УСР | Форма контроля знаний                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                     |                                                                                                                                                                                                                                       | Лекции                      | Практические занятия | Семинарские занятия | Лабораторные занятия | Иное |                         |                                                           |
| 1                   | 2                                                                                                                                                                                                                                     | 3                           | 4                    | 5                   | 6                    | 7    | 8                       | 9                                                         |
| 1                   | <b>Введение</b>                                                                                                                                                                                                                       | 2                           |                      |                     |                      |      |                         |                                                           |
| 2                   | <b>Предварительная обработка сигналов</b>                                                                                                                                                                                             | 2                           |                      |                     |                      |      | 2                       | Выборочный опрос на лекции; реферат.                      |
| 3                   | <b>Принципы теории информации в машинном обучении</b>                                                                                                                                                                                 | 4                           |                      |                     |                      |      |                         |                                                           |
|                     | 3.1 Относительная и взаимная энтропия. Оценка максимума правдоподобия. Субмодулярность энтропии и взаимной информации. Кластеризация на основе энтропии.                                                                              | 2                           |                      |                     |                      |      |                         | Выборочный опрос на лекции.                               |
|                     | 3.2 Оценки энтропии, взаимной информации и распределений. Минимизация эмпирического риска. Классификация на основе гистограмм и деревьев принятия решений. Гауссовы каналы и проблема коктейльной вечеринки. Минимаксная оптимизация. | 2                           |                      |                     | 4                    |      |                         | Выборочный опрос на лекции; отчет по лабораторной работе. |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                     |   |  |  |   |  |   |                                                                    |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--|--|---|--|---|--------------------------------------------------------------------|
| 4 | <b>Вероятностное машинное обучение</b>                                                                                                                                                                                                                              | 2 |  |  | 4 |  |   | Выборочный опрос на лекции; отчет по лабораторной работе           |
| 5 | <b>Нейросетевое машинное обучение</b>                                                                                                                                                                                                                               | 6 |  |  |   |  |   |                                                                    |
|   | 5.1 Нейронные сети прямого распространения. Функции активации. Методы обучения нейронных сетей. Градиентный спуск и его модификации, метод Ньютона и квазиньютоновские методы, линейный и нелинейный метод сопряженных градиентов, комбинированные методы обучения. | 2 |  |  |   |  | 2 | Выборочный опрос на лекции; реферат.                               |
|   | 5.2 Специализированные архитектуры нейронных сетей: рекуррентные нейронные сети, автоэнкодеры, генеративные сети, сети с памятью и т.д.                                                                                                                             | 2 |  |  | 4 |  | 2 | Выборочный опрос на лекции; отчет по лабораторной работе; реферат. |
|   | 5.3 Глубокое обучение на основе нейронных сетей, сверточные нейронные сети. Анализ работы сети, регуляризация параметров.                                                                                                                                           | 2 |  |  | 4 |  | 2 | Выборочный опрос на лекции; отчет по лабораторной работе; реферат. |
| 6 | <b>Машинное обучение без учителя</b>                                                                                                                                                                                                                                | 4 |  |  |   |  |   |                                                                    |
|   | 6.1 Сингулярное разложение матриц,                                                                                                                                                                                                                                  | 2 |  |  |   |  |   | Выборочный опрос на лекции.                                        |

|  |                                                                                                                                                                                                |    |  |  |    |  |    |                                                                    |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|--|----|--|----|--------------------------------------------------------------------|
|  | метод главных компонент, линейное и нелинейное понижение размерности. Иерархическая и неиерархическая кластеризация. Метод дендрограмм, алгоритм максимизации ожидания.                        |    |  |  |    |  |    |                                                                    |
|  | 6.2 Задача поиска аномалий. Нейросетевые методы обучения без учителя. Самоорганизующиеся карты, глубокие сети доверия, правило Хебба и сеть Хопфилда. Оценка результатов обучения без учителя. | 2  |  |  | 4  |  | 2  | Выборочный опрос на лекции; отчет по лабораторной работе; реферат. |
|  | Всего:                                                                                                                                                                                         | 20 |  |  | 20 |  | 10 |                                                                    |



## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень рекомендуемой литературы

#### *Основная*

1. Bishop, C. M., Pattern recognition and machine learning / C. M. Bishop. –New York: Springer, 2016. – 738 p.
2. Николенко, С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадурын, Е. Архангельская. – СПб: Питер Мейл, 2018. – 480 с.
3. Goodfellow, I. Deep learning / I. Goodfellow, A. Courville. – Cambridge, MA: MIT Press, 2016. – 800 p.
4. Ross, T. J. Fuzzy Logic With Engineering Applications / T. J. Ross. – Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 3<sup>rd</sup> ed., 2010. – 584 p.
5. Ghahramani, Z. Unsupervised Learning / Z. Ghahramani. – Gatsby Computational Neuroscience Unit University College London, 2004. – 32 p.
6. Barber, D. Bayesian Reasoning and Machine Learning. – D. Barber, University College London, 2012. – 735 p.
7. Koller, D. Probabilistic Graphical Models / D. Koller, N. Friedman. – The MIT Press, 2009. – 1270 p.

#### *Дополнительная*

1. Rojas, R. Neural Networks. A systematic introduction. / R. Rojas, J. Feldman. – Berlin: Springer Science & Business Media, 1996. – 502 p.
2. Segaran, T. Programming Collective Intelligence: Building Smart Web 2.0 Applications / T. Segaran. – O'Reilly Media, 2008. – 368 p.
3. Grus, J. Data Science from Scratch: First Principles with Python / J. Grus. – O'Reilly Media, 2015. – 330 p.
4. Рашид, Т. Создаём нейронную сеть. / Т. Рашид. – М: Вильямс, 2017. – 272 с.
5. Raschka, S. Python Machine Learning: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow / S. Raschka. – Packt Publishing – ebooks Account; 2<sup>nd</sup> edition, 2017. – 622 p.

## **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАНИЙ УСР**

1. Библиотеки `scipy` для языка программирования Python.
2. Цифровая обработка сигналов с использованием `scipy.signal`.
3. Использование библиотеки OpenCV в Python для обработки изображений.
4. Платформа машинного обучения Tensorflow.
5. Параллельные вычисления на видеопроцессоре с использованием NVidia CUDA.

## **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ РЕФЕРАТОВ**

1. Методы адаптивной фильтрации сигнала на основе систем машинного обучения.
2. Адаптивное детектирование и обработка сигналов с амплитудно-импульсной и фазово-импульсной модуляцией.
3. Нелинейное уменьшение размерности с использованием диффузионных карт.
4. Алгоритм имитации отжига.
5. Использование байесова вывода в моделировании сигналов и оценке параметров неизвестного сигнала.
6. Интеллектуальный поиск аномалий в цифровом сигнале на основе спектрального анализа.
7. Графовые методы кластеризации.
8. Обучение по ассоциативным правилам (association rule learning).
9. Рекомендательные системы и машинное обучение на основе подобию (similarity learning).
10. Алгоритм нечеткого вывода на основе количественного ассоциативного правила (FI-QAR).

## **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Разделение многоканального аудиосигнала с использованием метода независимых компонент.
2. Сегментация, детектирование и классификация речевых сигналов с использованием скрытых Марковских моделей.
3. Жанровая классификация аудиофайлов на основе систем глубокого обучения.
4. Классификация и локализация объектов изображений с использованием сверточных нейронных сетей.
5. Нейросетевое определение последовательности частотных скачков для детектирования сигнала bluetooth.

## **ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ**

С целью текущего контроля знаний и умений студентов по учебной дисциплине используются следующие диагностические средства:

- Выборочный опрос на лекциях;
- Отчеты по лабораторным работам;
- Обсуждение рефератов, презентаций и докладов студента, подготовленных по результатам выполнения лабораторных работ, УСР и самостоятельной работе по индивидуальным заданиям в рамках тематики учебной дисциплины.

Оценивание результатов выполнения лабораторных работ, заданий УСР и выполнения рефератов проводится в соответствии с критериями оценки знаний и компетенций студентов по 10-балльной шкале, изложенными в письме Министерства образования Республики Беларусь №21-04-1/105 от 22.12.2003 г.

Оценка текущей успеваемости определяется как средняя по оценкам лабораторных работ, управляемой самостоятельной работе и рефератам.

## **МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ**

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29.05.2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 г. № 382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003 г.)

Итоговый контроль усвоения дисциплины проводится в форме устного собеседования.

Итоговая оценка «зачтено» по дисциплине может быть выставлена студентам, получившим среднюю оценку по результатам итогового собеседования, лабораторным работам, рефератам и управляемой самостоятельной работе не ниже, чем «четыре».

Изложение лекционных материалов рекомендуется сопровождать примерами, иллюстрационным материалом и тестовыми заданиями с контрольными вопросами для закрепления понятий и терминов, устными фронтальными опросами на лекциях. Для успешного выполнения лабораторных работ студентам предлагается предварительно ознакомиться с описанием заданий, соответствующей теоретической частью курса, содержанием рекомендованной литературы. В целях формирования и развития у студентов навыков самоуправления, коммуникативных и

организационно-управленческих умений, а также приобретения опыта командного решения поставленных задач, предлагается организовывать группы студентов численностью до 3 человек для выполнения лабораторных работ. Лабораторные работы выполняются на компьютерах с использованием ресурсов сети Интернет, в средах математических пакетов, отчет подготавливается также на бумажном носителе. Управляемая самостоятельная работа студентов организуется в рамках выполнения лабораторных работ. Формой отчетности по итогам выполнения заданий УСР является реферат (на бумажном носителе).