

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**А.В. Дворкович**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Технологии оптимизирующей компиляции
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра информатики и вычислительной техники
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: В.Е. Шампаров, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры информатики и вычислительной техники 30.08.2023

## Аннотация

Курс разработки оптимизирующих компиляторов посвящён основам построения компиляторов и описанию оптимизаций, применяемых в них. Курс охватывает темы, посвящённые каждому этапу работы компилятора - лицевой части, оптимизатору, хвостовой части. Слушатели изучат стадии лексического, синтаксического и семантического анализа, познакомятся с основными принципами кодогенерации, а также узнают о широком спектре оптимизаций начиная с локальных, и заканчивая межмодульными. Эти знания помогут как понимать логику работы самих компиляторов, так и видеть потенциальные узкие места производительности в пользовательском программном коде.

Курс проходит в формате семинарских занятий. Для успешного прохождения курса необходимо посещать занятия, слушать их и конспектировать, а также изучать дополнительную литературу.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области устройства и разработки оптимизирующих компиляторов, изучение различных способов представления программы, изучение классов оптимизирующих преобразований и построителей аналитической информации, ознакомление с организацией процесса разработки компилятора.

#### Задачи дисциплины

- лексического, синтаксического и семантического разбора программ на языках высокого уровня;
- алгоритмов поиска и преобразования графов, широко применяемых в оптимизирующей компиляции;
- классов оптимизирующих преобразований, их внутреннего устройства, а также сбора, построения и хранения аналитической информации, используемой в процессе работы оптимизаций;
- оптимизирующего планирования и генерации кода под целевую архитектуру;
- оптимизации работы с памятью;
- организации процесса разработки оптимизирующего компилятора.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации

ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- общее устройство современного оптимизирующего компилятора;
- принципы лексического, синтаксического и семантического разбора программ;
- основные аналитические структуры данных, используемые в оптимизирующих компиляторах;
- основные алгоритмы на графах и деревьях;
- общее представление об оптимизирующих преобразованиях;
- общее представление о реализации крупного программного проекта в области компиляторов.

уметь:

- преобразовывать исходную программу на языке высокого уровня в промежуточное представление;
- анализировать промежуточное представление программы;
- строить аналитические структуры данных по промежуточному представлению;
- строить алгоритмы на аналитических структурах данных, используемых в оптимизирующем компиляторе;
- моделировать работу простых потоковых, цикловых и межпроцедурных оптимизаций на промежуточном представлении.

владеть:

- современными программными методиками, используемыми в оптимизирующих компиляторах;
- приемами организованной разработки и сопровождения крупного программного проекта.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в компиляторы		2		1
2	Лексический анализ		2		1
3	Синтаксический анализ		2		1
4	Семантический анализ		2		1
5	Промежуточное представление программы		2		1
6	Планирование и генерация кода		2		1
7	Введение в оптимизации		2		1
8	Локальные оптимизации		2		1
9	Оптимизации потока управления		2		1
10	Оптимизации памяти		2		1
11	Оптимизации циклов		4		2
12	Межпроцедурные и межмодульные оптимизации		2		1
13	Анализ указателей		4		2
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	45 час., 1 зач.ед.
--------------------	--------------------

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

##### 1. Введение в компиляторы

Основные понятия и виды трансляторов. Устройство современных компиляторов. История развития компиляторов.

##### 2. Лексический анализ

Определение и задача лексического анализа. Регулярные выражения. Практические вопросы создания лексических анализаторов.

##### 3. Синтаксический анализ

Определение и задача синтаксического анализа. Формальные грамматики. Деревья разбора.

##### 4. Семантический анализ

Определение и задача семантического анализа. Таблицы символов. Области видимости. Типы данных.

##### 5. Промежуточное представление программы

Определение и виды промежуточных представлений. Основные языковые конструкции в представлении.

##### 6. Планирование и генерация кода

Основные стадии работы хвостовой части компилятора. Алгоритмы планирования инструкций. Алгоритмы распределения регистров.

##### 7. Введение в оптимизации

Определение и задача оптимизаций. Классификация оптимизаций.

##### 8. Локальные оптимизации

Локальные оптимизации потока данных. Оптимизации алгебраических выражений. Удаление мёртвого кода.

##### 9. Оптимизации потока управления

Задача оптимизации потока управления. Упрощение условных конструкций. Сортировка графа потока управления. Оптимизация конструкций switch.

##### 10. Оптимизации памяти

Виды памяти в программе. Оптимизация работы со стеком. Оптимизация работы с массивами.

##### 11. Оптимизации циклов

Основные понятия циклов. Оптимизации циклов для устранения избыточности. Оптимизации циклов для работы с кешем. Оптимизации циклов для уплотнения широкой команды.

## 12. Межпроцедурные и межмодульные оптимизации

Оптимизации вызовов функций. Проблемы неявных вызовов функций. Проблемы и способы решения межпроцедурных оптимизаций в разных.

## 13. Анализы указателей

Понятие указателей и их роль во время оптимизации. Определение и задача анализа указателей. Классификация и виды анализов указателей.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Компьютер и мульти-медийное оборудование (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ахо, А. В. [и др.] ; [пер. с англ. и ред. И. В. Красикова] .— 2-е изд. — М. : Вильямс, 2011 .— 1184 с.

### Дополнительная литература

1. Искусство программирования для ЭВМ [Текст] : в 7 т. Т. 2 : Получисленные алгоритмы : [учеб. пособие для вузов] / Д. Кнут ; пер. с англ. Г. П. Бабенко [и др.] ; под ред. К. И. Бабенко, В. С. Штаркмана .— М. : Мир, 1977 .— 724 с.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Мультимедийные технологии. MS PowerPoint , демонстрация презентаций.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам занятий, учебной и научной литературе);
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра информатики и вычислительной техники
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.Е. Шампаров, ассистент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Технологии оптимизирующей компиляции» обучающийся должен:

### знать:

- общее устройство современного оптимизирующего компилятора;
- принципы лексического, синтаксического и семантического разбора программ;
- основные аналитические структуры данных, используемые в оптимизирующих компиляторах;
- основные алгоритмы на графах и деревьях;
- общее представление об оптимизирующих преобразованиях;
- общее представление о реализации крупного программного проекта в области компиляторов.

### уметь:

- преобразовывать исходную программу на языке высокого уровня в промежуточное представление;
- анализировать промежуточное представление программы;
- строить аналитические структуры данных по промежуточному представлению;
- строить алгоритмы на аналитических структурах данных, используемых в оптимизирующем компиляторе;
- моделировать работу простых потоковых, цикловых и межпроцедурных оптимизаций на промежуточном представлении.

### владеть:

- современными программными методиками, используемыми в оптимизирующих компиляторах;
- приемами организованной разработки и сопровождения крупного программного проекта.



### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

1. Для выбранного языка программирования изучить историю появления и развития, дать описание существующих реализаций, оценить влияние на последующие идеи и разработки.
2. Изучить существующие алгоритмы реализации регулярных выражений, выяснить какой именно алгоритм применяется а заданном компиляторе.
3. Изучить существующие генераторы синтаксических анализаторов, выяснить какой именно алгоритм применяется а заданном компиляторе.
4. Для заданного языка дать описание системы типов, назвать её сильные и слабые стороны.
5. Изучить промежуточные представления в заданном компиляторе, описать в его терминах основные программные конструкции.
6. Изучить алгоритмы планирования ресурсов и кода, подготовить пример для заданной аппаратной платформы.
7. Подготовить список основных оптимизаций для заданного компилятора
8. Изучить дополнительные локальные оптимизации, дать их описание, предназначение, сильные и слабые стороны
9. Изучить дополнительные оптимизации потока управления, дать их описание, предназначение, сильные и слабые стороны
10. Изучить дополнительные оптимизации памяти, дать их описание, предназначение, сильные и слабые стороны
11. Изучить дополнительные оптимизации циклов, дать их описание, предназначение, сильные и слабые стороны
12. Изучить дополнительные глобальные оптимизации, дать их описание, предназначение, сильные и слабые стороны
13. Изучить дополнительные анализы указателей, дать их описание, предназначение, сильные и слабые стороны

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Понятие компилятора и прочие виды трансляторов.
2. Логическое устройство компилятора и сопутствующих инструментов.
3. История появления и развития компиляторов.
4. Задачи лексического анализа и способы описания лексем.
5. Реализация регулярных выражений в коде.
6. Понятие грамматики, их виды.
7. Задачи синтаксического анализа, способы описания синтаксиса.
8. Дерево разбора программы: предназначение, основные проблемы, способы решения.
9. Семантический анализ. Системы типов языка.
10. Реализация типов в языке. Представление, взаимодействие.
11. Объекты программы. Время жизни, видимость.
12. Промежуточное представление. Виды, примеры, различия.
13. Промежуточное представление. Основные конструкции: условия, циклы, вызовы.
14. Граф потока управления. Предназначение, основные конструкции: условия, циклы, вызовы.
15. Нумерация графа.
16. Циклы в графе потока управления. Определения, связанные понятия.
17. Граф вызовов.
18. Поток данных.
19. Планирование операций.
20. Распределение регистров.
21. Задачи и классификация оптимизаций.
22. Peephole: набор локальных оптимизаций.
23. Оптимизация алгебраических выражений. Сбор общих подвыражений.
24. Удаление мёртвого кода.
25. Устранение избыточности графа потока управления: лишние и недостижимые узлы.
26. Оптимизация условных конструкций.

27. Устранение переходов и улучшение работы с кэшем инструкций.
28. Слияние условных конструкций (if-conversion).
29. Понятие и структура цикла.
30. Оптимизации циклов для улучшения работы с кэшем данных.
31. Инварианты в цикле и способы их устранения.
32. Раскрутка цикла.
33. Программная конвейеризация цикла.
34. Модели сборки приложений.
35. Межпроцедурные оптимизации над вызовами функций.
36. Девиртуализация и подстановка неявных вызовов.
37. Предназначение анализов указателей и их взаимодействие с оптимизациями.
38. Виды анализов указателей, хранение результатов анализов.
39. Алгоритмы выполнения анализов указателей.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

Во время проведения экзамена и зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.