

Пояснительная записка

Направление

естественно-научная направленность

Название программы

«Информатика и программирование»

Авторы программы.

Станкевич Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент факультета информационных технологий и программирования ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО), сотрудник Международной лаборатории «Компьютерные технологии»

Целевая аудитория

Для обучения в рамках программы принимаются обучающиеся 8 –10 классов образовательных организаций Ленинградской области, проявившие интерес к предмету и продемонстрировавшие высокую результативность при освоении общеобразовательной программы, победители и призеры Регионального этапа Всероссийской олимпиады школьников по информатике, других конкурсных мероприятий регионального и всероссийского уровня, а также в соответствии с рейтингом отборочной олимпиады Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (НИУ ИТМО)

Аннотация к программе

Обучение школьников по дополнительной образовательной программе «Информатика и программирование» будет способствовать реализации их потенциальных способностей в области информатики и информационных технологий. Большим стимулом для школьников является также участие в конкурсах и научно-практических конференциях, где они могут продемонстрировать результаты своего труда:

- многообразие программных разработок, созданных на различных языках программирования;
- проекты, реализованные мультимедийными средствами;
- исследовательские работы в каких-либо предметных областях, использующие ИКТ.

Предлагаемая программа ставит своей задачей подготовку ребят к уровню областных и Всероссийских олимпиад, а также дает возможность ориентировать учащихся на выбор профессий, связанных с компьютерами, программированием и новыми информационными технологиями, широко востребованными в настоящее время на рынке труда.

Цели и задачи программы

- Подготовить школьников к участию в заключительных этапах Всероссийской олимпиады школьников, Всероссийской командной олимпиады школьников и в международных соревнованиях;
- провести обзор разделов теоретической информатики, в том числе теории сложности, теории вычислимости, методов синтаксического разбора, параллельного программирования, функционального программирования;
- изучить алгоритмы работы со строками, в том числе алгоритмы построения суффиксных структур данных: суффиксного массива, суффиксного дерева, суффиксного автомата, и научиться решать задачи с их использованием;

- изучить алгоритмы комбинаторной оптимизации, в том числе алгоритмы построения максимального паросочетания, максимального потока и потока минимальной стоимости, научиться решать задачи с их использованием;
- изучить динамическое программирование, методы оптимизации динамического программирования, в том числе трюк с выпуклой оболочкой, метод разделяй и властвуй,
- изучить основы теории комбинаторных игр, теории Шпрага-Гранди и Смита, научиться решать задачи с их использованием;
- изучить алгоритмы, связанные с линейной алгеброй и теорией чисел, в том числе алгоритм Гаусса, алгоритм факторизации многочленов, быстрые способы факторизации, быстрый алгоритм проверки на простоту, алгоритм быстрого преобразования Фурье, научиться решать задачи с их использованием;
- изучить метод перебора с отсечением, связанные с ним методы рекурсивного перебора, метода ветвей и границ, применение методов для определения победителя в комбинаторных играх с оценкой позиции, использование альфа-бета отсечения, научиться решать задачи с их использованием;
- изучить алгоритмы обработки деревьев, включая поиск наименьшего общего предка, решение задач на путях с использованием heavy-light декомпозиции;
- изучить основы теории матроидов и ее применение для обоснования корректности жадных алгоритмов;
- научиться реализовывать изученные методы и алгоритмы на практике, включая оценку трудоемкости реализации, владение стандартной библиотекой выбранного языка программирования, написание программы на выбранном языке программирования, проведение тестирования и отладки программы;
- научиться определять тему задачи и подбирать необходимые методы решения, включая задачи на жадные алгоритмы, динамическое программирование, строковые алгоритмы, геометрические задачи, задачи на комбинаторику, задачи на алгоритмы на графах;
- изучить навыки командной работы и взаимодействия на командной олимпиаде.

Ожидаемые результаты

В результате освоения образовательной программы школьники:

- узнают о различных разделах информатики, актуальных проблемах и направлениях их решения;
- получают опыт программирования многопроцессорных систем, функционального программирования, использования методов разбора;
- узнают базовые понятия теории вычислимости и теории сложности;
- научатся решать задачи с использованием алгоритмов на строках и суффиксных структур данных;
- научатся решать задачи с использованием алгоритмов поиска максимального потока и потока минимальной стоимости,
- научатся решать задачи с использованием динамического программирования и добиваться асимптотически лучшего времени работы с использованием методов оптимизации динамического программирования;
- научатся решать задачи о комбинаторных играх на графах;
- научатся решать задачи с использованием алгоритмов линейной алгебры и теории чисел;

- научатся использовать перебор с отсечениями для решения задач;
- научатся решать задачи на деревьях с использованием алгоритмов поиска наименьшего общего предка и heavy-light декомпозиции;
- научатся применять теорию матроидов для обоснования применения жадных алгоритмов;
- получат опыт реализации изложенных алгоритмов на выбранном языке программирования, тестирования и отладки программ;
- получат опыт работы в команде, научатся организовывать взаимодействие на командной олимпиаде.

Содержательная характеристика программы

Обзорные занятия по теоретической информатике

Теория вычислимости (лекция 2ч)

- Теорема о рекурсии
- Примеры невычислимых функций
- Доказательство теорем с использованием теоремы о рекурсии

Программирование для распределенных систем (лекции 2ч, практика 6ч)

- Проблемы развития современных процессоров: почти достигнут физический предел скорости процессоров, дальнейшее ускорение возможно только за счет использование многопроцессорных машин
- Проблемы многопроцессорных алгоритмов. Примеры задач, которые хорошо распределяются (поиск максимума в массиве), примеры задач, которые плохо распределяются.
- Модель распределенных вычислений. Вычислительные узлы, обмен сообщениями. Варианты программной реализации модели.
- Базовые техники решения распределения задач.
- Примеры задач.

Теория сложности (лекция 2ч)

- Сложностные классы P и NP
- NP-полнота
- Примеры NP-полных задач

Функциональное программирование (лекции 2ч, практика 6ч)

- Императивное и функциональное программирование, различие подходов
- Полностью функциональные языки, язык программирования Хаскель
- Базовые типы, списки, кортежи
- Функции, карринг
- Монады

Методы трансляции (лекции 4ч, практика 8ч)

- Контекстно-свободные грамматики, правила вывода, деревья разбора
- LL(1)-грамматики, нисходящий разбор
- LR(1)-грамматики

- Восходящий разбор методом перенос-свертка, ситуации, замыкание множества ситуаций, автомат по поиску основы

Тематические занятия по алгоритмам

Алгоритмы на строках (лекции 8ч, практика 12ч)

Алгоритм Ахо-Корасик

- Задача поиска подстроки в тексте
- Одновременный поиск нескольких подстрок в тексте
- Представление набора строк для быстрой работы
- Бор: структура, основные операции
- Суффиксные ссылки. Определение, свойства
- Алгоритм быстрого построения суффиксных ссылок.
- Использование бора с суффиксными ссылками для решения задач множественного поиска
- Поиск первого вхождения любой строки из множества
- Проверка вхождения каждой строки из множества
- Подсчет числа вхождений каждой строки из множества
- Построение детерминированного конечного автомата по бору с суффиксными ссылками
- Примеры задач

Суффиксный массив

- Суффиксный массив. Определение, свойства.
- Построение обычной сортировкой за $O(n \log n)$ сравнений.
- Пояснение, что для реальных текстов сравнение строк работает быстро
- Пример, когда сравнение строк работает за $\Omega(n)$
- Сравнение строк с помощью хешей и двоичного поиска. Итоговое время $O(n \log^2 n)$.
- Сведение к сортировке циклических сдвигов.
- Построение за $O(n \log^2 n)$ удвоением.
- Ускорение с помощью сортировки подсчетом
- Наидлиннейший общий префикс и Алгоритм Касаи.
- Примеры задач.

Суффиксное дерево

- Бор. Сжатый бор.
- Суффиксный бор, суффиксное дерево.
- Оценка размера сжатого суффиксного бора.
- Определение, свойства.
- Построение суффиксного бора за $O(n^2)$.
- Построение суффиксного дерева по суффиксному массиву за линейное время.
- Алгоритм Укконена.
- Сведение задачи о наибольшем общем префиксе двух суффиксов к задаче о наименьшем общем предке в дереве.
- Задача о наибольшей общей подстроке.

Суффиксный автомат

- Конечный автомат, определение, примеры

- Суффиксный автомат. Определение, свойства.
- Теория правых контекстов в языке.
- Алгоритм построения суффиксного автомата за $O(n)$
- Доказательство асимптотики
- Дерево суффиксных ссылок, связь с суффиксным деревом.
- Примеры задач.

Комбинаторная оптимизация (лекции 6ч, практика 10ч)

Паросочетания в двудольном графе

- Паросочетание: определение, свойства.
- Чередующиеся цепочки: определение, использование для увеличения паросочетания
- Доказательство существования чередующейся цепочки в немаксимальном паросочетании.
- Алгоритм нахождения чередующейся цепочки в двудольном графе: сведение к поиску пути из истока в сток, обход в глубину.
- Алгоритм Куна.
- Минимальное вершинное покрытие
- Максимальное независимое множество
- Максимальная клика
- Минимальное реберное покрытие
- Примеры задач

Потоки

- Определения: сеть, поток, разрез.
- Остаточная сеть.
- Теорема Форда-Фалкерсона.
- Алгоритм Форда-Фалкерсона.
- Поиск минимального разреза.
- Декомпозиция (поиск к непересекающихся путей в орграфе).
- Алгоритм Эдмондса-Карпа, доказательство существования максимального потока.
- Алгоритм масштабирования потока.
- Алгоритм Диница.
- Примеры задач на построение сети для поиска максимального потока.
- Решение задачи о максимальном паросочетании.
- Примеры задач на поиск минимального разреза.
- Сведение задачи о максимальном потоке в планарном графе к задаче о кратчайшем пути.

Поток минимальной стоимости

- Взвешенные потоки: определение.
- Формулировка задачи нахождения потока минимальной стоимости.
- Теорема об отрицательном цикле.
- Алгоритм построения потока минимальной стоимости устранением отрицательных циклов.
- Теорема о дополняющем пути минимальной стоимости.
- Нахождение дополняющего пути алгоритмом Форда-Беллмана.

- Применение потенциалов для получения неотрицательных весов.
- Финальная оценка времени работы.

Методы оптимизации задач динамического программирования (лекция 2ч, практика 4ч)

- Изменение функции динамического программирования
- Оценка мощности множества “полезных” состояний
- Использование структур данных для оптимизации вычисления функции динамического программирования
 - Метод двух указателей
 - Вычисление частичных сумм
 - Использование очереди с минимумом и дерева отрезков
 - Использование битовых оптимизаций
- Монотонность точки разреза, метод Кнута, примеры задач
- Convex hull trick: оптимизация вычисления функции, линейно зависящей от номера состояния. Структура данных для хранения выпуклой оболочки функций, способы хранения
- Метод разделяй-и-властвуй при использовании статической структуры данных вычисления функции динамического программирования
- Метод разделяй-и-властвуй при использовании монотонности точки разреза

Игры на графах (лекции 2ч, практика 4ч)

- Комбинаторная игра на графе.
- Игра на ациклическом графе, метод динамического программирования.
- Игра на графе с циклами. Ретроанализ.
- Вариации игры на графе: игра в поддавки, несимметричные игры, игры со штрафами
- Экзотические вариации: игра втроем, игра когда у игроков разные цели. Проблемы правильного определения игровой стратегии. Парадокс заключенного.
- Сумма игр. Решение с помощью построения графа пар.
- Игра ним.
- Эквивалентность игр, функция Гранди.
- Примеры задач.

Алгоритмы линейной алгебры и теории чисел (лекции 4ч, практика 6ч)

Алгоритмы линейной алгебры

- Постановка задачи решения системы линейных уравнений
- Алгоритм Гаусса
- Реализационные аспекты, реализация в вещественных числах и в арифметике остатков, выбор ведущего элемента
- Алгоритм Гаусса для булевых матриц, использование битового сжатия

Быстрое преобразование Фурье

- Операции с многочленами, представление многочленов в памяти компьютера.
- Задача интерполяции. Комплексные числа, операции с ними.
- Дискретное преобразование Фурье.
- Сведение задачи умножения многочленов к задаче дискретного преобразования Фурье.
- Определитель Вандермонда, обратное преобразование Фурье.

- Рекурсивный алгоритм быстрого преобразования Фурье.
- Оптимизация “Бабочка” для алгоритма быстрого преобразования Фурье.
- Битовый “разворот” числа и нерекурсивный алгоритм быстрого преобразования Фурье.
- Примеры задач на произведение многочленов.
- Метод умножения нескольких пар многочленов с вещественными коэффициентами с помощью одного умножения многочленов с комплексными коэффициентами.
- Дискретное преобразование Фурье в арифметике остатков.

Алгоритмы рекурсивного перебора (лекция 2ч, практика 4ч)

- Рекурсивный перебор
- Перебор масок
- Оптимизации: отсечения по ответу, метод ветвей и границ
- Использование рекурсивного перебора для решения комбинаторных игр с оценкой позиции
- Альфа-бета отсечения

Задачи на деревьях (лекции 4ч, практика 8ч)

Задачи RMQ и LCA

- Формулировка задачи RMQ.
- Предподсчет и запрос.
- Решение с помощью дерева отрезков за $[O(n), O(\log n)]$
- Решение с помощью разреженной таблицы за $[O(n \log n), O(1)]$.
- Решение задачи RMQ-offline с помощью системы непересекающихся множеств.
- Формулировка задачи LCA.
- Решение с помощью двоичных подъемов за $[O(n \log n), O(\log n)]$.
- Другие задачи на двоичные подъемы.
- Эйлеров обход дерева, сведение LCA \rightarrow RMQ.
- Алгоритм Фараха-Колтона-Бендера: LCA \rightarrow RMQ ± 1 ; RMQ и LCA за $[O(n), O(1)]$.
- Решение задачи LCA-offline, алгоритм Тарьяна.

Heavy-Light декомпозиция

- Пример задачи: поиск минимума на пути в дереве.
- Статическая задача: двоичные подъемы.
- Динамическая задача. Частный случай дерева в виде одного пути. Дерево отрезков.
- Тяжелые и легкие ребра. Разбиение на тяжелые пути.
- Оценка $\log(n)$ на число легких ребер на пути до корня.
- Разбиение пути до корня на легкие ребра и куски тяжелых путей.
- Ответ на запрос до корня за $O(\log^2(n))$
- Запрос между вершинами. Разделение пути на два. Нахождение LCA
- Финальный алгоритм за $O(\log^2(n))$

Матроиды (лекции 4ч, практика 8ч)

Основы теории матроидов

- Определение матроида

- Примеры матроидов
- Прямая сумма матроидов
- Теорема Радо-Эдмондса (жадный алгоритм)
- Теорема о базах
- Аксиоматизация матроида базами
- Теорема о циклах
- Аксиоматизация матроида циклами
- Ранговая функция, полумодулярность
- Аксиоматизация матроида рангами
- Двойственный матроид
- Оператор замыкания для матроидов
- Покрытия, закрытые множества

Пересечение матроидов

- Пересечение матроидов, определение, примеры
- Граф замен
- Алгоритм построения базы в пересечении матроидов

Содержание деятельности и способы организации образовательного процесса

Образовательная программа включает в себя теоретические и практические занятия по информатике, пробные туры олимпиад, лекции и семинары, проектную и исследовательскую деятельность обучающихся

Основной формой подведения итогов реализации дополнительной общеобразовательной программы является теоретическое и практическое **зачетные занятия**.

Теоретический зачет может быть организован в виде обсуждения ранее рассмотренных олимпиадных задачи и изученных структур данных и алгоритмов.

Практический зачет проводится в виде решения олимпиадных задач одной из реальных олимпиад по информатике.

Работа по программе строится на принципах

- Принцип преемственности в расширении знаний
- Принцип взаимосвязи базового компонента и дополнительных знаний.
- Принцип успешности
- Принцип творческого развития
- Принцип гуманизации и индивидуализации
- Принцип практической направленности
- Ориентация на личностные интересы, потребности, способности ребенка
- Единство обучения, воспитания, развития.
- Практико-деятельностная основа образовательного процесса.

Образовательные технологии

В ходе реализации образовательной программы используются следующие образовательные технологии:

- разноуровневое обучение – это педагогическая технология организации учебного процесса, в рамках которого предполагается разный уровень усвоения учебного материала, то есть глубина и сложность одного и того же учебного материала различна в группах уровня А, В, С, что дает возможность каждому ученику овладеть учебным материалом по отдельным предметам школьной программы на разном уровне (А, В, С), но не ниже базового, в зависимости от способностей и индивидуальных особенностей личности каждого учащегося; это технология,

при которой за критерий оценки деятельности ученика принимаются его усилия по овладению этим материалом, творческому его применению. Темы же, предписанные стандартами образования, остаются едины для всех уровней обучения.

- индивидуальное обучение с использованием компьютерных технологий – это технологии, которые облегчают доступ к информации, открывают возможности вариативности учебной деятельности, ее индивидуализации и дифференциации, позволяют по-новому организовать взаимодействие всех субъектов обучения, построить образовательную систему, в которой ученик был бы активным и равноправным участником образовательной деятельности. Применение компьютера помогает осуществлять разноуровневое обучение. Дифференцированный подход состоит в сочетании индивидуальной и групповой форм работы. Необходимость организации групповой дифференцированной и индивидуально дифференцированной форм деятельности учащихся следует из требований развивающего характера обучения и принципа индивидуального подхода к каждому ученику с целью максимального его развития.

- игровые педагогические технологии – это организация управления образовательным процессом в виде различных педагогических игр с четко поставленной целью обучения и соответствующим ей педагогическим результатом, которые могут быть обоснованы, выделены в явном виде и характеризуются учебно-познавательной направленностью.

- здоровьесберегающие педагогические технологии – совокупность форм и методов организации обучения детей без ущерба для их здоровья. Их можно рассматривать как сертификат безопасности для здоровья и как совокупность тех принципов, приемов, методов педагогической работы, которые дополняют традиционные педагогические технологии задачами здоровьесбережения.

Формы образовательного процесса

Интерактивные лекции, тренинги решения олимпиадных заданий, мастер-классы проектирования и моделирования, групповое проектирование, тестирование, дискуссии, самостоятельное решение задач в электронной среде, командные соревнования, индивидуальные собеседования и т.д.

№	Форма организации образовательного процесса	Соотношение численности детей и преподавателей
1.	Лекции	1 преподаватель на поток
2.	Дискуссии	1 ведущий и 1-3 ассистента
3.	Тестирование	<ul style="list-style-type: none"> • Индивидуально, за персональными компьютерами, весь поток одновременно; 1 руководитель, 1 специалист технической поддержки. • Индивидуально в аудитории весь поток одновременно – 1 руководитель
4.	Тренинг решения олимпиадных задач	Малые группы по 3-5 человек, 1 консультант на группу в 15 человек.
5.	Мастерские (мастер-классы)	Малые группы по 3-5 человек, 1 консультант на группу в 15 человек
6.	Конференция (круглый стол, дебаты, турнир и т.п.)	Группы по 5-15 человек, комиссия из 3-9 преподавателей
7.	Лабораторная работа	Группы по 10-12 человек, 1 преподаватель, 1 лаборант на группу

Трудоемкость программы

Общая трудоемкость программы – 160 часов (включая исследовательскую и проектную деятельность)

В том числе занятий

- тематических лекций - 32 часа
- практических занятий и разборов задач - 56 часов
- обзорных лекций по теоретической информатике - 12 часов
- практических по теоретической информатике - 20 часов
- исследовательская и проектная деятельность – 40 часов

Учебно-тематический план занятий

№	Тема и содержание занятия	Количество часов		
		всего	в том числе теория	В том числе практика
1 сессия (40 часов)				
1	Входное тестирование	4	1	3
2	Теория вычислимости	2	2	
3	Программирование для распределенных систем	8	2	6
4	Теория сложности	2	2	
5	Функциональное программирование	8	2	6
6	Методы трансляции	12	4	8
7	Проектная и исследовательская работа	4	2	2
	ИТОГО	40	15	25
2 сессия (40 часов)				
8	Алгоритмы на строках	20	8	12
9	Комбинаторная оптимизация	16	6	10
10	Проектная и исследовательская работа	4	1	3
	ИТОГО	40	15	25
3 сессия (40 часов)				
11	Методы оптимизации задач динамического программирования	6	2	4
12	Игры на графах	6	2	4
13	Алгоритмы линейной алгебры и теории чисел	10	4	6
14	Алгоритмы рекурсивного перебора	6	2	4
15	Проектная и исследовательская работа	12	4	8

	ИТОГО	40	14	26
16	Задачи на деревьях	12	4	8
17	Матроиды	12	4	8
18	Итоговое тестирование	4	-	4
19	Проектная и исследовательская работа	12	2	10
	ИТОГО	40	10	30

Оценка реализации программы и образовательные результаты программы

По итогам реализации профильной образовательной программы (в конце четвертой сессии) для ее участников проводится зачет. Зачет состоит из двух частей: теоретической и практической. В теоретической части зачета обучающийся должен ответить на вопросы по пройденному материалу, в практической части – решить несколько задач.

Каждый участник программы получает итоговую оценку по 100-балльной шкале. Оценка формируется как сумма баллов, полученных по итогам работы за 4 очные сессии и заключительного зачета, на основе которых формируется рейтинг.

Итоговая отметка формируется, исходя из следующих критериев:

Оценка текущей деятельности учащегося	30
Оценка теоретической части итогового зачета	30
Оценка практических навыков учащегося в рамках итогового зачета	40
ИТОГО:	100

Требования к условиям организации образовательного процесса

Для проведения практических занятий требуются компьютерные классы с доступом в Интернет, в том числе мобильные, оснащенные ноутбуками, подключаемыми к Интернету через сеть WI-FI. Количество компьютеров должно соответствовать количеству обучающихся. Для ряда теоретических занятий требуются помещения вместимостью до 100 человек, оборудованные стульями, маркерной доской с маркерами, проектором. Количество стульев должно соответствовать количеству обучающихся.

Требования к кадровому обеспечению

К работе в образовательной смене по математике привлекаются опытные педагоги в предметной области, имеющие высшее образование или ученую степень, члены жюри регионального или заключительного этапов всероссийской олимпиады школьников, обладающие следующими компетенциями:

- способность решать задачи углубленной информатики соответствующей ступени образования, в том числе новые, которые возникают в ходе работы с учениками, задачи олимпиад;
- использование информационных источников, периодики, слежение за последними открытиями в области информатики и знакомство с ними учащихся.
- поддерживать баланс между самостоятельным открытием, узнаванием нового и технической тренировкой, исходя из возрастных и индивидуальных особенностей каждого учащегося, характера осваиваемого материала

В ходе реализации образовательной программы преподаватель:

- содействует подготовке учащихся к участию в олимпиадах по информатике, конкурсах, исследовательских проектах, интеллектуальных марафонах.
- распознает и поддерживает высокую мотивацию и развивает способности ученика к занятиям информатикой, предоставляет ученику подходящие задания.
- предоставляет информацию о дополнительном образовании, возможности углубленного изучения информатики в других образовательных учреждениях, в том числе с применением дистанционных образовательных технологий.
- определяет на основе анализа учебной деятельности учащегося оптимальные (в том или ином образовательном контексте) способы его обучения и развития.

Электронные ресурсы программы

1. informatics.msk.ru, сайт по дистанционной подготовке по программированию, алгоритмам и решению олимпиадных задач.
2. neerc.ifmo.ru/school, сайт с архивом олимпиад по информатике.
3. Требования к проведению заключительного этапа ВсОИ www.rosolymp.ru.

Описание системы взаимодействия с партнерами

Научно-методическое и кадровое сопровождение образовательной программы осуществляют преподаватели Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО).

Экспертные заключения и рекомендации по использованию программы в системе российского образования