

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

**Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Working programme of the discipline

Analysis and development of algorithms

Higher education level

Bachelor degree

Area of study / speciality

02.03.02 - Fundamental Informatics and Information Technology

Focus /specialization of the study programme

General Profile

Mode of study

full-time

Nizhny Novgorod

Year of commencement of studies 2025

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.13 Анализ и разработка алгоритмов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|--|--|--|------------------------------------|---|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач | <p>УК-1.1: Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации</p> <p>УК-1.2: Умеет соотносить разнородные явления и систематизировать их в рамках избранных видов профессиональной деятельности</p> <p>УК-1.3: Имеет практический опыт работы с информационными источниками, опыт научного поиска, создания научных текстов</p> | <p>УК-1.1: Знать основные понятия теории алгоритмов: структура данных, алгоритм, модель вычислений, RAM машина, пространственная сложность, временная сложность, сложность в худшем/среднем/лучшем случае, рандомизированная сложность. Важнейшие структуры данных, алгоритмы сортировки и работы с графами и их сложности, динамическое программирование.</p> <p>УК-1.2: Уметь сравнивать асимптотическое поведение функций, производить математический анализ сложности алгоритмов.</p> <p>УК-1.3: Иметь навыки применения знаний о стандартных алгоритмах и структурах данных для эффективного решения похожих задач. Иметь опыт самостоятельного изучения учебника и материалов в сети Интернет для нахождения оптимальных алгоритмов решения задач.</p> | Задачи | <p>Зачёт: Тест Контрольная работа</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 24 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 0 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 47 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование 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 (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | |
| 1. Анализ алгоритмов / Algorithm analysis | 12 | 4 | | 4 | 8 |
| 2. Структуры данных / Data structures | 12 | 4 | | 4 | 8 |
| 3. Хеширование / Hashing | 6 | 2 | | 2 | 4 |
| 4. Сортировка / Sorting | 12 | 4 | | 4 | 8 |
| 5. Алгоритмы на графах / Graph algorithms | 18 | 6 | | 6 | 12 |
| 6. Динамическое программирование / Dynamic programming | 11 | 4 | | 4 | 7 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 72 | 24 | 0 | 25 | 47 |

Contents of sections and topics of the discipline

1. Модель вычислений с RAM. Сложность в худшем/среднем/лучшем случае. «O большое» и родственные обозначения. Скорость роста и отношение доминирования. Примеры: сортировка выбором и вставкой, поиск в строке, умножение матриц.

The RAM model of computation. Best-case, worst-case, and average-case complexity. Big Oh notation. Growth rates and dominance relations. Examples: selection sort, insertion sort, string pattern matching, matrix multiplication.

2. Массивы. Указатели и связанные структуры. Стеки и очереди. Словари. Двоичные деревья поиска. Сбалансированные деревья. Очереди с приоритетом.

Arrays. Pointers and linked structures. Stacks and queues. Dictionaries. Binary search trees. Balanced search trees. Priority queues.

3. Разрешение коллизий. Парадокс дней рождения. Алгоритм Рабина-Карпа.

Collision resolution. Birthday paradox. Rabin-Karp algorithm.

4. Пирамидальная сортировка, сортировка слиянием, быстрая сортировка. Нижняя граница на сортировку.

Heapsort, mergesort, quicksort. Lower bounds for sorting.

5. Поиск в ширину, в глубину и их приложения. Алгоритмы Прима и Краскала. Алгоритмы Дейкстры и Флойда-Уоршелла.

Breadth-first search, depth-first search and their applications. Prim's and Kruskal's algorithms. Dijkstra's and Floyd-Warshall algorithms.

6. Сравнение кэширования и вычисления. Приближенное сравнение строк. Синтаксический разбор контекстно-свободных грамматик.

Caching vs. computation. Approximate string matching. Parsing context-free grammars.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Skiena, Steven S. The Algorithm Design Manual. 3rd Edition. Springer, 2020.

5. Assessment tools for ongoing monitoring of learning progress and interim certification in the discipline (module)

5.1 Model assignments required for assessment of learning outcomes during the ongoing monitoring of learning progress with the criteria for their assessment:

5.1.1 Model assignments (assessment tool - Tasks) to assess the development of the competency УК-1:

1. Let $f(n)$ be the time complexity of the following algorithm, which is the number of times * is printed. Provide upper and lower bounds on $f(n)$.

```

for k = 1 to n:
  x = k
  while (x < n):
    print '*'
    x = 2x

```

2. Consider the following functions: (1) \sqrt{n} , (2) 2^n , (3) $n \cdot \log n$, (4) $\log n$, (5) $n^{1/3} + \log n$, (6) $(\log n)^3$, (7) $n/\log n$, (8) $\log \log n$, (9) $(1/3)^n$. Arrange them from the lowest to the highest order.

3. Letters E, A, S, Y, Q, U, T, I, O, N, in this order, are inserted into an empty hash table of size $M = 5$ that uses chaining to deal with collisions. The hash function is $h(s) = 11k \bmod M$ where $k = 1, 2, \dots$ is the number of letter s in the alphabet. Draw the final state of the hash table.

4. Consider a directed weighted graph given by the following weight matrix. Produce a trace of Dijkstra's algorithm starting from vertex 1. Show the content of the distance array and the parent array at each iteration.

| | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>e</i> | <i>f</i> | <i>g</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <i>a</i> | 0 | ∞ | ∞ | 4 | ∞ | ∞ | 10 |
| <i>b</i> | 7 | 0 | 2 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| <i>c</i> | 4 | ∞ | 0 | ∞ | 5 | ∞ | ∞ |
| <i>d</i> | ∞ | ∞ | 8 | 0 | ∞ | 5 | 2 |
| <i>e</i> | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 | 7 | ∞ |
| <i>f</i> | ∞ | ∞ | ∞ | 1 | ∞ | 0 | 6 |
| <i>g</i> | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 |

5. Let $G = (V, E)$ be an undirected weighted graph, and let T be the shortest-path spanning tree rooted at a vertex v . Suppose now that all the edge weights in G are increased by a constant number k . Is T still the shortest-path spanning tree from v ?

Assessment criteria (assessment tool — Tasks)

| Grade | Assessment criteria |
|-------|---|
| pass | Задача решена полностью или решена основная часть задачи, или задача решена с недочетами. The problem is solved completely, or the main part of the problem is solved, or the problem is solved with some shortcomings. |
| fail | Задача не решена или сделан только первый этап решения задачи. The problem has not been solved or only the first stage of solving the problem has been completed. |

5.2. Description of scales for assessing learning outcomes in the discipline during interim certification

Шкала оценивания сформированности компетенций

| | | | | | | | |
|--|---|--|--|---|--|---|--|
| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения 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 несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | 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 | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. 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 |

Scale of assessment for interim certification

| Grade | | Assessment criteria |
|-------|-------------|---|
| pass | outstanding | All the competencies (parts of competencies) to be developed within the discipline have been developed at a level no lower than "outstanding", the knowledge and skills for the relevant competencies have been demonstrated at a level higher than the one set out in the programme. |

| | | |
|-------------|-----------------------|---|
| | excellent | All the competencies (parts of competencies) to be developed within the discipline have been developed at a level no lower than "excellent", |
| | very good | All the competencies (parts of competencies) to be developed within the discipline have been developed at a level no lower than "very good", |
| | good | All the competencies (parts of competencies) to be developed within the discipline have been developed at a level no lower than "good", |
| | satisfactory | All the competencies (parts of competencies) to be developed within the discipline have been developed at a level no lower than "satisfactory", with at least one competency developed at the "satisfactory" level. |
| fail | unsatisfactory | At least one competency has been developed at the "unsatisfactory" level. |
| | poor | At least one competency has been developed at the "poor" level. |

5.3 Model control assignments or other materials required to assess learning outcomes during the interim certification with the criteria for their assessment:

5.3.1 Model assignments (assessment tool - Test) to assess the development of the competency УК-1

1. What is the complexity of removing an element from a dictionary that is implemented as a unsorted array? An element is specified by the array index where the element is stored and not by the key that is stored there.

- (a) $O(1)$
- (b) $O(\log n)$
- (c) $O(n)$
- (d) $O(n \cdot \log n)$

2. Hash table a good choice for implementing dictionaries that provide operations involving key order, such as finding the minimal key or the successor of a given key.

- (a) True
- (b) False

Assessment criteria (assessment tool — Test)

| Grade | Assessment criteria |
|-------|--|
| pass | Не менее 60% правильных ответов. At least 60% correct answers. |
| fail | Менее 60% правильных ответов. Less than 60% correct answers. |

5.3.2 Model assignments (assessment tool - Control work) to assess the development of the competency УК-1

1. Consider the following functions: (1) 2^n , (2) n^2 , (3) $n^{1/2}$, (4) $n + \lg(n)$, (5) $n \cdot \lg(n)$, (6) $(\lg(n))^2$, (7) $n!$. Arrange them from the lowest to the highest order.

2. Insert the keys 39, 33, 29, 27, 1, 21, in that order, into an initially empty table of size $M = 10$ using sequential open addressing (linear probing). Use the hash function $h(k) = 11k \bmod M$ to transform a key k into a table index. Write the content of the table after each insertion step.

Assessment criteria (assessment tool — Control work)

| Grade | Assessment criteria |
|-------|--|
| pass | Все задачи решены полностью или решение задач обосновано, но допущены арифметические ошибки. All problems are solved completely or the solution to the problems is justified, but arithmetic errors were made. |
| fail | Задачи не решены или сделан только первый этап в решении задач. The problems are not solved or only the first stage in solving the problems has been completed. |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Dr. Basant Agarwal. Hands-On Data Structures and Algorithms with Python : Store, Manipulate, and Access Data Effectively and Boost the Performance of Your Applications. - Packt Publishing, 2022. - 1 online resource. - ISBN 9781801076814. - ISBN 9781801073448. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=854399&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Cormen, Th. H. Introduction to algorithms. - 3rd ed. - Cambridge, MA ; London : The MIT press, 2009. - XI, 1292 p. - ISBN 978-0-262-03384-8 : 4972,00., 1 экз.
2. Kingston, Jeffrey H. Algorithms and data structures: design, correctness, analysis. - 2nd ed. - Harlow: Addison Wesley Longman, 1998. - XI, 380 p. - (International computer science series). - ISBN 0-201-40374-9 : 1357-00., 1 экз.
3. Shiffer, Clifford A. A practical introduction to data structures and algorithm analysis. - Upper Saddle River : Prentice Hall, 1997. - XVI, 494 p. - ISBN 0-13-190752-2 : 2303-00., 1 экз.

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

Lecture slides for an analysis of algorithms course. UR:

<https://www3.cs.stonybrook.edu/~skiena/373/videos>.

Visualizing Algorithms. URL: <https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/Algorithms.html>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), 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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Fundamental Informatics and Information Technology.

Авторы: Макаров Евгений Маратович.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.