

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
( Н И У « Б е л Г У » )

УТВЕРЖДАЮ

Директор института инженерных и  
цифровых технологии



К.А. Польщиков

18.05.2022

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Теория байесовских сетей**

наименование дисциплины

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки

Направление подготовки 09.04.03 Прикладная информатика

Профиль подготовки Искусственный интеллект и наука о данных

Автор: Доцент, к.т.н. Абрамов Максим Викторович, профессор, д.ф.-м.н. профессор  
Тулупьев Александр Львович, доцент, к.псих.н. доцент Тулупьева Татьяна  
Валентиновна

должность, ученая степень, ученое звание, инициалы и фамилия

Программа одобрена Кафедрой прикладной информатики информационных технологий

Протокол заседания кафедры от 06.04.2022 № 8

дата

Программа согласована Кафедрой прикладной информатики и информационных  
технологий

Протокол заседания кафедры от 06.04.2022 № 8

дата

## **Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

### **1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Обучение методам теоретической информатики; развитие у обучающихся доказательного, логического мышления; подготовка к восприятию других дисциплин в области информатики и искусственного интеллекта; подготовка обучающихся к участию в проектировании и разработке информационных систем с байесовской интеллектуальной компонентой. Обучающиеся должны овладеть навыками применения объектов и результатов базовых теорий для описания и исследования объектов в теории байесовских сетей, а именно алгебраических байесовских сетей (АБС) и байесовских сетей доверия (БСД), а также овладеть системой понятий, результатов и алгоритмов, формирующих теорию указанных видов байесовских сетей. Кроме того, обучающиеся должны подготовиться к изучению других видов вероятностных графических моделей: скрытых марковских моделей, динамических байесовских сетей, тропинчатых моделей, стохастических булевых сетей.

Поскольку в магистратуре обучается уже сформировавшийся профессионал с высшим образованием, цели, задачи, содержание дисциплины, формы взаимодействия и содержания контрольных мероприятий, а также иные аспекты учебной дисциплины и связанных с ней аспектов учебного процесса, включая содержание, процесс и формы аттестации по учебной дисциплине, могут по усмотрению преподавателя быть адаптированы в стремлении учесть частично или полностью индивидуальные цели и задачи подготовки в рамках магистерской программы каждого обучающегося и (или) группы/подгруппы обучающихся, а также индивидуальные и(или) групповые особенности обучающихся.

### **1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Для достижения максимальной эффективности Программы требуется выполнение следующих условий: обучающийся владеет базовыми навыками программирования на языке высокого уровня, математики, имеет представление о принципах проектной работы и работе с системами управления базами данных.

### **1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

Дисциплина участвует в формировании компетенций обучающихся по образовательной программе, установленных учебным планом для данной дисциплины

Результатами обучения являются следующие практические знания, умения и навыки:

- знания**
- комплекса релевантных элементов базовых теорий (теории вероятности и математической статистики, линейной алгебры, теории оптимизации, теории графов, вероятностной логики, интервальной математики);
  - иерархии структур алгебраических байесовских сетей и байесовских сетей доверия как вероятностных графических моделей;
  - системы видов вывода в указанных байесовских сетях (проверки и поддержания непротиворечивости, априорного вывода, апостериорного вывода и др.);
  - системы алгоритмов, реализующих указанные виды вывода, а также свойств результатов вывода и объектов, использованных в разработке таких алгоритмов;
  - подходов к автоматизации синтеза байесовских сетей (машинного обучения байесовских сетей);

- открытые вопросы теории байесовских сетей и родственных моделей.

**умения**

- применять байесовские сети для моделирования систем знаний о предметной области;
- доказывать математические утверждения из теории байесовских сетей;
- проектировать комплексы программ и(или) их компоненты с интеллектуальной составляющей, основанной на использовании байесовских сетей.

**навык**

**и**

- применения прикладных программных библиотек, реализующих операции и объекты, относящиеся к релевантным разделам базовых теорий;
- применения прикладных программных библиотек и(или) комплексов программ, реализующих представления байесовских сетей и алгоритмы их обработки, представленных в соответствующих теориях;
- взаимодействия с коллегами, работы в коллективе.

Глубоко разбираться в содержании дисциплины «Теория байесовских сетей». Уметь ориентироваться в информационных источниках по проблематике байесовских сетей. Владеть способами применения теоретических знаний и изученных прикладных программных библиотек в проектировании и разработки комплексов программ.

Дисциплина способствует формированию следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения, обеспечивающие формирование компетенции	Код индикатора и индикатор достижения универсальной компетенции
ОПК-3 — Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями	<b>Знать:</b> принципы, методы и средства анализа и структурирования профессиональной информации <b>Уметь:</b> применять методы и средства анализа и структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров	ОПК-3.1. Знает принципы, методы и средства анализа и структурирования профессиональной информации
ОПК-7 — Способен использовать методы научных исследований и математического моделирования в области проектирования и управления информационными системами	<b>Уметь:</b> осуществлять методологическое обоснование научного исследования <b>Знать:</b> методы научных исследований и математического моделирования	ОПК-7.2. Умеет осуществлять методологическое обоснование научного исследования
ПКП-3-ИИР-ОПК-3. Способен использовать методы научных	умеет: применять логические методы и приемы научного исследования;	ПКП-3-ИИР-ОПК-3.1. Применяет логические методы и приемы

<p>исследований и математического моделирования в области проектирования и управления системами искусственного интеллекта</p>	<p>методологические принципы современной науки, концепции, источники знания и приемы работы с ними; основные метода научного познания; программно-целевые методы решения научных проблем  знает: логические методы и приемы научного исследования; методологические принципы современной науки, направления, концепции, источники знания и приемы работы с ними; основные особенности научного метода познания; программно-целевые методы решения научных проблем; основы моделирования управленческих решений; динамические оптимизационные модели; математические модели оптимального управления для непрерывных и дискретных процессов, их сравнительный анализ; многокритериальные методы принятия решений в профессиональной деятельности</p>	<p>научного исследования, методологические принципы современной науки, направления, концепции, источники знания и приемы работы с ними, основные особенности научного метода познания, программно-целевые методы решения научных проблем в профессиональной деятельности</p>
---	--	--

#### **1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

В качестве активных форм обучения предполагается презентация докладов обучающимися, решение задач с последующим обсуждением в аудитории, презентация программных проектов, в которых применяются байесовские сети или в которых реализуются изучаемые алгоритмы, разного масштаба. В качестве интерактивных форм обучения предлагаются дискуссии по изучаемому во время лекции материалу, обсуждение представленных в аудитории докладов и проектов, обмен мнениями по активным исследованиям в области байесовских сетей и родственных вероятностных графических моделей. Кроме того, в зависимости от подготовки учебной группы развивающие задания, проверочные и контрольные работы также могут выполняться в командной или проектной форме, что является еще одной интерактивной формой учебных занятий. При высоком уровне подготовки учебной группы, обеспеченностью учебником и учебными пособиями, а также доступом к отечественным и зарубежным коллекциям полных текстов научных публикаций по тематике дисциплины по усмотрению преподавателя активная и (или) интерактивная форма может быть выбрана для любого занятия по дисциплине, в том числе по всем предусмотренным аудиторным (или контактными) занятиям. Общий объём — 10 ак. часов.

## Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий

### 2.1. Организация учебных занятий

#### 2.1.1 Основной курс

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся																		
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Контактная работа обучающихся с преподавателем										Самостоятельная работа			Объём активных и пассивных занятий	Трудоёмкость			
	лекции	семинары	консультации	практические	лабораторные	контрольные	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная	итоговая	под руководством преподавателя	сам. раб. с материалами	текущий контроль			промежуточная	итоговая	
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>																		
Форма обучения: очная																		
Семестр 1	30		2	16					2				58		36		10	4
	1-8		1-8	1-8					1-8				1-1		1-1			
<b>ИТОГО</b>	30		2	16					2				58		36			4

Формы текущего контроля успеваемости, виды промежуточной и итоговой аттестации			
Период обучения (модуль)	Формы текущего контроля успеваемости	Виды промежуточной аттестации	Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)
<b>ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ</b>			
очная форма обучения			
Семестр 1		экзамен	

### 2.2. Структура и содержание учебных занятий

Период обучения (модуль): Семестр 1

№ п/п	Наименование темы (раздела, части)	Вид учебных занятий	Количество часов
I.	ЭЛЕМЕНТЫ БАЗОВЫХ ТЕОРИЙ	лекции	3
		практические занятия	5
		по методическим материалам	
II.	ФРАГМЕНТ ЗНАНИЙ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ. ЛОКАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫВОДА.	лекции	4
		практические занятия	4
		по методическим материалам	
III.		лекции	4

	АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ БАЙЕСОВСКИЕ СЕТИ. ГЛОБАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫВОДА.	практические занятия	5
		по методическим материалам	
IV.	БАЙЕСОВСКИЕ СЕТИ ДОВЕРИЯ. АЛГОРИТМЫ ИХ ОБРАБОТКИ.	лекции	3
		практические занятия	
		по методическим материалам	
V.	ПРОБЛЕМЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ.	лекции	2
		практические занятия	
		по методическим материалам	
VI.	ПРИКЛАДНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ БИБЛИОТЕКИ	лекции	
		практические занятия	4
		по методическим материалам	
VII.	Промежуточная аттестация	консультация	2
		промежуточная аттестация (сам.раб.)	36
		промежуточная аттестация (экзамен)	2

В зависимости от степени подготовленности группы, индивидуальных или групповых потребностей обучающихся состав и содержание тем, а также распределение часов между темами, видами и формами учебных занятий могут быть модифицированы частично или полностью по усмотрению преподавателя.

### **Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

#### **3.1. Методическое обеспечение**

##### **3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Успешное освоение дисциплины возможно благодаря посещению лекций и практических занятий и (или) участию в иных формах контактной работы по выбору преподавателя, а также участию в обсуждении рассматриваемых вопросов, самостоятельной работе, включающей в себя чтение специальной литературы и анализ других информационных источников по разделам темы, выполнению докладов на заданную тему, применению изученных навыков на практических занятиях. В результате должен быть представлен индивидуально согласованный результат освоения дисциплины (комплекс презентаций, документов, файлов, программных и (или) теоретических разработок, иных свидетельств учебных и профессиональных достижений). Учитывая динамику развития соответствующих научных, научно-технических и производственных областей, учебно-методический комплекс по дисциплине должен регулярно (ежегодно или чаще) развиваться, обновляться, пополняться и адаптироваться, в том числе, должен быть обеспечен учебником по теоретическим основам дисциплины, а также учебными пособиями по аспектам, разделам дисциплины или их частям; кроме того, должны быть сформированы самостоятельные учебные или учебно-методически пособия с заданиями, задачами, упражнениями, темами проектов и иным обеспечением семинарских и практических занятий, практик, проектов и научно-исследовательской и выпускной квалификационной видов работ.

##### **3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Самостоятельная работа обучающегося, как вид деятельности, стимулирующий активность, самостоятельность, познавательный интерес с целью поиска необходимой информации, приобретения знаний, использования этих знаний для решения учебных, научных и профессиональных задач, представляет собой важную составляющую учебного

процесса. Время, отводимое на самостоятельную работу, должно использоваться обучающимися для наиболее полного освоения учебной дисциплины. Следовательно, организация эффективной внеаудиторной самостоятельной работы в процессе обучения требует, с одной стороны, создание условий, призванных обеспечить рациональное и планомерное управление учебной деятельностью, протекающей в отсутствие преподавателя, и тщательной подготовки учебника и целого ряда учебных пособий, снабженных методическими указаниями, с другой стороны.

Роль преподавателя в организации самостоятельной работы состоит в координации действий обучающихся в освоении дисциплины, в методическом и организационном обеспечении учебного процесса. Взаимодействие между преподавателем и обучающимся осуществляется в форме консультаций, как очных, так и дистанционных с использованием современных социальных сетей для организации самостоятельной работы обучающихся. Преподаватели также оказывают помощь обучающимся по планированию и организации самостоятельной работы.

### **3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Промежуточная аттестация проходит в форме презентаций проекта, а также учитывает показатели работы слушателей курса в течение семестра. Критерии оценивания формируются исходя из данных показателей: 1) посещаемость и работа на занятиях, 2) выполнение самостоятельных работ с использованием методических материалов, готовность к занятиям, 3) разработка и защита собственного проекта, 4) прохождение теста. Правила защиты проекта (подготовки презентации и устного доклада) доводятся на одном из занятий в течение чтения дисциплины, отклонения от этих правил приводит к уменьшению баллов за презентацию и устного доклада от 1 до 21 баллов. Преподаватель имеет право добавлять дополнительные баллы за выдающиеся успехи обучающегося.

Распределение баллов по видам активности:

Посещение занятий и активная работа на них	19 баллов
Выполнение самостоятельных работ, готовность к занятиям	12 баллов
Итоговый проект	64 балла
Тест	5 баллов

Итоговый проект оценивается в соответствии со следующими критериями:

Проект выполнен полностью, представлен текст отчёта, презентация по проекту, сделан и защищен доклад	64 балла
Проект выполнен полностью, представлен текст отчёта, презентация по проекту, но устный доклад представлен не был	42 балла
Проект выполнен полностью, но представлен только текст отчёта	26 баллов
В остальных случаях	0 баллов

Максимальное количество баллов, которое может получить студент за изученный курс, составляет 100 баллов. Приведённые выше баллы указывают максимальные баллы, которые может получить слушатель по тому или иному показателю работы, из принятых по данной дисциплине.

Для определения итоговой оценки используется следующая взаимосвязь шкал оценивания:

Итоговое количество баллов	Оценка ECTS	Оценка при проведении зачёта
от 90 до 100	A	отлично
от 80 до 89	B	хорошо
от 70 до 79	C	

от 61 до 69	D	удовлетворительно
от 50 до 60	E	
менее 50	F	неудовлетворительно

Преподаватель имеет право предоставить информацию о задолженностях студента в аттестационную комиссию.

### **3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

В течение семестра обучающийся должен выполнить указания преподавателя по различным видам работы и подготовке к экзамену.

№	Код индикатора и индикатор достижения компетенции	Контрольно-измерительные материалы (КИМ) (тестовые вопросы, контрольные задания, кейсы и пр.)
	1	2
1	ОПК-3.1. Знает принципы, методы и средства анализа и структурирования профессиональной информации	Контрольно-измерительные материалы итогового проекта.
2	ОПК-7.2. Умеет осуществлять методологическое обоснование научного исследования	Контрольно-измерительные материалы итогового проекта.
3	ПКП-3-ИИР-ОПК-3.1. Применяет логические методы и приемы научного исследования, методологические принципы современной науки, направления, концепции, источники знания и приемы работы с ними, основные особенности научного метода познания, программно-целевые методы решения научных проблем в профессиональной деятельности	Контрольно-измерительные материалы итогового проекта.

#### **3.1.4.1. Формируемые дисциплиной компетенции**

Дисциплина способствует **формированию** следующих компетенций:

- ОПК-1 — Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.
- ОПК-7 — Способен использовать методы научных исследований и математического моделирования в области проектирования и управления информационными системами.
- ПКП-3-ИИР-ОПК-3 — Способен использовать методы научных исследований и математического моделирования в области проектирования и управления системами искусственного интеллекта, в том числе универсального (сильного) искусственного интеллекта.



✓ **Формируется дисциплиной.**

□ **Развивается дисциплиной.**

□ **Полностью сформирована по результатам освоения дисциплины.**

**Шкала оценивания:** линейная, определяется долей успешно выполненных заданий, проверяющих данные компетенции.

### **3.1.4.2. Контрольно-измерительные материалы (примеры)**

*Примеры вопросов для тестирования.*

*Пример задания для самостоятельных работ с использованием методических материалов*

1. Чтение литературы. К прочтению предлагается учебник «Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Основы теории байесовских сетей учебник. Издательство Санкт-Петербургского Государственного Университета, 2019 год, 399 с.»
2. Установить GeNIe. Построить байесовскую сеть доверия, которая поможет оценить вероятность трудоустройства студента (обсуждалась на первой паре). Все переменные считаем бинарными. Можно воспользоваться туториалом, доступным по прикрепленной ссылке.
3. Построить байесовскую сеть доверия, которая поможет оценить интенсивность рискованного поведения. Все переменные можно дискретизировать. Можно воспользоваться туториалом, доступным по прикрепленной ссылке. Ссылка на пошаговую инструкцию: <https://support.bayesfusion.com/docs/GeNIe/hello.html>.

*Пример задания для итогового проекта*

Необходимо выбрать тему и в рамках этой темы построить необходимые оценки при помощи байесовской сети доверия. Лучшее решение – построить небольшую, но демонстрирующую необходимое байесовскую сеть доверия из 5-12 узлов. Для построения необходимо использовать GeNIe. Ссылка на пошаговую инструкцию: <https://support.bayesfusion.com/docs/GeNIe/hello.html>. Сформировать текстовый отчет и презентацию с описанием реализованной байесовской сети доверия. Сделать устный доклад.

*Примерный список вопросов для проверки компетенций.*

1. Декомпозируемость системы знаний. Фрагменты знаний. Базы фрагменты знаний. Математические модели фрагментов знаний. Математические модели баз фрагментов знаний. Вероятностные графические модели, логико-вероятностные графические модели. Задачи логико-вероятностного вывода и задачи автоматического обучения.
2. Пропозиции-атомы, пропозиции-кванты, пропозиции-конъюнкты, пропозиции-дизъюнкты. Индексация указанных классов пропозиций. Идеал конъюнктов, идеал дизъюнктов. Литерал (аргументное место). Теорема о совершенной нормальной дизъюнктивной форме. Факторизация пространства пропозициональных формул по отношению эквивалентности. Канонический представитель класса эквивалентности.
3. Элементы классической теории вероятностей. Вероятностное пространство, конечное пространство исходов. Алгебра событий, база алгебры событий, дискретная плотность вероятности. Вероятность. Алгебра событий — булева алгебра. Смесь распределений. Формула Мёбиуса. Неизмеримые события, внутренняя мера вероятности и внешняя мера вероятности. Условная вероятность. Независимость и условная независимость. Теорема Байеса. Формула полной вероятности.

4. Определение вероятности истинности пропозициональной формулы с помощью возможных миров.
5. Упрощенная структура вероятностной логики по Н. Нильссону.
6. Структура вероятностной логики по Хальперну, Фейгину и Меджидо.
7. Случайный бинарный (булев) элемент. Случайная бинарная (булева) последовательность. Композиция распределений случайных бинарных последовательностей. Неединственность композиции. Операция композиции и условная независимость.
8. Меры доверия. Вероятность истинности как мера доверия. Интервальные оценки меры доверия.
9. Прямое произведений и степень матриц. Определение матриц  $I_n$  и  $J_n$ , их свойства и взаимосвязь.
10. Задачи линейного и гиперболического программирования (определение, основные элементы). Библиотеки для решения задач линейного программирования.
11. Граф. Дерево. Цепь. Основные семейства узлов графа. Граф смежности, дерево смежности, цепь смежности. Максимальный и минимальный граф смежности, их свойства. Дерево клик. Дерево сочленений.
12. Построение максимального графа смежности. Алгоритмы перебора минимальных графов смежности. Визуализация графов смежности. Метрики на минимальных графах смежности.
13. Направленный граф. Ациклический направленный граф. Виды односвязных направленных графов; многосвязные ациклические направленные граф. Моральный граф. Триангуляция морального графа. Построение по моральному графу дерева смежности и дерева сочленений.
14. Библиотека JGraph (можно охарактеризовать любую другую обладающую достаточными возможностями бесплатно доступную библиотеку, реализующую представление графов, их визуализацию и операции над ними).
15. Представление в программном коде идеалов конъюнктов и наборов квантов. Представление дерева смежности в реляционной базе данных.
16. Представление в реляционной базе данных идеалов конъюнктов и наборов квантов с атрибутами. Представление дерева смежности в программном коде.
17. Фрагмент знаний алгебраической байесовской сети. Определение и возможные операции. Скалярные и интервальные оценки вероятности истинности. Диаграммы Хассе и сокращенные обозначения. Альтернативные математические модели фрагментов знаний.
18. Непротиворечивость фрагмента знаний алгебраической байесовской сети. Связь вероятностей квантов и конъюнктов, соответствующие матрично-векторные уравнения. Алгоритмы проверки и поддержания его непротиворечивости. Согласованность (непротиворечивость), согласуемость, несогласованность (противоречивость) исходных оценок истинности. Вероятностная семантика фрагмента знаний.
19. Виды свидетельств в теории алгебраических байесовских сетей и их обработка. Вероятностная семантика свидетельства в теории алгебраических байесовских сетей.
20. Линейная комбинация непротиворечивых фрагментов знаний. Линейная оболочка непротиворечивых фрагментов знаний. Линейные комбинация и оболочка в задачах поддержки принятия решений. Накрывающая непротиворечивость, неединственность линейной оболочки противоречивых фрагментов знаний.
21. Локальный априорный вывод в теории алгебраических байесовских сетей и чувствительность его результатов. Соответствующие матрично-векторные

- уравнения. Расширенный фрагмент знаний. Алгоритм построения СДНФ пропозициональной формулы по ее записи в виде строки.
22. Непротиворечивость и локальный апостериорный вывод в альтернативных моделях фрагмента знаний, где носителем выступает идеал дизъюнктов и набор квантов. Соответствующие матрично-векторные уравнения.
  23. Две задачи апостериорного вывода в теории алгебраических байесовских сетей. Вид свидетельств и результаты апостериорно вывода. Вероятностная семантика апостериорного вывода в случае детерминированного свидетельства, поступающего во фрагмент знаний со скалярными оценками истинности. Особые случаи.
  24. Локальный апостериорный вывод в случае детерминированного свидетельства: матрично-векторные уравнения и алгоритмы.
  25. Локальный апостериорный вывод в случае стохастического свидетельства: матрично-векторные уравнения и алгоритмы.
  26. Локальный апостериорный вывод в случае неточного свидетельства: матрично-векторные уравнения и алгоритмы.
  27. Алгоритм распространения виртуального свидетельства при исходном стохастическом свидетельстве и скалярных апостериорных оценках в алгебраической байесовской сети. Вероятностная семантика этого алгоритма.
  28. Алгоритм распространения виртуального свидетельства при исходном неточном свидетельстве и интервальных апостериорных оценках в алгебраической байесовской сети. Вероятностная семантика этого алгоритма (получение накрывающих, а не точных оценок).
  29. Структура алгебраической байесовской сети и апостериорный вывод.
  30. Вероятностная семантика циклов смежности в алгебраических байесовских сетях. Преобразование циклов смежности. Проверка непротиворечивости и другие виды логико-вероятностного вывода в циклах смежности.
  31. Степени непротиворечивости алгебраической байесовской сети. Степени непротиворечивости и структура алгебраической байесовской сети. Алгоритмы проверки и поддержания алгебраической байесовской сети.
  32. Ациклические алгебраические байесовские сети: особенности структуры, вероятностной семантики и алгоритмов логико-вероятностного вывода.
  33. Глобальный апостериорный вывод в ациклической алгебраической байесовской сети со скалярными апостериорными оценками и глобальный апостериорный вывод с детерминированными свидетельствами — взаимосвязь алгоритмов указанных видов логико-вероятностного вывода.
  34. Непротиворечивость результатов локального апостериорного вывода. Возможности сокращения расчетов в локальном апостериорном выводе при поступлении детерминированного свидетельства. Согласованность результатов апостериорного вывода в цепи смежности из двух фрагментов знаний со скалярными апостериорными оценками при поступлении либо детерминированного, либо стохастического свидетельства в один из них.
  35. Байесовская сеть доверия: два определения, их эквивалентность, вероятностная семантика сети. Случайные бинарные (булевы) элементы, случайные бинарные (булевы) последовательности, случайные многозначные элементы, случайные многозначные последовательности в узлах байесовской сети доверия.
  36. Различные виды структуры байесовских сетей доверия. Преобразование байесовской сети доверия в дерево смежности. Марковская эквивалентность в байесовских сетях доверия.
  37. Семантически эквивалентный образ байесовской сети доверия (со структурой цепи, дерева и полидерева) в виде алгебраической байесовской сети.

38. Семантически эквивалентный образ байесовской сети доверия (с многосвязной структурой) в виде алгебраической байесовской сети.
39. Алгоритм первичной пропагации в байесовской сети доверия (со структурой цепи, дерева и полидерева).
40. Алгоритм первичной пропагации в байесовской сети доверия (с многосвязной структурой)
41. Компаративный анализ вероятностной семантики ациклических алгебраических байесовских сетей и байесовских сетей доверия.
42. Направленный цикл в байесовской сети доверия. Алгоритмы его преобразования. Несуществование БСД-исчисления, допускающего обработку направленного цикла при сохранении классической вероятностной семантики байесовской сети доверия. Примеры.
43. Компаративный анализ вероятностной семантики направленного цикла в байесовской сети доверия и цикла смежности в алгебраической байесовской сети. Алгоритмы проверки непротиворечивости указных объектов.
44. Вероятностная семантика линейных и циклических паттернов в байесовских сетях.
45. Различные алгоритмы генерации случайных бинарных последовательностей в алгебраических байесовских сетях и байесовских сетях доверия. Сэмплирование (генерация выборок) по Гиббсу. Стохастические алгоритмы логико-вероятностного вывода в байесовских сетях доверия. Связь этих алгоритмов с выводом в марковских сетях и стохастических булевских сетях.
46. Задачи автоматического обучения в вероятностных графических моделях: общая характеристика, постановка и примеры.
47. Сопряженные распределения (бета-распределение и распределение Дирихле) в задаче локального автоматического обучения байесовских сетей доверия и алгебраических байесовских сетей.
48. Обучение локальной структуры в байесовских сетях доверия.
49. Обучение глобальной структуры в байесовских сетях доверия.
50. Обучение глобальной структуры в алгебраических байесовских сетях. Перебор минимальных графов смежности. Особенности соответствующих алгоритмов и результатов.
51. Алгебраические байесовские сети в синтезе непротиворечивых баз фрагментов знаний по неполным, неточным, нечисловым данным.
52. Тропинчатые модели (path models).
53. Принципы Райхенбаха. Типы причинно-следственных связей.
54. Подход Райта к причинно-следственным моделям, принципы декомпозиции Райта.
55. Примеры приложений байесовских сетей и других вероятностных и логико-вероятностных графических моделей.
56. Марковские модели, модель Изинга. Сэмплирование (генерация выборки) по Гиббсу.
57. Стохастические булевы сети; булевы сети и клеточные автоматы. Индексация одномерных клеточных автоматов.
58. Принцип условной независимости в байесовских сетях.
59. Определение потенциала и операции над потенциалами. Потенциалы, условная вероятность и совместная вероятность. Операция маргинализации. Маргинализация и композиция распределений случайных бинарных последовательностей.
60. Сложность перебора структур при автоматическом обучении байесовских сетей доверия. Функционалы, оптимум которых ищется при решении задач автоматического обучения байесовских сетей доверия.

## Проверяемые компетенции: ОПК-1 ОПК-7, ПКП-3-ИИР-ОПК-3

### Список примерных тестовых вопросов:

1. Каково определение байесовской сети доверия
  - a. Результат группировки узлов, объединяемых по сходству
  - b. Результат группировки узлов, объединяемых по весу
  - c. \* Ациклический направленный граф с тензорами (таблицами) условных вероятностей в узлах
  - d. Множество узлов в графе, равноудаленных от заданного узла-центра
2. Каково определение алгебраической байесовской сети
  - a. Результат группировки точек или объектов, объединяемых по сходству
  - b. Результат группировки точек или объектов, объединяемых по весу
  - c. Ациклический направленный граф с тензорами (таблицами) условных вероятностей в узлах
  - d. \* Ненаправленный граф, в вершинах которого находятся идеалы конъюнктов с оценками вероятности истинности каждого элемента идеала.
3. Что такое фрагмент знаний
  - a. Результат группировки точек или объектов, объединяемых по сходству
  - b. Результат группировки точек или объектов, объединяемых по весу
  - c. Ациклический направленный граф с тензорами (таблицами) условных вероятностей в узлах
  - d. \* Небольшой набор тесно связанных утверждений о предметной области.
4. Что позволяет инструментарий байесовских сетей доверия
  - a. Принимать решения в условиях с неопределённостью
  - b. Делать предположения о скрытых фактах на основе видимых
  - c. Делать выводы о последствиях на основе известных фактов
  - d. \* Всё вышеперечисленное.
5. Что относится к основным составным частям байесовских сетей доверия
  - a. \* Узлы, направленные дуги, точечные оценки вероятности
  - b. Узлы, ненаправленные дуги, интервальные оценки вероятности
  - c. Узлы, ненаправленные дуги, точечные оценки вероятности
  - d. Всё вышеперечисленное.
6. Как проявляется марковское свойство в байесовских сетях доверия
  - a. \* Если родители означены, то информация об их предках не влияет на вероятность конфигурации потомков
  - b. Если мы знаем, что Нева разлилась, пошёл дождь, прорвало канализационную трубу, то этого нам достаточно, чтобы оценить вероятность того, что ботинки промокли
  - c. Набор интервальных оценок непротиворечив (согласован), если для произвольного элемента при выборе произвольной точки из интервальной оценки в остальных интервалах можно выбрать точки так, что получившийся набор точечных оценок непротиворечив.
  - d. Свойство предметной области, которое позволяет разбивать её на фрагменты знаний.
7. Каким образом при построении байесовской сети доверия можно рассчитать (оценить) вероятности наступления событий
  - a. На основе анализа набора данных
  - b. На основе экспертной оценки
  - c. На основе уравнений, описывающих свойства того или иного объекта
  - d. \* Всё вышеперечисленное.
8. Пусть в байесовской сети доверия узел А имеет 2 вероятных значения и 3 родителей, каждый из которых имеет по 3 вероятных значения. Сколько значений вероятности потребуется внести в таблицу условных вероятностей узла А?
  - a. \* 54

- b. 32
- c. 48
- d. 8
- 9. В каком промежутке может лежать вероятность значения случайного элемента в узле байесовской сети доверия:
  - a.  $[0, 0.1]$
  - b.  $(-1, 1)$
  - c.  $* [0, 1]$
  - d.  $(0, 1)$
- 10. В байесовской сети доверия узлу, у которого есть один родитель или более, сопоставляется
  - a. Таблица вероятностей возможных значений узла
  - b.  $*$  Таблица условных вероятностей возможных значений узла
  - c. Универсальное множество
  - d. Всевозможные конфигурации узлов-родителей

### ***3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса***

Для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса применяется анкетирование в соответствии с методикой и графиком, утвержденными в установленном порядке.

## ***3.2. Кадровое обеспечение***

### ***3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий***

К чтению лекций должны привлекаться преподаватели, имеющие ученую степень доктора или кандидата наук (в том числе степень PhD, прошедшую установленную процедуру признания и установления эквивалентности) и/или ученое звание профессора или доцента.

### ***3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом***

Учебно-вспомогательный и инженерно-технический персонал должен иметь соответствующее образование и обладать навыками организации работы с пользовательскими программными продуктами в локальной сети компьютерного класса и в Интернете.

## ***3.3. Материально-техническое обеспечение***

### ***3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий***

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные стандартным оборудованием, используемым для обучения в СПбГУ в соответствии с требованиями материально-технического обеспечения

### ***3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования***

Стандартное оборудование, используемое для обучения в СПбГУ. 75 MS Windows, MS Office, Mozilla FireFox, Google Chrome, Acrobat Reader DC, WinZip, Антивирус Касперского

### ***3.3.3 Характеристики специализированного оборудования***

Не требуется.

### 3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения

Специальных требований, которые можно установить на длительный срок, не имеется. Могут определяться преподавателем индивидуально в зависимости от развития программного обеспечения на момент подготовки к чтению дисциплины в очередном семестре или во время семестра.

### 3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов

Для аудиторий с маркерными досками необходимы стирающиеся маркеры в объёме, достаточном для проведения дисциплины. Для аудиторий с меловыми досками необходим мел в объёме, достаточном для проведения дисциплины. Канцелярские принадлежности в объёме, достаточном для проведения дисциплины.

## 3.4 Информационное обеспечение

### 3.4.1 Список литературы

1. Тулупьев, А. Л. Основы теории байесовских сетей : учебник / А. Л. Тулупьев, С. И. Николенко, А. В. Сироткин. — Санкт-Петербург : СПбГУ, 2019. — 399 с. — ISBN 978-5-288-05892-9 — ЭР по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat07918a&AN=spsu.lanbook120100&lang=ru&site=eds-live&scope=site>
2. Максимов А.Г., Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: проверка магистральной связности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2021. № 2. С. 305-316. Doi: 10.1134/S1063454121020059 — ЭР по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselr&AN=edselr.46301786&lang=ru&site=eds-live&scope=site>
3. А.А. Золотин, Е. А. Мальчевская, Н. А. Харитонов, А. Л. Тулупьев, Локальный и глобальный логико-вероятностный вывод в алгебраических байесовских сетях: матрично-векторное описание и вопросы чувствительности // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2017. т. 12. № 2. С. 133–150. Doi: <https://doi.org/10.26456/fssc29> — ЭР по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselr&AN=edselr.32323142&lang=ru&site=eds-live&scope=site>
4. Харитонов Н.А., Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: изолированное слияние фрагментов знаний в условиях дефицита информации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 4. С. 641–649. Doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-641-649 — ЭР по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselr&AN=edselr.39131855&lang=ru&site=eds-live&scope=site>
5. Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: реализация логико-вероятностного вывода в комплексе java-программ // Труды СПИИРАН. 2009. № 8. С. 191–232. — ЭР по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselr&AN=edselr.15512750&lang=ru&site=eds-live&scope=site>

### 3.4.2 Перечень иных информационных источников, в том числе современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. Сайт Научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ:  
<http://www.library.spbu.ru/>
2. Электронный каталог Научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ:

[http://www.library.spbu.ru/cgi-bin/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS](http://www.library.spbu.ru/cgi-bin/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS)

3. Перечень электронных ресурсов, находящихся в доступе СПбГУ:  
<http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/>
4. Перечень ЭБС, на платформах которых представлены российские учебники, находящиеся в доступе СПбГУ:  
[http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?name=rures&resource\\_type=8](http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?name=rures&resource_type=8)
5. Математика: тематическая рубрика  
<http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?subject=1>
6. Информатика: тематическая рубрика  
<http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?subject=93>

#### Раздел 4. Разработчики программы

Фамилия, имя, отчество	Учёная степень	Учёное звание	Должность	Контактная информация
Тулупьев Александр Львович	д.ф.-м.н,	профессор	профессор.	<a href="mailto:alt@dscs.pro">alt@dscs.pro</a> +7 (931) 288-31-77
Тулупьева Татьяна Валентиновна	к.псих.н	доцент	доцент	<a href="mailto:tvt@dscs.pro">tvt@dscs.pro</a> +7(921)753-54-88
Абрамов Максим Викторович	к.т.н.		доцент	<a href="mailto:mva@dscs.pro">mva@dscs.pro</a> +7(981) 680-99-29

Часть программы по дисциплине «Теория байесовских сетей» была разработана согласно техническому заданию к госконтракту № 02.442.11.7289 от 28.06.2006 на выполнение НИР «Направленные циклы в байесовских сетях доверия: вероятностная семантика и алгоритмы логико-вероятностного вывода для программных комплексов с байесовской интеллектуальной компонентой» в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники». Программа дисциплины в существенной степени опирается также на результаты, полученные на основе собственных инициативных проектов и в рамках фундаментальных исследований, проводимых на базе Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, а также на результатах исследований, часть которых была получена, улучшена, развита и (или) обрела текстовое представление в рамках проектов, поддержанных грантами РФФИ № 09-01-00861-а «Методология построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе баз фрагментов знаний с вероятностной неопределенностью», № 12-01-00945-а «Развитие теории алгебраических байесовских сетей и родственных им логико-вероятностных графических моделей систем знаний с неопределенностью», № 15-01-09001-а «Комбинированный логико-вероятностный графический подход к представлению и обработке систем знаний с неопределенностью: алгебраические байесовские сети и родственные модели», 06-01-14108-д «Издание монографии “Байесовские сети: логико-вероятностный подход”» — руководитель А.Л. Тулупьев, № 14-01-00580-а «Гибридные методы, модели и алгоритмы анализа и синтеза оценок параметров латентных процессов в сложных социальных системах при информационном дефиците» — исп. А.Л. Тулупьев, Т.В. Тулупьева, рук. Д.В. Степанов.