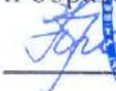


Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

 О. И. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД - 739/м.

Специальные структуры данных

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

7-06-0533-05 Прикладная математика и информатика

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 7-06-0533-05-2023; примерного учебного плана, регистрационный № 7-06-05-016/пр. от 18.01.2023, учебных планов БГУ: № М53-5.3-43/уч. от 15.02.2023 г., № М53-5.3-79/уч. от 11.04.2023 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.А. Толстиков – старший преподаватель кафедры вычислительной математики факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

С.В. Баханович – зам. директора Института математики НАН Беларуси по научной и инновационной работе, кандидат физико-математических наук.

Ю.Г. Василевский – руководитель отдела в ООО «ЯндексБел», кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой вычислительной математики
(протокол № 18 от 08.06.2023);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 29.06.2023)

Заведующий кафедрой



В.И.Репников

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель преподавания учебной дисциплины «Специальные структуры данных» – создание базы для использования современных библиотек в различных языках программирования, умения адаптировать существующие алгоритмы и структуры данных для конкретных прикладных задач. Развитие умения оценивать трудоемкость операций с структурами данных, выполняться оценку в худшем случае и амортизированную оценку операций, использовать вероятностную оценку трудоемкости операций.

При изложении материала учебной дисциплины важно показать многообразие современных структур данных, классифицируя их по таким критериям, как время работы операций, объем используемой памяти, возможность использовать в многопоточном режиме.

Задачи учебной дисциплины

1. Изучение специальных структур данных: дерево интервалов, битовые множества, левосторонние кучи, персистентные версии различных структур данных.
2. Изучение методов организации эффективного перебора решений задачи, оптимизация метода, используя различные структуры данных.
3. Использование изученных специальных структур данных в качестве блоков при разработке различных программных продуктов и сервисов.

Место учебной дисциплины

В системе подготовки специалиста с углубленным высшим образованием для специальности 7-06-0533-05 «Прикладная математика и информатика» учебная дисциплина **относится к модулю «Алгоритмические аспекты информатики» государственного компонента.**

Учебная программа составлена с учетом межпредметных **связей** и программ по следующим дисциплинам государственного компонента «Вероятностные алгоритмы и структуры данных» модуля «Алгоритмические аспекты информатики».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Специальные структуры данных» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

универсальной компетенции:

УК-4. Обеспечивать коммуникации, проявлять лидерские навыки, быть способным к командообразованию и разработке стратегических целей и задач.

углубленной профессиональной компетенции:

УПК-4. Оценивать эффективность алгоритмов решения прикладных задач.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен:

знать:

- понятие трудоемкости алгоритма;
- основные подходы при разработке эффективных алгоритмов;
- способы организации структур данных и технологию их использования;
- виды поисковых деревьев;
- методы построения эффективных переборных алгоритмов.

уметь:

- адаптировать структуры данных при разработке алгоритма решения задачи;
- реализовывать различные структуры данных;
- декомпозировать задачу для более эффективного использования известных алгоритмов и структур данных;

владеть:

- навыками адаптации, реализации и использования структур данных;
- навыками использования стандартных библиотек алгоритмов и структур данных.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 1-м семестре. Всего на изучение учебной дисциплины отведено:

– в очной форме получения углубленного высшего образования: 198 часов, в том числе 66 аудиторных часа, из них: лекции – 22 часа, лабораторные занятия – 22 часа, семинарские занятия – 22 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Интервальные структуры данных

Тема 1.1. Введение. Оценка трудоемкости операций со структурами данных

Абстрактные структуры данных. Понятие интерфейса структуры данных. Формирование цели использования и основных показателей эффективности структур данных.

Оценка времени работы в худшем случае. Амортизированная оценка времени работы. Метод потенциалов. Оценка времени работы на случайных входных данных. Примеры структур данных с балансировкой времени работы между различными операциями. Примеры структур данных с балансировкой между объемом используемой памяти и временем работы.

Тема 1.2. Дерево отрезков

Структура данных «дерево отрезков». Особенности реализации в динамической памяти и на массиве ячеек. Декомпозиция отрезка запроса на элементарные отрезки. Операции изменения элемента. Операции запросов: значение элемента, сумма на интервале, минимум на интервале, количество различных элементов на интервале. Метод частичного каскадирования. Оценка трудоемкости операций.

Тема 1.3. Дерево отрезков. Интервальная модификация

Особенности применения операций интервальной модификации: установка значений на интервале, прибавление значений на интервале. Операции запросов: значение элемента, сумма на интервале, минимум на интервале, количество различных элементов на интервале. Оценка трудоемкости операций. Применение в решении геометрических задач.

Раздел 2. Декомпозиция данных

Тема 2.1. Битовое представление множества

Реализация битового представления множества и операций с ним. Оценка эффективности операций. Решение системы линейных уравнений. Поиск ранга матрицы. Поиск транзитивного замыкания в графе. Алгоритм поиска в ширину в ориентированном графе.

Тема 2.2. Декомпозиция запросов

Общий принцип техники декомпозиции запросов, «простые» операции, перестроение структуры данных. Оценка эффективности метода. Определение оптимального порогового значения. Решение задачи подсчета треугольников в графе. Решение задачи поиска наименьшего общего предка в динамически достраиваемом дереве.

Тема 2.3. Эффективная организация вычислений в переборных алгоритмах

Метод большого и малого шага. Решение задачи дискретного логарифмирования с трудоемкостью $O(n^{0.5})$. Поиск длины цикла. Метод встречи посередине. Решение задачи поиска подмножества с заданным критерием на сумму элементов. Подсчет количества гамильтоновых циклов. Подсчет количества пар предметов с фиксированным набором признаков.

Раздел 3. Персистентные структуры данных

Тема 3.1. Классификация. Общие принципы построения. Общие методы построения персистентных структур данных

Краткая характеристика персистентных структур данных. Классификация персистентности структур данных: частичная, полная, конфлюэнтная, функциональная. Метод полного копирования. Метод копирования пути. Метод «толстых» узлов.

Тема 3.2. Персистентный стек, список, очередь

Построение полностью персистентного стека на основе корневого дерева. Преобразование списка в частично персистентный за константное время. Реализация интерфейса очереди на двух стеках с сохранением амортизационной оценки. Реализация интерфейса очереди на шести стеках с сохранением гарантированной оценки. Реализация персистентной очереди на пяти стеках.

Тема 3.3 Персистентная очередь с приоритетом, дерево отрезков, бинарное поисковое дерево

Построение персистентного дерева отрезков методом копирования пути. Построение персистентного бинарного поискового дерева методом копирования пути. Левосторонние кучи. Биномиальные кучи. Построение персистентной очереди с приоритетами.

Тема 3.4 Построение частично персистентных и полностью персистентных структур данных

Недостатки и преимущества различных версий персистентных структур данных. Общий метод построения частично персистентных структур данных. Эйлеров обход дерева. Поддержание порядка в списке. Получение полностью персистентных структур данных.

Раздел 4. Дополнительные главы

Тема 4.1. Специализированные прикладные структуры данных

Списки с пропусками. LSM дерево. 2-3 дерево. R , R^+ , R^* дерево. Куча Бродала-Окасаки. Динамическая связность.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения углубленного высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Интервальные структуры данных	6		2	6			
1.1	Введение. Оценка трудоемкости операций со структурами данных.	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой.
1.2	Дерево отрезков	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой. Контрольная работа №1
1.3	Дерево отрезков. Интервальная модификация	2		2	2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой. Контрольная работа №2

2.	Декомпозиция данных	6		4	6			
2.1	Битовое представление множества	2		4	2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой. Выступление с докладом на семинаре. Дискуссия
2.2	Декомпозиция запросов	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой. Контрольная работа №3
2.3	Эффективная организация вычислений в переборных алгоритмах	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой, доклад Контрольная работа №4
3.	Персистентные структуры данных	8		4	8			
3.1	Классификация. Общие принципы построения. Общие методы построения персистентных структур данных	2						Устный опрос. Собеседование

3.2	Персистентный стек, список, очередь	2						Коллоквиум
3.3	Персистентная очередь с приоритетом, дерево отрезков, бинарное поисковое дерево	2		2	4			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой. Контрольная работа №5
3.4	Построение частично персистентных и полностью персистентных структур данных	2		2	4			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой, доклад
4.	Дополнительные главы	2		12	2			
4.1	Специализированные прикладные структуры данных	2		12	2			Выступление с докладом на семинаре. Дискуссия. Электронный тест. Контрольная работа №6

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Котов, В. М. Сборник задач по теории алгоритмов. Организация перебора и приближенные алгоритмы [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 03 04 «Информатика» / В. М. Котов, Е. П. Соболевская, Г. П. Волчкова ; БГУ, Фак. прикладной математики и информатики, Каф. дискретной математики и алгоритмики. – Минск : БГУ, 2021. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/272717>.

2. Котов, В. М. Теория алгоритмов. Организация перебора и приближенные алгоритмы : учеб.-метод. пособие / В. М. Котов, Е. П. Соболевская, Г. П. Волчкова. – Минск: БГУ, 2022. – 151 с.

3. Сборник задач по теории алгоритмов : учеб.-метод. пособие / В. М. Котов [и др.] – Минск : БГУ, 2017. – 183с. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/181529>.

4. Сборник задач по теории алгоритмов. Структуры данных: учеб.-метод. пособие / С. А. Соболев [и др.] – Минск : БГУ, 2020. – 159 с. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/255033>.

5. Тюкачев, Н. А. С#. Алгоритмы и структуры данных / Н. А. Тюкачев, В. Г. Хлебостроев. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 232 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/346067>.

Перечень дополнительной литературы

6. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен [и др.] – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.

7. Котов, В. М. Алгоритмы и структуры данных: учеб. пособие / В. М. Котов, Е. П. Соболевская, А. А. Толстиков. – Минск: БГУ, 2011. – 267 с. – (Классическое университетское издание). – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/8522>.

8. Опыт использования образовательной платформы Insight Runner на факультете прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета. Роль университетского образования и науки в современном обществе: материалы междунар. науч. конф., Минск, 26–27 февр. 2019 г. / редкол.: А. Д. Король (пред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2019. – URL: С. 263 – 267. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/231914>.

9. Пападимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц – М.: Мир, 1985. – 512 с.

10. Рейнтгольд, Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика / Э. Рейнтгольд., Ю. Нивергельт, Н. Део – М.: Мир, 1980. – 466 с.

11. Соболев, С. А. Методика преподавания дисциплин по теории алгоритмов с использованием образовательной платформы iRUNNER / С. А. Соболев, В. М. Котов, Е. П. Соболевская // Электронный науч.-методич.

журнал «Педагогика информатики». – 2020 – № 2.
http://pcs.bsu.by/2020_2/6ru.pdf

12. Теория алгоритмов: учеб. пособие / П. А. Иржавский [и др.] – Минск: БГУ, 2013. – 159 с. –
URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/91612>.

Электронные ресурсы

13. Образовательный портал БГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edufpmi.bsu.by/course/view.php?id=118>. – Дата доступа: 03.05.2023.

14. Образовательная платформа Insight Runner [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://acm.bsu.by>. – Дата доступа: 03.05.2023.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов магистратуры являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений обучающихся осуществляется с помощью мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций в рамках учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы:

1. Устная форма: собеседование, дискуссия, коллоквиум.
2. Письменная форма: контрольные работы.
3. Устно-письменная форма: отчет по лабораторным работам с их устной защитой.
4. Техническая форма: электронные тесты.

В качестве рекомендуемых технических средств диагностики используется Образовательная платформа Insight Runner (www.acm.bsu.by), а также обучение, организованное на платформе Moodle (<https://edufpmi.bsu.by>).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Специальные структуры данных» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента магистратуры, дающая возможность

проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- отчет по лабораторным работам с их устной защитой - 50 %;
- выполнение теста - 10%;
- контрольные работы - 10 %;
- коллоквиум - 10 %
- доклад - 20%

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) – 40% и экзаменационной отметки – 60%.

Примерная тематика лабораторных занятий

Занятие № 1. Реализация стека/очереди/дека с поддержанием минимума.

Занятие № 2. Реализация СД «Дерево отрезков» по заданному интерфейсу.

Занятие № 3. Реализация СД «Дерево отрезков» по заданному интерфейсу с интервальной модификацией.

Занятие № 4. Реализация поиска в ширину в ориентированном графе с использованием битовых представлений.

Занятие № 5. Реализация алгоритма подсчета треугольников в неориентированном графе.

Занятие № 6. Реализация алгоритма решения задачи о рюкзаке методом разделения предметов на два множества.

Занятие № 7. Реализация персистентной версии структуры данных стек.

Занятие № 8. Реализация персистентной версии структуры данных дерево отрезков.

Занятие №9. Персистентная очередь с приоритетом, бинарное поисковое дерево

Занятие № 10. Реализация алгоритма сериализации дерева в последовательность вершин (Эйлеров обход).

Занятие № 11. Реализация алгоритма десериализации дерева в последовательность вершин (Эйлеров обход).

Примерная тематика семинарских занятий

Занятие № 1. Двумерное дерево отрезков.

Занятие № 2. Дерево интервалов.

Занятие № 3. Быстрый цифровой бор (X-fast trie).

Занятие № 4. Сверхбыстрый цифровой бор (Y-fast trie).

Занятие № 5. Link/cut дерево.

Занятие № 6. Списки с пропусками.

Занятие № 7. LSM дерево.

Занятие № 8. 2-3 дерево.

Занятие № 9. R, R+, R* дерево.

Занятие № 10. Куча Бродала-Окасаки.

Занятие № 11. Динамическая связность.

Рекомендуемая тематика контрольных работ и коллоквиума:

- 1) Контрольная работа № 1. «Дерево отрезков».
- 2) Контрольная работа № 2. «Дерево отрезков. Интервальная модификация».
- 3) Контрольная работа № 3. «Декомпозиция запросов».
- 4) Контрольная работа № 4. «Эффективная организация вычислений в переборных алгоритмах».
- 5) Контрольная работа № 5. «Персистентная очередь с приоритетом, дерево отрезков, бинарное поисковое дерево».
- 6) Контрольная работа № 6. «Специализированные прикладные структуры данных».
- 7) Коллоквиум. Способы организации специальных структур данных и технология их использования.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются следующие методы:

– **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов магистратуры в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

– **метод группового обучения**, который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности обучающихся,

предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями.

В качестве технических средств для организации работы в рамках учебной дисциплины рекомендуется использовать Образовательную платформу Insight Runner (www.acm.bsu.by), Образовательный портал БГУ (<https://edufpmi.bsu.by>) – инструмент с эффективной функциональностью контроля, тренинга и самостоятельной работы.

Для контроля самостоятельности выполнения работ рекомендуется использовать автоматические системы определения несанкционированных материалов, функционирующие в Insight Runner.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов магистратуры по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить на образовательном портале комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, методические указания к лабораторным занятиям, материалы текущего контроля и текущей аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта высшего образования и учебно-программной документации, в т.ч. вопросы для подготовки к экзамену, задания, тесты, вопросы для самоконтроля, список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Оценка трудоемкости алгоритма. Трудоемкость в худшем случае.
2. Оценка трудоемкости алгоритма. Амортизированная оценка.
3. Оценка трудоемкости алгоритма. Метод потенциалов.
4. Понятие интерфейса абстрактной структуры данных. Примеры интерфейсов с балансировкой времени работы методов и объемом используемой памяти.
5. Оценка времени работы операций инкрементирования счетчика (изменение битов в счетчике).
6. Понятие структуры данных «Дерево отрезков». Особенности реализации в динамической и статической памяти.
7. Метод и оценка разбиения запроса на элементарные отрезки в «Дереве отрезков».
8. Метод «ленивого» проталкивания модификаций в «Дереве отрезков».
9. Операция изменения элемента и операция подсчета суммы на отрезке в задаче поиска суммы на отрезке.

10. Операция изменения элемента и операция нахождения минимального элемента в задаче поиска минимума на отрезке.
11. Операция множественного изменения значений (установка, прибавление) на отрезке одним запросом. Подсчет суммы на отрезке.
12. Поиск отрезка с максимальной суммой в последовательности.
13. Операция модификации элемента в задаче поиска отрезка с максимальной суммой.
14. Метод хранения большого количества информации в каждой вершине дерева. Подсчет количества элементов меньше заданного на участке массива.
15. Битовые представления множеств.
16. Битовые представления множеств. Подсчет количества гамильтоновых циклов.
17. Битовые представления множеств. Подсчет количества пар предметов с фиксированным набором признаков.
18. Битовые представления множеств. Транзитивное замыкание в ориентированном графе.
19. Битовые представления множеств. Поиск в ширину в ориентированном графе.
20. Решение системы линейных уравнений, используя битовые представления множеств.
21. Вычисление ранга матрицы, используя битовые представления множеств.
22. Метод декомпозиции данных и запросов. Подсчет треугольников в графе.
23. Метод декомпозиции данных и запросов. Подсчет высоты вершины в перестраиваемом дереве специального вида.
24. Метод большого и малого шага. Решение задачи дискретного логарифмирования.
25. Метод большого и малого шага. Определение длины цикла последовательности.
26. Персистентные структуры данных. Определения. Классификация. Примеры.
27. Персистентный стек.
28. Персистентный список.
29. Персистентная очередь.
30. Персистентная очередь с приоритетом.
31. Персистентное дерево отрезков. Метод копирования пути.
32. Персистентное бинарное дерево. Метод копирования пути.
33. Общий метод построения частично персистентных структур данных.
34. Эйлеров обход дерева.
35. Поддержание порядка в списке.
36. Получение полностью персистентных структур данных.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Вероятностные алгоритмы и структуры данных	Теории вероятностей и математической статистики	нет	Изменений не требуется (протокол № 18 от 8 июня 2023)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
