

УТВЕРЖДЕНА

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«24» июня 2025 г.
Протокол №2

**Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Дизайн компиляторов»**

Направление подготовки: 02.03.01 Математика и компьютерные науки

Направленность (профиль) подготовки: Искусственный интеллект

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Срок освоения программы: 4 года

Год набора: 2025

**Москва
2025**

Содержание

1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)	3
2. Перечень планируемых результатов обучения	4
3. Тематический план	6
4. Содержание дисциплины (модуля)	6
5. Учебно-методическое обеспечение	7
6. Материально-техническое обеспечение	7
7. Методические и оценочные материалы	9

1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Дизайн компиляторов» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по специальности 02.03.01 Математика и компьютерные науки, профиль Искусственный интеллект, утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 807 от 23.08.2017 года.

Изучение дисциплины (модуля) «Дизайн компиляторов» важно для понимания принципов преобразования высокоуровневого кода в эффективный машинный код, что способствует оптимизации работы программ и систем. Это знание позволяет создавать новые языки программирования и инструменты разработки, повышая производительность и надежность программного обеспечения.

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина (модуль) включена в учебный план по программе подготовки бакалавриата по направлению 02.03.01 Математика и компьютерные науки, профиль Искусственный интеллект и входит в вариативную часть Блока 1, формируемую участниками образовательных отношений.

Дисциплина (модуль) является выборной и доступна для изучения на 2, 3 или 4 курсе в 4, 5, 6, 7, 8 семестрах на выбор.

Цель изучения дисциплины (модуля): освоение методов и принципов разработки компиляторов для преобразования и оптимизации программного кода.

Задачи изучения дисциплины (модуля):

— изучить основные угрозы и уязвимости веб-приложений, включая OWASP Top 10 (такие как инъекции, XSS и CSRF), а также механизмы их эксплуатации и выявления с использованием инструментов анализа;

— практические методы защиты, включая аутентификацию, авторизацию, шифрование данных, безопасную разработку кода и конфигурацию серверов, с акцентом на фреймворки вроде Django, Spring или React;

— развить навыки проведения пентестов, аудита безопасности и реагирования на инциденты, включая создание политик безопасности и интеграцию инструментов мониторинга для минимизации рисков в реальных проектах.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:

знать:

- принципы компиляции кода и устройства компиляторов;
- техники оптимизации сгенерированного кода;
- алгоритмы вывода типов для динамических языков программирования;

уметь:

- описывать формальную грамматику языка;
- использовать современные инструменты для генерации кода компилятора;
- анализировать внутреннее представление программ;
- выполнять преобразования внутреннего представления программ;

владеть:

- навык реализации статического анализатора кода;
- навык реализации автоматического перевода кода из одного языка программирования в другой.

2. Перечень планируемых результатов обучения

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) при проведении учебных занятий в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками Университета и в форме самостоятельной работы обучающихся:

Компетенция	Содержание компетенции	Индикатор компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1.	Знает методы поиска и анализа информации в области разработки, основные принципы критической оценки источников информации и их релевантности
		УК-1.2.	Умеет критически оценивать источники информации и синтезировать данные из различных источников для решения задач, применять системный подход к анализу и решению комплексных проблем
		УК-1.3.	Имеет практический опыт работы с современными инструментами и технологиями для обработки информации, формулировании и структурировании задач на основе полученной информации
ОПК-1.	Способен консультировать и использовать фундаментальные знания в области математического анализа, комплексного и функционального анализа алгебры, аналитической геометрии, дифференциальной геометрии и топологии, дифференциальных уравнений, дискретной математики и математической логики, теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов, численных методов, теоретической механики в профессиональной деятельности	ОПК-1.1.	Знает основные концепции и теории в области математического анализа и смежных дисциплин; методы и подходы, используемые в различных областях математики
		ОПК-1.2.	Умеет применять математические методы для решения профессиональных задач
		ОПК-1.3.	Имеет практический опыт разработки и реализации математических моделей в профессиональной деятельности
ОПК-6	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	ОПК-6.1.	Знает алгоритмы разработки, компьютерные программы, а также алгоритмы вычислительной математики в области искусственного интеллекта
		ОПК-6.2.	Умеет разрабатывать математические программные продукты и комплексы с использованием современных технологий программирования

			в области искусственного интеллекта
		ОПК-6.3.	Имеет практический опыт разработки интеллектуальных информационных систем для визуализации результатов исследований в области искусственного интеллекта
ПК-1.	Способен формулировать задачи с математической точностью, обосновывать утверждения строго и анализировать полученные результаты в области математики и компьютерных наук	ПК-1.1.	Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических наук, программирования и информационных технологий
		ПК-1.2.	Умеет находить, формулировать и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности в математике и информатике
		ПК-1.3.	Имеет опыт работы с задачами в области математики и компьютерных наук, включая применение математических методов для решения практических задач

3. Тематический план

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Трудоемкость, академические часы				ТКУ (текущий контроль успеваемости)
		Очная форма				
		Контактная работа		Контроль	Самостоятельная работа	
Лекции	Семинары (практические занятия)					
1	Формальные грамматики и описание структуры языков	5	5		22	Кейс Коллоквиум
2	Инструменты разбора грамматик и абстрактные синтаксические деревья (AST)	6	6		23	Кейс Коллоквиум
3	Построение и анализ потоков данных (DFG)	3	3		22	Кейс Коллоквиум
4	Статическая и динамическая типизация, алгоритмы вывода типов	5	5		23	Кейс Коллоквиум
5	Преобразования AST	4	4		22	Кейс Коллоквиум
6	Генерация кода из AST	3	3		22	Кейс Коллоквиум
	<i>Зачет с оценкой</i>			4		Проект
	Итого:	26	26	4	134	
	Объем дисциплины (модуля) (в ак. ч.)	190				
	Объем дисциплины (модуля) (в зач. ед.)	5				

4. Содержание дисциплины (модуля)

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Содержание дисциплины (модуля) по темам
1	Формальные грамматики и описание структуры языков	Введение в компиляцию; регулярные и КС-грамматики. BNF / EBNF, лексическая структура, конфликтные грамматики. LL- vs LR-подходы; разбор простых грамматик вручную
2	Инструменты разбора грамматик и абстрактные синтаксические деревья (AST)	Лексер/парсер-генераторы, построение AST. Обработка ошибок парсера, визуализация AST
3	Построение и анализ потоков данных (DFG)	Промежуточные представления, CFG, базовые DFG. SSA-форма, анализ доступности и живости. Оптимизации по данным: константная свёртка, устранение мёртвого кода
4	Статическая и динамическая типизация, алгоритмы вывода типов	Статические типовые системы, вывода Hindley–Milner. Динамическая / гибридная типизация, проверки во время исполнения. Практика вывода типов и аннотаций в IR
5	Преобразования AST	Десугаринг, рефакторинг и упрощения высокого уровня. Инлайнинг, частичная оценка, подготовка к кодогенерации
6	Генерация кода из AST	Выбор инструкций, регистровое распределение. Формирование объектных файлов, линковка и запуск

5. Учебно-методическое обеспечение

Университет располагает полным набором лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, включая продукты отечественного производства.

Каждый студент в течение всего периода обучения получает индивидуальный неограниченный доступ к электронно-библиотечной системе и электронной информационно-образовательной среде университета. Эти системы предоставляют возможность доступа к ресурсам из любой точки, где есть подключение к сети Интернет, как на территории университета, так и за его пределами.

Студентам обеспечен удаленный доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Основная литература:

1. Наке, К. LLVM 17: инфраструктура для разработки компиляторов. Руководство для начинающих по LLVM – системе разработки компиляторов и сопутствующих библиотек на C++ : практическое руководство / К. Наке, Э. Кван ; пер. с англ. А. А. Слинкина. – Москва : ДМК Пресс, 2024. - 370 с. – ISBN 978-5-93700-303-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2205082>.

2. Лопес, Б. LLVM: инфраструктура для разработки компиляторов. Знакомство с основами LLVM и использование базовых библиотек для создания продвинутых инструментов : практическое руководство / Б. Лопес, Р. Аулер ; пер. с англ. А. Н. Киселёва. — 2-е изд. - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 343 с. - ISBN 978-5-89818-603-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2108482>.

3. Вирт, Н. Построение компиляторов : практическое пособие / Н. Вирт ; пер. с англ. Е. В. Борисова, Л. Н. Чернышова. - 2-е изд. - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 193 с. - ISBN 978-5-89818-573-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2107934>.

4. Клинтон, Л. Дж. Создай свой собственный язык программирования. Руководство программиста по разработке компиляторов, интерпретаторов и доменно-ориентированных языков для решения современных вычислительных задач : практическое руководство / Л. Дж. Клинтон ; пер. с англ. С. В. Минца. - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 408 с. - ISBN 978-5-93700-140-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2109499>.

Дополнительная литература:

5. Новожилов О. П. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем : учебник для вузов / О. П. Новожилов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 505 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20365-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/568920>.

6. Толстобров А. П. Архитектура ЭВМ : учебник для вузов / А. П. Толстобров. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 162 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-16839-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/566711>.

7. Малявко А. А. Формальные языки и компиляторы : учебник для вузов / А. А. Малявко. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 429 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04288-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/562822>.

6. Материально-техническое обеспечение

Университет располагает материально-технической базой, соответствующей действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивающей проведение всех

видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работ обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Помещения, которые представляют собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского (практического) типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Изучение дисциплины (модуля) обеспечивается в учебных аудиториях, оснащенных:

- столами и стульями;
- компьютерной техникой;
- механическими калькуляторами;
- специализированным оборудованием, включая демонстрационное оборудование.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, в том числе приспособленные для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья, оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Обучающимся предоставляется доступ (в том числе удаленный) к ресурсам информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», электронным ресурсам (в том числе электронным библиотечным системам, современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам):

№	Наименование портала (издания, курса, документа)	Ссылка
1.	Научная электронная библиотека elibrary.ru библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp
2.	База данных для IT-специалистов	https://habr.com
3.	База данных ScienceDirect	https://www.sciencedirect.com
4.	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации	https://minobrnauki.gov.ru/
5.	Федеральный портал «Российское образование»	https://www.edu.ru/
6.	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"	http://window.edu.ru/
7.	Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов	http://school-collection.edu.ru/
8.	Федеральный центр информационно - образовательных ресурсов	http://fcior.edu.ru/

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), в том числе комплект лицензионного программного обеспечения, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Наименование ПО	Производство	Лицензионное / свободно распространяемое
Операционные системы:		
Microsoft Imagine (Windows Client, Server)	зарубежное	лицензионное
Браузеры:		
Яндекс.Браузер	отечественное	свободно распространяемое
Google Chrome	зарубежное	свободно распространяемое
Офисные приложения:		

Microsoft Imagine (Visio, OneNote)	зарубежное	лицензионное
TeXstudio	зарубежное	свободно распространяемое
Adobe Acrobat Reader	зарубежное	свободно распространяемое
Программное обеспечение для планирования и учета времени:		
Toggle app	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления проектами:		
Microsoft Imagine (Project)	зарубежное	лицензионное
Системы управления базами данных:		
Microsoft Imagine (SQL Server)	зарубежное	лицензионное
Системы резервного копирования (backup):		
Acronis Backup Advanced for HyperV	зарубежное	лицензионное
Справочно-правовые системы:		
КонсультантПлюс: справочно-правовая система	отечественное	лицензионное
Средства антивирусной защиты:		
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса Стандартный Russian Edition	отечественное	лицензионное
Среды разработки:		
Visual Studio Code	зарубежное	свободно распространяемое
Bash (Unix shell)	зарубежное	свободно распространяемое
Anaconda	зарубежное	свободно распространяемое
Robotic Operating System	зарубежное	свободно распространяемое
CopelliaSim	зарубежное	свободно распространяемое
Google Colaboratory	зарубежное	свободно распространяемое
Пакеты программных средств и библиотек:		
AutoPsy	зарубежное	свободно распространяемое
Interactive Disassembler (IDA)	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления библиографической информацией:		
Zotero	зарубежное	свободно распространяемое
Сервисы и службы:		
Bind	зарубежное	свободно распространяемое
Docker	зарубежное	свободно распространяемое

7. Методические и оценочные материалы

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В процессе изучения дисциплины (модуля) «Безопасность Web-приложений» в рамках текущего контроля успеваемости используются такие виды учебной работы, как лекции, семинары, коллоквиумы, кейсы, проект, а также различные виды самостоятельной работы обучающихся по заданию преподавателя, направленные на развитие навыков профессиональной лексики, закрепление практических профессиональных компетенций, поощрение инициатив.

Лекция – систематическое, последовательное, монологическое изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера.

В процессе лекций рекомендуется вести конспект лекций: кратко и схематично фиксировать основные идеи, выводы и обобщения лекции; выделять важные мысли, ключевые слова и термины. Необходимо отметить вопросы или материалы, которые вызывают затруднения, и попытаться найти ответы в рекомендованной литературе. Если разобраться в материале не удастся, следует сформулировать вопрос и задать его преподавателю на консультации или во время семинарского (практического) занятия.

Семинар — это форма учебной деятельности, проводимая в учебном заведении под

руководством преподавателя, где студенты активно участвуют в обсуждениях, практических заданиях и других формах взаимодействия.

Для успешной подготовки к семинару рекомендуется заранее ознакомиться с темой занятия и основными материалами, чтобы иметь возможность активно участвовать в обсуждении. Также полезно подготовить вопросы и идеи для обсуждения, что поможет глубже понять материал и продемонстрировать заинтересованность.

Кейс – практическая работа студентов над реальными или смоделированными задачами, что позволяет студенту применять теоретические знания на практике.

Студент самостоятельно разрабатывает стратегию решения поставленной задачи, что способствует развитию навыков критического мышления и самостоятельного принятия решений. Такой подход помогает подготовить будущих специалистов к реальным вызовам в их профессиональной деятельности.

Коллоквиум – устные ответы на вопросы, список которых известен студенту заранее.

В процессе подготовки к коллоквиуму необходимо проанализировать учебные материалы, ознакомившись с лекциями, учебниками и дополнительными источниками, акцентируя внимание на ключевых темах. Рекомендуется создать структурированные конспекты, выделяя основные идеи, термины и формулы.

Проект – исследовательская работа по курсу и презентация результатов.

Для успешной подготовки к проекту: четко определите цели и задачи проекта, распределите роли и обязанности между участниками, а также установите сроки выполнения каждой части работы. Регулярно проводите встречи для обсуждения прогресса и решения возникающих вопросов.

Самостоятельная работа – работа студентов, направленная на углубленное изучение отдельных тем и вопросов учебной дисциплины (модуля).

В процессе самостоятельной работы студенты взаимодействуют с рекомендованными материалами при минимальном участии преподавателя. Задачи студента включают работу с конспектами лекций (обработка текста), повторное изучение учебных материалов, планов и тезисов ответов, изучение дополнительных тем, выполнение учебно-исследовательских заданий и другое.

Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Критерии получения уровня и оценивания сформированности компетенций по дисциплине (модулю) «Дизайн компиляторов»

Оценивание уровня учебных достижений, обучающихся по дисциплине (модулю), осуществляется в виде текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) осуществляется в форме *зачета с оценкой*, при этом проводится оценка компетенций, сформированных по дисциплине.

Для оценивания текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется десятибалльная шкала оценивания, которая соотносится с традиционной пятибалльной шкалой следующим образом:

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
10	Отлично	Зачтено	Студент полностью владеет знаниями, изложенными в рабочей программе, и
9	Отлично	Зачтено	

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
8	Отлично	Зачтено	глубоко осмысляет дисциплину. Он самостоятельно и логически последовательно отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее важном. Умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя ключевые моменты и устанавливая причинно-следственные связи. Четко формулирует ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты дисциплины (модуля) с практическими задачами.
7	Хорошо	Зачтено	Студент обладает знаниями предмета почти в полном объеме рабочей программы и самостоятельно, логически последовательно и всесторонне отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее значимых моментах. Он умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя его ключевые аспекты и устанавливая причинно-следственные связи. Формулирует свои ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные ситуационные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты предмета с практическими задачами.
6	Хорошо	Зачтено	
5	Удовлетворительно	Зачтено	Студент обладает базовыми знаниями по дисциплине (модулю), но испытывает трудности при самостоятельных ответах и использует неточные формулировки. В ходе ответов он допускает ошибки, касающиеся сути вопросов. Студент способен решать только самые простые
4	Удовлетворительно	Зачтено	

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
			задачи и владеет лишь минимальным набором методов исследования.
3	Не сдан	Не зачтено	Студент не овладел обязательным минимумом знаний по предмету и не может ответить на вопросы, даже если преподаватель задает дополнительные наводящие вопросы.
2	Не сдан	Не зачтено	
1	Не сдан	Не зачтено	

Дисциплина (модуль) «Дизайн компиляторов» оценивается следующим образом:

Активность	Вес	Описание
Кейс	40%	Практическая работа студентов над реальными или смоделированными задачами, что позволяет студенту применять теоретические знания на практике
Коллоквиумы	30%	Устные ответы на вопросы, список которых известен студенту заранее
Проект	30%	Защита итогового проекта

Формула расчёта итоговой оценки по дисциплине (модулю) «Дизайн компиляторов»: « $0,4 \times$ среднее за кейсы + $0,3 \times$ среднее за коллоквиумы + $0,3 \times$ проект».

Текущий контроль успеваемости обучающихся по дисциплине (модулю)

Примерные задания для кейсов

Кейс 1: Разработка грамматики для арифметического выражения

Описание кейса: Вы разрабатываете простую грамматику для подмножества арифметических выражений, поддерживающего операции +, -, *, /, скобки и переменные. Грамматика должна быть безконфликтной и подходящей для LL(1)-разбора. Анализируйте потенциальные конфликты (сдвиги/сводки) и преобразуйте в EBNF.

Задание 1: Анализ грамматики

Определите контекстно-свободную грамматику (КС-грамматику) в BNF для выражений вида "a + b * (c - d)", где a–d — переменные или числа. Вычислите FIRST и FOLLOW множества для нетерминалов. Выявите возможные конфликты (левосторонняя рекурсия или неоднозначность) и предложите устранение (например, факторизация).

Задание 2: Ручной разбор

Ручным способом (таблица разбора или рекурсивный спуск) разберите выражение "2 * (3 + 4) - 1" по вашей грамматике. Постройте стек вызовов для LL(1)-парсера и обработайте случай с ошибкой (например, "2 + * 3"). Используйте Python для симуляции таблицы PREDICT.

Задание 3: Отчет и сравнение

Составьте отчет (1–2 страницы): опишите грамматику в EBNF, результаты анализа FIRST/FOLLOW, таблицу разбора и обработку ошибок. Сравните LL(1) и LR(0) подходы для этой грамматики, обсудите преимущества для компилятора (например, скорость vs. мощность). Прикрепите код симуляции.

Кейс 2: Построение парсера для простого языка конфигурации

Описание кейса: Создайте лексер и парсер для мини-языка конфигурации (типа INI-файла), поддерживающего секции [section], ключи key=value и комментарии #. Используйте генераторы (ANTLR или Flex/Bison) для генерации AST, визуализируйте дерево и обработайте ошибки (например, незакрытые скобки).

Задание 1: Анализ и генерация грамматики

Разработайте грамматику в EBNF для языка: пример — "[database]\nhost=localhost\nport=5432\n#comment". Определите токены (ID, STRING, EQUALS и т.д.) и правила. Сгенерируйте лексер/парсер с помощью ANTLR (или JFlex/CUP для Java). Выявите потенциальные ошибки парсинга (например, дубликаты секций).

Задание 2: Построение и визуализация AST

Реализуйте парсер на Python/Java, интегрируя ANTLR. Для входного файла конфигурации постройте AST (узлы: SectionNode, KeyValueNode). Визуализируйте дерево с помощью Graphviz или print-структуры. Обработайте ошибки: добавьте recovery (пропуск неверных строк) и протестируйте на 3 примерах (валидный, с ошибкой, с комментариями).

Задание 3: Отчет и анализ

Подготовьте отчет (1–2 страницы): включите грамматику, сгенерированный код (фрагменты), AST для примера и визуализацию. Проанализируйте обработку ошибок (точность восстановления) и производительность (время парсинга для 100 строк). Обсудите, как AST упрощает дальнейшую обработку (например, в компиляторе).

Примерные вопросы для коллоквиума

1. **Теория:** Определите разницу между регулярными грамматиками и контекстно-свободными (КС-грамматиками). Приведите пример регулярной грамматики для языка идентификаторов (буква, за которой следуют буквы/цифры).

2. **Практика:** Запишите КС-грамматику в BNF для арифметических выражений с операциями +, *, скобками и переменными. Преобразуйте её в EBNF, устранив левостороннюю рекурсию.

3. **Анализ:** Для грамматики $S \rightarrow A \mid B$, $A \rightarrow aA \mid \epsilon$, $B \rightarrow bB \mid \epsilon$ вычислите множества FIRST и FOLLOW. Объясните, почему она подходит для LL(1)-разбора.

4. **Сравнение:** Опишите ключевые различия между LL- и LR-подходами к разбору. Приведите пример грамматики, где LL(1) терпит неудачу, но LR(1) succeeds (например, неоднозначные выражения).

5. **Теория:** Что такое лексер-генератор (например, Flex) и парсер-генератор (например, Bison)? Опишите этапы их работы на примере простого токенизатора для ключевых слов и чисел.

6. **Практика:** Для входной строки "if (x > 0) { y = 1; }" постройте AST вручную: укажите узлы (IfNode, BinaryOpNode и т.д.) и их связи. Объясните, как AST отличается от конкретного синтаксического дерева (CST).

7. **Обработка ошибок:** Как парсер ANTLR обрабатывает синтаксические ошибки (например, пропуск токена)? Приведите пример recovery-стратегии для незакрытой скобки в выражении.

8. **Визуализация:** Опишите, как визуализировать AST с помощью Graphviz. Нарисуйте схематично AST для цикла "for i in 1..10 { print(i); }".

9. **Теория:** Что такое CFG (Control Flow Graph) и DFG (Data Flow Graph)? Объясните, как CFG используется для анализа потоков в процедуре с ветвлениями и циклами.

10. **Практика:** Для кода на псевдокоде:

```
1: a = 5;  
2: if (a > 0) b = a + 1; else b = 0;  
3: c = b * 2;
```

Постройте CFG и DFG. Вычислите доступные определения (reaching definitions) для переменной b в узле 3.

11. **Анализ:** Опишите SSA-форму (Static Single Assignment). Преобразуйте приведенный выше код в SSA, введя ϕ -функции для слияния путей.

12. **Оптимизации:** Как анализ живости переменных (liveness analysis) помогает в устранении мертвого кода? Приведите пример: если переменная x присваивается, но не используется после, покажите оптимизацию.

13. **Теория:** Сравните статическую и динамическую типизацию. Приведите преимущества статической (например, в Java) и динамической (например, в Python) типизации для компиляторов.

14. **Практика:** Используя алгоритм Hindley–Milner, выведите тип для λ -выражения: $\text{let id} = \lambda x. x \text{ in id (id true)}$. Укажите полиморфный тип ($\text{forall } \alpha. \alpha \rightarrow \alpha$).

15. **Гибридная типизация:** Объясните, как гибридная типизация (статическая + динамическая) работает в языках вроде TypeScript. Приведите пример аннотации типа и runtime-проверки.

16. **IR-практика:** В промежуточном представлении (IR) для "let $y = x + 1$ " добавьте типовые аннотации. Что происходит при выводе типов, если x — int, $a +$ — перегрузка?

17. **Теория:** Что такое десугаринг (desugaring)? Объясните, как он упрощает AST, превращая сахар (syntactic sugar) в базовые конструкции (например, for-loop в while).

18. **Практика:** Для AST выражения "if (cond) { $a = b + c$; } else { $a = 0$; }" выполните инлайнинг, если b и c — константы. Покажите преобразованный AST.

19. **Оптимизации:** Опишите частичную оценку (partial evaluation). Примените её к коду " $f(x) = \text{if (true) } x*2 \text{ else } x/2$; call $f(5)$ ", вычислив статически.

20. **Теория и практика:** Опишите регистровое распределение (register allocation) в генерации кода. Для AST простого выражения " $a = b + c$ " сгенерируйте машинный код (x86-подобный), предполагая регистры EAX, EBX, и укажите, как граф интерференции помогает распределению.

Примерное описание и критерии оценивания к итоговому проекту

Описание проекта:

В рамках итогового проекта студентам предлагается разработать прототип компилятора для простого императивного или функционального языка программирования, включающий следующие ключевые этапы:

1. Определение формальной грамматики языка

- Описание синтаксиса с использованием контекстно-свободной грамматики (КС-грамматики).
- Формализация правил синтаксиса и допустимых конструкций.

2. Построение парсера и синтаксического анализа

- Реализация парсера с применением методов нисходящего (LL) или восходящего (LR) разбора.
- Построение абстрактного синтаксического дерева (AST).

3. Анализ потоков данных (DFG)

- Построение графа потоков данных на основе AST.
- Анализ и оптимизация промежуточного представления.

4. Типизация и вывод типов

- Внедрение статической типизации с использованием алгоритма вывода типов (например, Хиндли-Милнера).

- Проверка корректности типов в программе.
- 5. Преобразования AST**
 - Реализация локальных и глобальных преобразований AST для оптимизации и упрощения.
 - Удаление избыточных конструкций и применение правил преобразования.
- 6. Генерация кода**
 - Генерация промежуточного или целевого кода с учётом архитектурных особенностей.
 - Обеспечение корректности и эффективности сгенерированного кода (управление регистрами, памятью и потоками).

Цели проекта:

- Продемонстрировать понимание и применение базовых концепций формальных грамматик и синтаксического анализа.
- Использовать инструменты и методы построения парсеров и AST.
- Реализовать анализ потоков данных для оптимизации кода.
- Применить алгоритмы вывода типов для обеспечения безопасности типов.
- Провести преобразования AST для улучшения качества промежуточного представления.
- Сгенерировать корректный и работоспособный код.

Критерии оценки:

- Корректность и полнота описания формальной грамматики языка.
- Правильная реализация парсера и построение AST без ошибок.
- Качество построения и анализа графа потоков данных (DFG), применение оптимизаций.
- Реализация статической типизации и корректный вывод типов.
- Эффективность и корректность преобразований AST.
- Корректность, эффективность и архитектурная адаптация генерируемого кода.
- Качество документации и презентации проекта, ясность пояснений и демонстраций.

Задания для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Задание	Ответ	Компетенция
1	Укажите нотацию для описания формальных грамматик в компиляторах.	BNF (Backus-Naur Form)	УК-1
2	Назовите инструмент для генерации лексеров и парсеров.	ANTLR (ANTLR)	УК-1
3	Укажите форму представления для анализа потоков данных.	SSA-форма (SSA form)	УК-1
4	Назовите тип типизации в статических системах.	статическая типизация (static typing)	УК-1
5	Укажите процесс преобразования AST перед кодогенерацией.	десугаринг (desugaring)	УК-1
6	Укажите класс грамматики для контекстно-свободных языков.	контекстно-свободная грамматика (context-free grammar)	ОПК-1
7	Назовите математическую основу для CFG.	теория формальных языков (formal language theory)	ОПК-1
8	Укажите алгоритм для анализа доступности переменных.	анализ достижимости (reachability analysis)	ОПК-1
9	Назовите систему типов для вывода типов.	система Hindley-Milner (Hindley-Milner system)	ОПК-1
10	Укажите математическую модель для	теория типов (type theory)	ОПК-1

	типизации.		
11	Укажите алгоритм для построения AST.	рекурсивный спуск (recursive descent)	ОПК-6
12	Назовите метод для оптимизации по данным.	константная свёртка (constant folding)	ОПК-6
13	Укажите подход для генерации кода.	выбор инструкций (instruction selection)	ОПК-6
14	Назовите инструмент для обработки ошибок парсера.	генератор парсеров (parser generator)	ОПК-6
15	Укажите алгоритм для распределения регистров.	раскрашивание графа (graph coloring)	ОПК-6
16	Укажите точное определение для лексической структуры.	токенизация (tokenization)	ПК-1
17	Назовите инвариант для анализа живости.	инвариант живости (liveness invariant)	ПК-1
18	Укажите алгоритм для частичной оценки.	частичная оценка (partial evaluation)	ПК-1
19	Назовите свойство для проверки типов во время исполнения.	динамическая проверка (dynamic checking)	ПК-1
20	Укажите обоснование для SSA-формы.	доминирование (dominance)	ПК-1