

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением президиума
Ученого совета ННГУ
от 30.11.2022 г.
протокол № 13

Рабочая программа дисциплины

Work program of the course

Анализ и разработка алгоритмов
Algorithms, development and analysis

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Level of higher education

бакалавриат

bachelor's degree program

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

Training direction / speciality

02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

02.03.02 Fundamental Computer Science and Information Technology

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Orientation of educational program

Общий профиль

General profile

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

form of study

очная

full-time

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород, 2021 год

Nizhni Novgorod, 2021

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.14 «Анализ и разработка алгоритмов» относится к части ООП, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» направления подготовки **02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»**. Дисциплина преподается в 5 семестре. Трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, зачет.

Discipline Б1.В.14 "Algorithms, development and analysis" refers to the part formed by the participants of educational relations.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.14 «Анализ и разработка алгоритмов» относится к части ООП направления подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) / Formed competencies (code, content of competence)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции / Planned learning outcomes for the discipline (module), in accordance with the indicator of achievement of competency		Наименование оценочного средства / Name of the evaluation tool
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) / Competency achievement indicator (code, indicator content)	Результаты обучения по дисциплине / Learning outcomes by the discipline	

ПК-5 Способен использовать современные инструментальные и вычислительные средства информационных технологий	ПК-5.1 Знает современные инструментальные и вычислительные средства информационных технологий	<p>Знать основные понятия теории алгоритмов: вычислимость, структура данных, алгоритм, модель вычислений, машина Тьюринга, RAM машина, пространственная сложность, временная сложность, сложность в худшем случае, сложность в лучшем случае, рандомизированная сложность, амортизационная сложность, метод потенциалов, дерево поиска, приоритетная очередь, хеш-функция, хеш-таблица. Основные типы алгоритмов сортировки, основные типы поисковых деревьев и приоритетных очередей, основные типы хеш-таблиц /</p> <p><i>Students must know the basic concepts of algorithms theory: computability, data structure, algorithm, computational model, Turing machine, RAM machine, memory complexity, time complexity, worst case complexity, best case complexity, randomized complexity, amortized complexity, potentials method, search tree, priority heaps, hesh-function, hesh-table. Basic types of sorting algorithms, basic types of search trees, basic types of priority heaps and basic types of hash-tables.</i></p>	собеседование / interview
	ПК-5.2 Умеет применять современные инструментальные и вычислительные средства информационных технологий	<p>Уметь производить математический анализ сложности алгоритмов с точки зрения различных метрик сложности: анализ в худшем случае, анализ в лучшем случае, рандомизированный анализ в среднем, амортизационный анализ /</p> <p><i>Students must be able to perform mathematical analysis of algorithms complexity with respect to different complexity metrics: worst case analysis, best case analysis, randomised average analysis, amortized analysis</i></p>	тест / test задачи / tasks

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения	
	Всего	5 семестр
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72	72
в том числе		

аудиторные занятия (контактная работа):	33	33
- занятия лекционного типа	32	32
- занятия семинарского типа	0	0
- занятия лабораторного типа	0	0
- текущий контроль (КСР)	1	1
самостоятельная работа	39	39
Промежуточная аттестация – зачет, экзамен	зачет	зачет

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
5 семестр	72	32			32	39
Тема 1. Виды оценок сложности алгоритмов. Модели вычислений: машина Тьюринга, RAM машина. O-символика. Понятия временной и пространственной сложности алгоритма на некотором входе. Различные метрики сложности: сложность в худшем случае, сложность в лучшем случае, рандомизированная сложность в среднем, амортизационная сложность. Примеры на основе анализа основных методов сортировки. Понятие структуры данных. Метод потенциалов. Примеры амортизационного анализа методом потенциалов: анализ добавления элементов в конец массива, анализ двоичного счетчика. Рандомизированный анализ быстрой сортировки и глубины ее рекурсии. Элиминация хвостовой рекурсии./ Types of complexity estimates. Computational models: Turing machine, RAM machine. O-notation. Notions of memory and time complexity on some input. Different metrics of algorithms complexity: worst case complexity, best case complexity, randomized average complexity, amortized complexity. Examples of analysis of the basic sorting algorithms. The notion of data structure. The potentials method. Examples of amortized analysis using the potentials method: analysis of <<push back>> operations in arrays, analysis of the binary counter data structure. Randomized analysis of the quick-sort algorithm and its recursion depth. The tail recursion elimination principle.	17	8			8	9
Тема 2. Хеширование. Основная идея хеширования на примере не инъективных отображений и примере построения англо-русского словаря. Понятие хеш-таблицы, хеш-функции и коллизии. Простейшие методы борьбы с коллизиями: метод цепочек и метод открытой адресации. Универсальное семейство хеш-	18	8			8	10

функций. Идеальное хеширование: квадратичная схема, двойное хеширование. Хеширование кукушки./ Hashing. Basic concept of hashing: example with non injective maps and example with russian-english dictionary. The notions of hash-function, hash-table and collision. Basic methods for collisions resolving: collision lists, open addressing. Universal family of hash-functions. Perfect hashing: quadratic method, double hashing. Cuckoo hashing.						
Тема 3. Поисковые деревья. Понятие дерева поиска. Базовые операции с деревьями поиска: поиск, вставка, удаление, обход, следующий элемент, предыдущий элемент, максимум, минимум, k-ая порядковая статистика, split, merge. Глубина поисковых деревьев и балансировка. Основные виды поисковых деревьев и их операции: AVL-деревья, RB-деревья, Splay-деревья, B-деревья. Понятие приоритетной очереди. Декартово дерево (дуча). VEB дерево, X-fast и Y-fast деревья. / Search trees. The notion of a binary search tree. Basic operations with search trees: search, insert, delete, traversal, successor, predecessor, maximum, minimum, k-th order statistic, split, merge. Depth of a search tree and balancing. Basic types of search trees: AVL-trees, RB-trees, Splay-trees, B-trees. The notion of a priority heap. Cartesian trees (treeps). VEB tree, X-fast and Y-fast trees.	18	8			8	10
Тема 4. Приоритетные очереди. Понятие приоритетной очереди. Основные операции с приоритетными очередями: поиск максимума(минимума), вставка, удаление, удаление максимума (минимума), увеличение ключа, объединение, окучивание. Основные виды приоритетных очередей: d-куча, левосторонняя куча, биномиальная куча, косая куча, фибоначчиева куча./ Priority heaps. The notion of a priority heap. Basic operations with priority heaps: maximum (minimum), insert, delete, delete maximum (minimum), increase key, decrease key, meld, make heap. Basic types of priority heaps: d-heap, leftist heap, skew heap, binomial heap, Fibonacci heap.	18	8			8	10
Текущий контроль (КСР)	1					
Промежуточная аттестация – зачет						
Итого	72	32			32	39

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет по окончании 2-го семестра и экзамен по окончании 3-го семестра).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Выполнение домашних практических заданий с последующей проверкой и обсуждением. Изучение литературы и проработка теоретического материала лекционных занятий.

Образовательный материал для самостоятельной работы студента:

1. Cormen, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L.; Stein, Clifford (2009). Introduction to Algorithms (3rd ed.). MIT Press and McGraw-Hill. ISBN 0-262-03384-4.
2. Алексеев В. Е., Таланов В. А. Графы. Модели вычислений. Алгоритмы. 2016. 248 стр. (режим доступа: электронная библиотека ONLINE, переход по ссылке: <http://www.knigafund.ru/books/178443>).
3. www.youtube.com/watch?v=pxR3UoO9c9w, www.yandexdataschool.ru/edu-process/courses/algorithms.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
---------------	--	---	--	---	---	---	--

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

вопросы	Код формируемой компетенции
1. O-символика. Примеры на основе алгоритмов сортировки и поиска в массиве. / O-notation. Examples based on basic sorting and searching algorithms.	ПК-5
2. Метрики сложности алгоритмов: сложность в худшем случае, сложность в лучшем случае, рандомизированная оценка сложности в среднем. Примеры на основе алгоритмов сортировки и поиска в массиве. / Metrics of algorithm complexity: worst case complexity, best case complexity, randomized average complexity. Examples based on basic sorting and searching	ПК-5

algorithms.	
<p>3. Амортизированная сложность. Метод потенциалов. Примеры на основе операции вставки в конец массива и на основе структуры двоичного счетчика.</p> <p>Amortized complexity. Potentials method. Examples based on the “push back” operation in arrays and based on the structure of binary counter.</p>	ПК-5
<p>4. Понятия хеш-таблицы, хеш-функции и коллизии. /</p> <p>The notions of hash-table, hash-function and collision.</p>	ПК-5
<p>5. Основные способы борьбы с коллизиями: метод цепочек, открытая адресация. /</p> <p>Basic methods for collision resolving: collision lists, open addressing.</p>	ПК-5
<p>6. Универсальное семейство хеш-функций. Пример такого семейства с доказательством.</p> <p>Universal family of hash-functions. Example of a such family, equipped with the proof.</p>	ПК-5
<p>7. Идеальное хеширование. Квадратичный метод и метод двойного хеширования /</p> <p>Perfect hashing. Quadratic method and double hashing method.</p>	ПК-5
<p>8. Хеширование кукушки.</p> <p>Cuckoo hashing.</p>	ПК-5
<p>9. Понятие бинарного поискового дерева. Основные операции.</p> <p>The notion of a binary search tree. Basic operations.</p>	ПК-5
<p>10. AVL-деревья.</p> <p>AVL-trees.</p>	ПК-5
<p>11. RB-деревья.</p> <p>RB-trees.</p>	ПК-5
<p>12. Splay-деревья.</p> <p>Splay-trees.</p>	ПК-5
<p>13. Декартовы деревья (дучи).</p> <p>Cartesian trees (treeps).</p>	ПК-5
<p>14. VEB деревья.</p> <p>VEB trees.</p>	ПК-5
<p>15. X-fast и Y-fast деревья.</p> <p>X-fast and Y-fast trees.</p>	ПК-5
<p>16. Понятие приоритетной очереди. Основные операции.</p>	ПК-5

The notion of a priority heap. Basic operations.	
17. d-кучи. d-heaps.	ПК-5
18. Левосторонние кучи и косые кучи. Lefttest heaps and skew heaps.	ПК-5
19. Биномиальные кучи. Binomial heaps.	ПК-5
20. Фибоначчиевы кучи. Fibonacci heaps.	ПК-5

5.2.2. Типовые тестовые задания (тесты) для оценки сформированности компетенции ПК-5.

1. Какие из следующих равенств являются правильными? /
What of the equalities below are correct?

- а) $n^2 = O(n^2 \log n)$ (+)
- б) $0.001 n^2 + 1000 n = O(n)$ (-);
- в) $0.001 n^2 + 1000 n = O(1000 n^2)$ (+)
- г) $100 = O(1)$. (+)

2. Какую сложность в худшем случае имеет быстрая сортировка? /
What is the worst case complexity of the quick sort algorithm?

- а) $O(n^2)$ (+);
- б) $O(n \log n)$; (-)
- в) $O(n)$ (-).

3. Какую рандомизированную в среднем сложность имеет быстрая сортировка? /
What is the randomized average complexity of the quick sort algorithm?

- а) $O(n^2)$ (+);
- б) $O(n \log n)$; (+)
- в) $O(n)$ (-).

5.2.3. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ПК-5.

1. По заданной последовательности операций построить splay-дерево. Build the splay-tree using the given sequence of operations.
2. По заданной последовательности операций построить cartesian-дерево. Build the cartesian-tree using the given sequence of operations.
3. По заданной последовательности операций построить AVL-дерево. Build the AVL-tree using the given sequence of operations.
4. По заданной последовательности операций построить d-кучу. Build the d-heap using the given sequence of operations.
5. По заданной последовательности операций построить левастую кучу. Build the leftest heap using the given sequence of operations.
6. По заданной последовательности операций построить биномиальную кучу. Build the binomial heap using the given sequence of operations.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

Cormen, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L.; Stein, Clifford (2009). Introduction to Algorithms (3rd ed.). MIT Press and McGraw-Hill. ISBN 0-262-03384-4.

Алексеев В. Е., Таланов В. А. Графы. Модели вычислений. Алгоритмы. 2016. 248 стр. (режим доступа: электронная библиотека ONLINE, переход по ссылке: <http://www.knigafund.ru/books/178443>).

б) дополнительная литература:

Ackermann H., Röglin H., Schellbach U., Schweer N. (2010) Chapter 4. Analysis of Algorithms. In: Müller-Hannemann M., Schirra S. (eds) Algorithm Engineering. Lecture Notes in Computer Science, vol 5971. Springer, Berlin, Heidelberg

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14866-8_4

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

www.youtube.com/watch?v=pxR3UoO9c9w, www.yandexdataschool.ru/edu-process/courses/algorithms.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и семинарского типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО/ОС ННГУ по направлению 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор: к.ф.-м.н., доц. _____ Грибанов Д. В.

Рецензент (ы) _____

Заведующий кафедрой: д.ф.м.н., проф. _____ Кузнецов М. И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30.11.2022 года, протокол № 3.