**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теория графов

Graph Theory

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 5

Регистрационный номер рабочей программы: 003663

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

* обучение основам теории графов, а также создание теоретического фундамента для дальнейшего углубленного изучения графов и смежных задач;
* обобщение имеющихся знаний обучающихся по различным аспектам теории графов, полученных ими на других учебных курсах;
* создание целостной картины на основе различных понятий, утверждений и алгоритмов;
* обучение поиску возможности перевода исходного условия задачи на язык теории графов;
* изучение различных типов графов, их свойств, а также проведение параллелей с примерами из производственной практики;
* развитие и применение теоретических знаний для решения практических задач в различных областях системного программирования;
* ознакомление обучающихся с различными подходами к решению классических задач теории графов на примере распространенных алгоритмов, а также введение в современные теории и методологии;
* развитие навыков самостоятельного изучение дополнительного материала, деталей языков программирования, вспомогательных библиотек;
* получение обучающимися опыта поиска решения поставленной задачи, сравнения возможных подходов, реализации решения, тестирования, оценки производительности, презентации проделанной работы.

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

Программа курса предназначена для обучающихся 3 курса и рассчитана на обучающихся, изучавших программирование, дискретный анализ и алгебру в объеме первых двух курсов обучения и владеющих навыками программирования на одном из современных языков программирования.

Максимальная эффективность программы будет обеспечена при условии, что обучающийся:

* владеет основами дискретной математики, анализа алгоритмов, структур данных;
* владеет основами программирования, достаточными для составления нетривиальных алгоритмов;
* владеет основами процессов разработки ПО;
* владеет английским языком на уровне, достаточном для самостоятельного изучения научных статей.

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

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование категории (группы) компетенций | Код и наименование компетенции | Планируемые результаты обучения, обеспечивающие формирование компетенции | Код индикатора и индикатор достижения универсальной компетенции |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Общепрофессиональные компетенции | ОПК-1 – способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности | • Владение базовыми понятиями теории графов, их свойствами и применимостью.  • Представление о существующих разделах и утверждениях теории графов.  • Знание классических задач теории графов, подходов к их решению и алгоритмов.  • Умение самостоятельно искать способы решения поставленных задач, изучать дополнительные материалы.  • Владение средствами проектирования, разработки и тестирования решений алгоритмических задач на основе графов. | ОПК-1.1 Уметь идентифицировать возможные проблемы и пути их решения |

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

Практические занятия 10 ак.ч.

**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 интерактивных  форм учебных занятий | Трудоёмкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторные работы | контрольные работы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам. раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  (сам.раб.) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 6 | 30 |  | 2 | 30 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 79 |  | 37 |  | 10 | 5 |
|  | 2-42 |  | 2-42 | 2-25 |  |  |  |  | 2-25 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 30 |  | 2 | 30 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 79 |  | 37 |  |  | 5 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | |
| Семестр 6 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

Период обучения (модуль): семестр 6.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Количество часов |
| 1. | Неориентированные графы | лекции | 10 |
| практические занятия | 10 |
| по методическим материалам | 22 |
| 2. | Ориентированные графы | лекции | 5 |
| практические занятия | 5 |
| по методическим материалам | 15 |
| 3. | Деревья | лекции | 7 |
| практические занятия | 7 |
| по методическим материалам | 15 |
| 4. | Бесконтурные графы | лекции | 5 |
| практические занятия | 5 |
| по методическим материалам | 15 |
| 5. | Применение графов | лекции | 3 |
| практические занятия | 3 |
| по методическим материалам | 12 |
| 6. | Промежуточная аттестация | экзамен | 2 |
| консультация | 2 |
| самостоятельная работа | 37 |

**Модуль 1** «Неориентированные графы».

1. Определения.

Введение. Определения графа, элементы графа, инцидентность и смежность. Степень вершины/графа, степенная последовательность. k-регулярный граф. Матрица смежности и инцидентности, реберный граф. Простой граф, мультиграф, псевдограф. Частичный граф, подграф, операции. Изоморфизм, инвариант, группы автоморфизмов.

2. Связанность.

Маршрут, цепь, цикл. Связанный граф, компонента связанности, пустой и полный граф. Расстояние, метрика. Двудольный граф, свойства. k-вершинно связный граф. 1-вершинно связный граф, граф блоков, дерево Хусими, свойства. 2-вершинно связный граф, свойства, критерии. h-реберно связанный граф, связь реберной и вершинной связности. Теорема Менгера (без доказательства). Способы определения связности.

3. Эйлеровость и гамильтоновость

Эйлеров цикл и граф, критерий эйлеровости. Поиск эйлеровых циклов, алгоритм Флёри. Примеры задач. Гамильтонов цикл и граф. Примеры задач. Достаточные условия: теорема Хватала, теорема Оре и Дирака (без доказательства). Методы определения гамильтоновых циклов. Связь между гамильтоновостью и эйлеровостью.

4. Планарность

Граф плоский, планарный, внутренняя и внешняя грань. Свойства граней, Теорема Эйлера, следствия (критерии планарности). Свойства планарных графов. Максимально планарный граф, теорема Уитни, теорема Фари. Теорема Куратовского, гомоморфный графы, внутренность и внешность циклов.

5. Хордальные графы

Задачи поиска независимого множества, клики, вершинного покрытия и их связь. Смежно-поглощающая вершина и ее применение для решения задач. Хордальный граф, свойства. Характеризации хордальных графов, симплициальная вершина. Граф клик. Графы пересечений, число пересечений, его оценка, примеры.

6. Раскраска

Раскраска, хроматическое число, задача о раскраске. Раскрашиваемый и хроматический граф, примеры. Оценки хроматического числа, теорема Брукса (без доказательства). Алгоритмы: переборный, рационализация для хордальных графов. Теорема о 5ти красках. Гипотеза 4х красках (история, эквивалентные формулировки). Хроматическая функция, хроматический многочлен. Раскраска ребер. Неравенство Визинга (без доказательства). Применения раскраски. Алгоритм распределения регистров. Введение в совершенные графы (критерии, алгоритм определения, алгоритм раскраски).

**Модуль 2** «Ориентированные графы».

1. Определения

Определения, элементы графа. Маршрут, путь, контур, полумаршрут, достижимость. Сильная, односторонняя и слабая связность. Компоненты, определение графа бикомпонент. Основа, обратный граф, принцип ориентированной двойственности. Эйлеров контур, свойства эйлерова ориентированного графа.

2. Кратчайшие пути

Взвешенный граф, кратчайший путь. Задача поиска кратчайших путей, хорошо определенная задача, частные случаи. Определение дерева, остовного дерева. SP-дерево, постановка задачи, уравнение Беллмана. Общий случай, алгоритм Форда. Пути из одной вершины, алгоритм Дейкстры, алгоритм Беллмана-Форда. Пути между двумя вершинами, алгоритм А\*, оценка, выбор эвристики. Пути между всем парами вершин, алгоритм Флойда-Уоршелла. Поиск циклов отрицательной длины, модификация алгоритма Беллмана-Форда. Поиск K кратчайших путей, алгоритм.

3. Сети

Применение потоков (транспортная задача, определение реберной связности). Частные и более общие случаи. Сеть, потоки, дивергенция, величина потока, постановка задачи, примеры. Разрез, аугментальная цепь, Теорема о максимальном потоке и минимальном разрезе (конструктивное доказательство). Алгоритм Флойда - Фалкерсона, пример. Переформулировка алгоритма, инкрементальный граф. Декомпозиция потоков, способ построения, пример.

**Модуль 3** «Деревья».

1. Определения

Лес, дерево, Теорема об эквивалентных определениях. Расстояние, эксцентриситет, радиус, диаметр, центр, свойства центра. Корневые и ориентированные деревья, ярус, высота, метрические свойства. Упорядоченные и бинарные деревья.

2. Обходы и нумерации

Разметка, нумерация, укладка, обход, лес обхода. Прямая и обратная нумерация, свойства. Обход в ширину, обход в глубину. Глубинное остновное дерево, типы дуг. Алгоритм обхода в глубину, общий алгоритм обхода. Нерекурсивные алгоритмы: с использованием очереди, пометок. Алгоритм построения базисных нумераций.

3. Каркасы

Каркас, элементарное преобразование, вектор-каркаса. Построение каркаса при помощи алгоритмов обхода (в ширину и глубину). Существование каркаса, цикломатическое число. Матрица Кирхгофа, теорема Кирхгофа (без доказательства), теорема Кэли. Задача поиска минимального каркаса, основной подход, продолжаемый лес. Алгоритм Краскала, пример. Алгоритм Прима, пример.

4. Задача коммивояжера

Постановка задачи, ограничения. Перебор, жадный алгоритм, алгоритм ближайшей вставки (пример). Двойственность: поиск кратчайшего остова, задачи о назначениях, пример. Алгоритм обхода остова, пример, штрафование вершин. Метод ветвей и границ, пример.

**Модуль 4** «Бесконтурные графы».

1. Определения

Определения, входные и выходные вершины, корень. Обратные дуги, носитель, применение. Свойства бесконтурных графов, нумерация. Алгоритм топологической сортировки, алгоритм на основе обхода в глубину. Поиск кратчайших путей. Поиск минимального путевого покрытия, решение на основе потоков. Вершинная база, складные графы.

2. Паросочетания

Поиск парасочетаний, общий случай. Двудольный граф, варианты постановки задачи. Свободные и насыщенные вершины, темные и светлые ребра. Связь с сетями, биекция, аугментальные и чередующиеся цепи, Теорема Берже (без доказательства). Алгоритм поиска наибольшего паросочетания на основе алгоритма Флойда-Фалкерсона, оптимизация, пример. Теорема Холла (без доказательства), алгоритм поиска полного паросочетания, пример. Задача о назначениях, допущения, венгенский метод, венгерские деревья.

3. Замыкания

Бинарное отношение, транзитивное замыкание, связь с графами, редукция. Матрица достижимости, алгоритм Уоршалла, пример. Применение транизитивного замыкания и достижимости на практике. Компоненты сильной связности, граф Герца, фактор графы. Матричный алгоритм, алгоритм Тарьяна построения бикомпонент, примеры. Поиск транзитивного замыкания/редукции в дэге, примеры. Другие виды замыканий: конгруэнтное замыкание.

**Модуль 5** «Применение графов».

1. Представление

Выбор представления. Матричное представление: смежности, инциденций, достижимостей, циклов. Частные случаи, недостатки, связь. Представление списками. Графы данных, пример. Кодирование деревьев: коды Прюфера, кодирование обходом. Кодирование бинарных деревьев: коды Ли, коды Закса.

1. Методы визуализации

Задача визуализации. Примеры изобразительных соглашений, эстетических критериев, ограничений, методов. Рисование графов потока управления: требования, методы. Планаризация графов, история, алгоритм Хопкрофта-Тарьяна, пример. Рисование планарных графов.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Для освоения дисциплины обучающиеся должны посещать лекции и практические занятия, выполнять задания преподавателей.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

При самостоятельном изучении теоретического материала, выполнении практических заданий и во время подготовки доклада целесообразно использовать рекомендованную основную и дополнительную литературу.

Перечень примерных заданий для самостоятельной работы обучающихся по всем модулям:

* Приведение примеров графов различных типов.
* Поиск эйлеровых и гамильтоновых циклов, максимальных независимых множеств, правильной раскраски.
* Построение графа клик, графа блоков, реберного графа и графа бикомпонент.
* Применение алгоритмов поиска кратчайших путей, максимального потока, а также решение задач коммивояжера и задачи о назначениях.
* Доказательство различных утверждений.
* Построение теоретических оценок сложности различных алгоритмов.

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

Экзамен проводится в устной форме. Билет состоит из двух вопросов, на подготовку ответа на которые даётся не менее одного академического часа (при подготовке можно пользоваться литературой). После ответа на вопросы билета преподаватель вправе задать дополнительные вопросы по любой теме из списка вопросов, вынесенных на экзамен. Количество и содержание дополнительных вопросов – на усмотрение преподавателя, принимающего экзамен. Каждый ответ оценивается по шкале от 0 (нет ответа) до 5 (очень хороший ответ), результирующая оценка получается следующим образом:

1. Оценки за ответы на два основных вопроса усредняются, результат усреднения делится на два.
2. Оценки за ответы на дополнительные вопросы усредняются, результат усреднения делится на два и складывается с оценкой, полученной в п.1.
3. Итоговый процент освоения курса – это сумма оценок из предыдущего пункта, помноженная на 20. Перевод в оценки за экзамен делается по стандартной методике согласно приказу №7293/1 от 20.07.2018:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Итоговый процент выполнения, % | Оценка СПбГУ при проведении экзамена | Оценка ECTS |
| 0-49 | Неудовлетворительно | F |
| 50-60 | Удовлетворительно | E |
| 61-69 | Удовлетворительно | D |
| 70-79 | Хорошо | C |
| 80-89 | Хорошо | B |
| 90-100 | Отлично | A |

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

Примерный список вопросов к экзамену:

1. Определения графа, элементы графа, инцидентность и смежность. Степень вершины/графа, степенная последовательность. k-регулярный граф. Матрица смежности и инцидентности, реберный граф.
2. Простой граф, мультиграф, псевдограф. Частичный граф, подграф, операции. Изоморфизм, инвариант, группы автоморфизмов.
3. Маршрут, цепь, цикл. Связанный граф, компонента связанности, пустой и полный граф. Расстояние, метрика. Двудольный граф, свойства. k-вершинно связный граф.
4. 1-вершинно связный граф, граф блоков, дерево Хусими, свойства. 2-вершинно связный граф, свойства, критерии. h-реберно связанный граф, связь реберной и вершинной связности.
5. Теорема Менгера (без доказательства). Способы определения связности.
6. Эйлеров цикл и граф, критерий эйлеровости. Поиск эйлеровых циклов, алгоритм Флёри. Примеры задач.
7. Гамильтонов цикл и граф. Примеры задач. Достаточные условия: теорема Хватала, теорема Оре и Дирака (без доказательства).
8. Методы определения гамильтоновых циклов. Связь между гамильтоновостью и эйлеровостью.
9. Граф плоский, планарный, внутренняя и внешняя грань. Свойства граней, Теорема Эйлера, следствия (критерии планарности).
10. Свойства планарных графов. Максимально планарный граф, теорема Уитни, теорема Фари.
11. Теорема Куратовского, гомоморфные графы, внутренность и внешность циклов.
12. Задачи поиска независимого множества, клики, вершинного покрытия и их связь. Смежно-поглощающая вершина и ее применение для решения задач.
13. Хордальный граф, свойства. Характеризации хордальных графов, симплициальная вершина. Граф клик. Графы пересечений, число пересечений, его оценка, примеры.
14. Раскраска, хроматическое число, задача о раскраске. Раскрашиваемый и хроматический граф, примеры.
15. Оценки хроматического числа, теорема Брукса (без доказательства). Алгоритмы: переборный, рационализация для хордальных графов.
16. Теорема о 5ти красках. Гипотеза 4х красках (история, эквивалентные формулировки). Хроматическая функция, хроматический многочлен. Раскраска ребер.
17. Неравенство Визинга (без доказательства). Применения раскраски. Алгоритм распределения регистров. Введение в совершенные графы (критерии, алгоритм определения, алгоритм раскраски).
18. Ориентированные графы: определения, элементы графа. Маршрут, путь, контур, полумаршрут, достижимость. Сильная, односторонняя и слабая связность.
19. Компоненты, определение графа бикомпонент. Основа, обратный граф, принцип ориентированной двойственности. Эйлеров контур, свойства эйлерова ориентированного графа.
20. Взвешенный граф, кратчайший путь. Задача поиска кратчайших путей, хорошо определенная задача, частные случаи. Определение дерева, остовного дерева.
21. SP-дерево, постановка задачи, уравнение Беллмана. Общий случай, алгоритм Форда.
22. Пути из одной вершины, алгоритм Дейкстры, алгоритм Беллмана-Форда.
23. Пути между двумя вершинами, алгоритм А\*, оценка, выбор эвристики.
24. Пути между всем парами вершин, алгоритм Флойда-Уоршелла. Поиск циклов отрицательной длины, модификация алгоритма Беллмана-Форда. Поиск K кратчайших путей, алгоритм.
25. Применение потоков (транспортная задача, определение реберной связности). Частные и более общие случаи. Сеть, потоки, дивергенция, величина потока, постановка задачи, примеры.
26. Разрез, аугментальная цепь, Теорема о максимальном потоке и минимальном разрезе (конструктивное доказательство).
27. Алгоритм Флойда-Фалкерсона, пример. Переформулировка алгоритма, инкрементальный граф. Декомпозиция потоков, способ построения, пример.
28. Лес, дерево, Теорема об эквивалентных определениях. Расстояние, эксцентриситет, радиус, диаметр, центр, свойства центра. Корневые и ориентированные деревья, ярус, высота, метрические свойства. Упорядоченные и бинарные деревья.
29. Разметка, нумерация, укладка, обход, лес обхода. Прямая и обратная нумерация, свойства.
30. Обход в ширину, обход в глубину. Глубинное остовное дерево, типы дуг. Алгоритм обхода в глубину, общий алгоритм обхода.
31. Нерекурсивные алгоритмы: с использованием очереди, пометок. Алгоритм построения базисных нумераций.
32. Каркас, элементарное преобразование, вектор-каркаса. Построение каркаса при помощи алгоритмов обхода (в ширину и глубину).
33. Существование каркаса, цикломатическое число. Матрица Кирхгофа, теорема Кирхгофа (без доказательства), теорема Кэли.
34. Задача поиска минимального каркаса, основной подход, продолжаемый лес. Алгоритм Краскала, пример. Алгоритм Прима, пример.
35. Задача коммивояжера: постановка задачи, ограничения. Перебор, жадный алгоритм, алгоритм ближайшей вставки (пример).
36. Двойственность: поиск кратчайшего остова, задачи о назначениях, пример. Алгоритм обхода остова, пример, штрафование вершин. Метод ветвей и границ, пример.
37. Бесконтурные графы: определения, входные и выходные вершины, корень. Обратные дуги, носитель, применение.
38. Свойства бесконтурных графов, нумерация. Алгоритм топологической сортировки, алгоритм на основе обхода в глубину.
39. Поиск кратчайших путей в бесконтурном графе. Поиск минимального путевого покрытия, решение на основе потоков. Вершинная база, складные графы.
40. Поиск парасочетаний, общий случай. Двудольный граф, варианты постановки задачи. Свободные и насыщенные вершины, темные и светлые ребра. Связь с сетями, биекция, аугментальные и чередующиеся цепи, Теорема Берже (без доказательства).
41. Алгоритм поиска наибольшего паросочетания на основе алгоритма Флойда - Фалкерсона, оптимизация, пример.
42. Теорема Холла (без доказательства), алгоритм поиска полного паросочетания, пример.
43. Задача о назначениях, допущения, венгенский метод, венгерские деревья.
44. Бинарное отношение, транзитивное замыкание, связь с графами, редукция. Матрица достижимости, алгоритм Уоршалла, пример. Применение транизитивного замыкания и достижимости на практике.
45. Компоненты сильной связности, граф Герца, фактор графы. Матричный алгоритм, алгоритм Тарьяна построения бикомпонент, примеры.
46. Поиск транзитивного замыкания/редукции в дэге, примеры. Другие виды замыканий: конгруэнтное замыкание.
47. Представления графов. Выбор представления. Матричное представление: смежности, инциденций, достижимостей, циклов. Частные случаи, недостатки, связь. Представление списками. Графы данных, пример.
48. Кодирование деревьев: коды Прюфера, кодирование обходом. Кодирование бинарных деревьев: коды Ли, коды Закса.
49. Задача визуализации. Примеры изобразительных соглашений, эстетических критериев, ограничений, методов.
50. Рисование графов потока управления: требования, методы. Планаризация графов, история, алгоритм Хопкрофта-Тарьяна, пример. Рисование планарных графов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Код индикатора и индикатор достижения универсальной компетенции | Контрольно-измерительные материалы (КИМ) (тестовые вопросы, контрольные задания, кейсы и пр.) |
|  | 1 | 2 |
| 1 | ОПК-1.1 Уметь идентифицировать возможные проблемы и пути их решения | Ответы на вопросы на экзамене, ответы на дополнительные вопросы и задачи для самостоятельной работы независимо оцениваются по шкале от 0 (нет ответа/не сделано) до 10 (очень хорошо), далее оценка усредняется. Результат переводится в диапазон от 0 до 100 |

**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 преподаванию дисциплины могут быть допущены преподаватели, имеющие диплом о высшем образовании по соответствующему направлению.

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

Специальных требований нет.

**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. 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**

Не требуется.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

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

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список литературы**

1. Алексеев, Владимир Евгеньевич. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений : Учебник / В. Е. Алексеев, В. А. Таланов. - М. : Интернет-Университет Информационных Технологий ; М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. - 320 с. Мм – 4 экз.; Пм – 15 экз.

2. Шапорев, Сергей Дмитриевич . Дискретная математика: Курс лекций и практических занятий : учебное пособие / С. Д. Шапорев. - СПб. : БХВ-Петербург, 2006. - 396 с. Мм – 12 экз.

3. Гаврилов, Гарий Петрович. Задачи и упражнения по курсу дискретной математики : учебное пособие / Г. П. Гаврилов, А. А. Сапоженко. - 3-е изд., перераб. - М. : Физматлит, 2004-2009. Мм – 1 экз.; Пм – 67 экз. + ЭБС «Лань» по подписке СПбГУ: https://proxy.library.spbu.ru:2385/book/2157

4. Кузнецов, Олег Петрович . Дискретная математика для инженера : учебное пособие / О. П. Кузнецов. - 4-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2005-2009. - 395 с. Мм – 3 экз. + ЭБС «Лань» по подписке СПбГУ: https://proxy.library.spbu.ru:2385/book/220

**3.4.2 Перечень иных информационных источников**

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

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>

Перечень электронных ресурсов, находящихся в доступе СПбГУ: <http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/>

Перечень ЭБС, на платформах которых представлены российские учебники, находящиеся в доступе СПбГУ: <http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?name=rures&resource%20type=8>

**Раздел 4. Разработчики программы**

Буре Дмитрий Владимирович, ст. преподаватель кафедры системного программирования, [dmitry.bure@gmail.com](mailto:dmitry.bure@gmail.com)

Сартасов Станислав Юрьевич, ст. преподаватель кафедры системного программирования, [Stanislav.sartasov@spbu.ru](mailto:Stanislav.sartasov@spbu.ru)