

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 11.06.2025 13:39:35  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тверской государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель ООП  
*С.М. Дудаков*  
«31» октября 2024 г.



Рабочая программа дисциплины  
**Методы математической лингвистики**

Направление подготовки  
01.04.02 — ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

Направленность (профиль)  
СИСТЕМНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

для студентов 1 курса  
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ — очная

Составитель(и):

- к.ф.-м.н. доц. Карлов Б.Н.

Тверь — 2024

# I. Аннотация

## 1. Цель и задачи дисциплины:

Цель курса — ознакомить студентов с основными понятиями компьютерной лингвистики, с различными способами задания языков, с возможностью применения ЭВМ для обработки естественных языков.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина входит в раздел «Профессиональный» части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1.

**Предварительные знания и навыки.** Знание курсов по математической логике, теории алгоритмов, теории автоматов и формальных языков.

**Дальнейшее использование.** Полученные знания используются для итоговой государственной аттестации, прохождении практики, а также в дальнейшей трудовой деятельности выпускников.

## 3. Объем дисциплины: 6 зач. ед., 216 академ. ч., в том числе:

**контактная аудиторная работа лекций** 32 ч.,

**контактная внеаудиторная работа** контроль самостоятельной работы 0 ч., в том числе курсовая (расчетно-графическая) работа 0 ч.;

**самостоятельная работа** 184 ч., в том числе контроль 36 ч.

## 4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1, Способен проводить научные исследования с целью получения новых результатов	ПК-1.2, Решает научные задачи фундаментального и прикладного характера
ПК-3, Способен получать новые результаты прикладного характера	ПК-3.2, Решает прикладные задачи
ПК-4, Способен применять математические методы в задачах проектирования и разработки системного и прикладного программного обеспечения	ПК-4.1, Использует математические методы для разработки отдельных программных модулей

## 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения:

экзамен во 2 семестре

**6. Язык преподавания:**

русский

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

Учебная программа — наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Контроль сам. раб., в т.ч. курсовая работа	Сам. раб., в т.ч. контроль (час.)
		Лекции		Практ. занятия / Лаб. работы			
		Всего	В т.ч. практ. подг.	Всего	В т.ч. практ. подг.		
1	2	3	4	5	6	7	8
Порождающие грамматики	36	4		0/0		0	32
Граматики непосредственных составляющих	60	12		0/0		0	48
Категориальные грамматики	60	8		0/0		0	52
Слабо-контекстные грамматики	60	8		0/0		0	52
Итого	216	32	0	0/0	0/0	0	184

### Учебная программа дисциплины

#### 1. Порождающие грамматики

- Определение порождающих грамматик. Иерархия Хомского.
- Теорема о том, что грамматики типа 0 порождают в точности рекурсивно перечислимые языки.
- Теорема о представлении рекурсивно перечислимых языков.
- Алгоритмические проблемы для порождающих грамматик.

#### 2. Граматики непосредственных составляющих

- Теорема об эквивалентности НС-грамматик и неукорачивающих грамматик.
- Линейно ограниченные автоматы. Эквивалентность НС-грамматик и ЛО-автоматов.
- Нормальная форма Куроды.
- Свойства замкнутости для класса НС-языков.
- Пример рекурсивного языка, не являющегося НС-языком.
- Алгоритмические проблемы для НС-языков.
- PSPACE-полнота проблемы принадлежности для НС-языков.

- Деревья вывода и системы составляющих.

### 3. Категориальные грамматики

- Классические категориальные грамматики. Эквивалентность классических категориальных грамматик и КС-грамматик.
- Исчисление Ламбека и грамматики Ламбека.
- Эквивалентность грамматик Ламбека и КС-грамматик.
- Категориальные грамматики зависимостей (КГЗ). Основные свойства КГЗ.
- Алгоритм анализа для КГЗ.
- Деревья зависимостей. Связь деревьев зависимостей и систем составляющих.

### 4. Слабо-контекстные грамматики

- Индексные грамматики.
- Гнездовые стековые автоматы. Эквивалентность индексных грамматик и гнездовых автоматов.
- Множественные КС-грамматики.
- Линейные индексные грамматики.
- Комбинаторные категориальные грамматики.
- ТАГ-грамматики.
- Головные грамматики.
- Эквивалентность четырёх определений слабо-контекстных грамматик.
- Автоматы со вложенными магазинами. Их эквивалентность ТАГ-грамматикам.
- Применения комбинаторных категориальных грамматик для представления семантики в виде  $\lambda$ -термов.

## III. Образовательные технологии

Учебная программа — наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
Порождающие грамматики	лекции	изложение теоретического материала, решение задач
Грамматики непосредственных составляющих	лекции	изложение теоретического материала, решение задач
Категориальные грамматики	лекции	изложение теоретического материала, решение задач
Слабо-контекстные грамматики	лекции	изложение теоретического материала, решение задач

Учебная программа — наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
---	-------------	----------------------------

## IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

### Типовые контрольные задания и/или критерии для проверки индикатора ПК-1.2

Требования к обучающемуся	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания, шкала оценивания
Уметь строить различные слабо-контекстные грамматики и автоматы по описанию языка	<p>Примеры задач для контрольных работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Постройте ТАГ-грамматику для языка <math display="block">L = \{ a^i b^j c^k \mid 0 &lt; i &lt; j &lt; k \}.</math> </li> <li>Постройте комбинаторную категориальную грамматику для языка <math display="block">L = \{ w * w^{-1} * w \mid w \in \{ 0, 1 \}^* \}.</math> </li> <li>Постройте автомат с вложенными магазинами для языка <math display="block">L = \{ a^{3i} b^{2i} c^i \mid i &gt; 0 \}.</math> </li> <li>Постройте гнездовой автомат для языка <math display="block">L = \{ a^{2^n} \mid n &gt; 0 \}.</math> </li> </ul>	оценка 3 — умеет строить слабо-контекстные грамматики по описанию языка, оценка 4 — кроме того умеет строить автоматы с вложенными магазинами по описанию языка, оценка 5 — кроме того умеет строить гнездовые автоматы по описанию языка

### Типовые контрольные задания и/или критерии для проверки индикатора ПК-3.2

Требования к обучающемуся	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания, шкала оценивания
Уметь строить неукорачивающие грамматики и линейно-ограниченные автоматы по описанию языка	<p>Примеры задач для контрольных работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Постройте неукорачивающую грамматику, порождающую следующий язык: <math display="block">L = \{ a^i b^j c^k \mid 0 &lt; i \leq j, j &gt; k &gt; 0 \}.</math> </li> <li>Постройте линейно-ограниченный автомат, распознающий следующий язык: <math display="block">L = \{ a^{3^n} \mid n &gt; 0 \}.</math> </li> </ul> <p>Примеры тем для самостоятельной работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Напишите программу, которая по НС-грамматике и предложению на русском языке строит все его размеченные системы составляющих.</li> </ul>	оценка 3 — умеет строить неукорачивающие грамматики по описанию языка, оценка 4 — кроме того умеет строить линейно-ограниченные автоматы по описанию языка, оценка 5 — кроме того умеет обосновывать правильность построения
Знать понятие категориальной грамматики, дере-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Классические категориальные грамматики. Эквивалентность классических категориальных грамматик и КС-грамматик.</li> </ul>	оценка 3 — знает понятия классической категориальной

Требования к обучающемуся	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания, шкала оценивания
ва зависимостей, связь деревьев зависимостей с категориальными грамматиками	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Исчисление Ламбека и грамматики Ламбека.</li> <li>• Эквивалентность грамматик Ламбека и КС-грамматик.</li> <li>• Категориальные грамматики зависимостей (КГЗ). Основные свойства КГЗ.</li> <li>• Алгоритм анализа для КГЗ.</li> <li>• Деревья зависимостей. Проективные и непроективные деревья. Построение деревьев зависимостей с помощью категориальных грамматик.</li> </ul>	грамматики, дерева зависимостей, оценка 4 — кроме того знает другие типы категориальных грамматик, оценка 5 — кроме того знает доказательства перечисленных утверждений
Уметь строить категориальные грамматики по описанию языка, строить деревья зависимостей	<p>Примеры задач для контрольных работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Постройте классическую категориальную грамматику для языка <math display="block">L = \{ a^i b^j c^k \mid i, j, k \geq 0, i = j \text{ или } j = k \}.</math> </li> <li>• Постройте категориальную грамматику зависимостей для языка <math display="block">L = \{ w \in \{ a, b, c, d \}^+ \mid  w _a +  w _c \geq  w _b +  w _d \text{ и все символы } a \text{ стоят правее } c \}.</math> </li> <li>• Докажите в исчислении Ламбека <math>L</math> секвенцию <math display="block">p/(q \setminus (r \cdot (r \setminus q))) \rightarrow (p/(r \setminus q))/(q \setminus r).</math> </li> </ul> <p>Примеры тем для самостоятельной работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Напишите программу, которая по классической категориальной грамматике и предложению на русском языке строит все его размеченные деревья зависимостей.</li> </ul>	оценка 3 — кроме того умеет строить категориальные грамматики по описанию языка, оценка 4 — кроме того умеет обосновывать правильность построения, оценка 5 — кроме того умеет выводить секвенции в исчислении Ламбека
Уметь строить формальное представление синтаксиса и семантики предложений на естественных языках	<p>Примеры задач для контрольных работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Постройте размеченную иерархизованную систему составляющих для предложения «К востоку от боровых озёр лежат громадные мещёрские болота — мшары».</li> <li>• Постройте размеченное дерево зависимостей для предложения «Для точной диагностики заболеваний внутренних органов человека рентген незаменим».</li> <li>• Дано предложение «Мастер внимательно осматривал станок». Его словам сопоставлены следующие категории и <math>\lambda</math>-термы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– мастер — NP : M</li> <li>– внимательно — C : V</li> <li>– осматривал — <math>((S \setminus NP) \setminus C) / NP</math> : <math>\lambda xyz.Ozxy</math></li> <li>– станок — NP : C</li> </ul> </li> </ul> <p>Сократите категории до <math>S</math> и упростите получающийся <math>\lambda</math>-терм. На первом шаге примените к первой категории правило (<math>&gt; T</math>), а на втором шаге примените к третьей и четвертой категориям правило (<math>&gt;</math>).</p>	оценка 3 — умеет строить системы составляющих и деревья зависимостей для предложений, оценка 4 — кроме того умеет строить размеченные иерархизованные системы составляющих и размеченные деревья зависимостей, оценка 5 — кроме того умеет представлять семантику в виде $\lambda$ -термов

## Типовые контрольные задания и/или критерии для проверки индикатора ПК-4.1

Требования к обучающемуся	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания, шкала оценивания
Знать понятия порождающей грамматики, системы составляющих, связь систем составляющих с грамматиками	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Определение порождающих грамматик. Иерархия Хомского.</li> <li>• Теорема о том, что грамматики типа 0 порождают в точности рекурсивно перечислимые языки.</li> <li>• Теорема о представлении рекурсивно перечислимых языков.</li> <li>• Алгоритмические проблемы для порождающих грамматик.</li> <li>• Грамматики непосредственных составляющих. Эквивалентность НС-грамматик и неукорачивающих грамматик.</li> <li>• Линейно ограниченные автоматы. Эквивалентность НС-грамматик и ЛО-автоматов.</li> <li>• Нормальная форма Куроды.</li> <li>• Свойства замкнутости для класса НС-языков.</li> <li>• Пример рекурсивного языка, не являющегося НС-языком.</li> <li>• Алгоритмические проблемы для НС-языков.</li> <li>• PSPACE-полнота проблемы принадлежности для НС-языков.</li> <li>• Системы составляющих, размеченные системы составляющих, иерархизованные системы составляющих. Построение системы составляющих по дереву вывода.</li> </ul>	оценка 3 — знает определения основных понятий (НС-грамматика, ЛО-автомат, система составляющих), оценка 4 — кроме того знает основные свойства НС-грамматик, оценка 5 — кроме того знает доказательства перечисленных утверждений
Знать понятие слабо-контекстных грамматик	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Индексные грамматики.</li> <li>• Гнездовые стековые автоматы. Эквивалентность индексных грамматик и гнездовых автоматов.</li> <li>• Понятие слабо-контекстных грамматик.</li> <li>• Множественные КС-грамматики.</li> <li>• Линейные индексные грамматики. Комбинаторные категориальные грамматики. ТАГ-грамматики. Головные грамматики.</li> <li>• Эквивалентность четырёх определений слабо-контекстных грамматик.</li> <li>• Автоматы со вложенными магазинами. Их эквивалентность ТАГ-грамматикам.</li> <li>• <math>\lambda</math>-термы. Применения комбинаторных категориальных грамматик для представления семантики в виде <math>\lambda</math>-термов.</li> </ul>	оценка 3 — знает различные классы слабо-контекстных грамматик, оценка 4 — кроме того знает различные свойства слабо-контекстных грамматик, оценка 5 — кроме того знает доказательства перечисленных утверждений

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 1. Рекомендованная литература

#### а) Основная литература

1. Безруков, А. И. Математическое и имитационное моделирование : учебное пособие / А.И. Безруков, О.Н. Алексенцева. — Москва : ИНФРА-М, 2025. — 227 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-020396-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2171284> (дата обращения: 12.12.2024)

2. Касимова, Т. М. Математическое и имитационное моделирование : учебно-методическое пособие / Т. М. Касимова. — Махачкала : ДГУ, 2017. — 76 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/158407> (дата обращения: 12.12.2024).
3. Решмин, Б. И. Имитационное моделирование и системы управления : учебно-практическое пособие / Б. И. Решмин. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Инфра-Инженерия, 2019. - 74 с. - ISBN 978-5-9729-0120-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2093441> (дата обращения: 12.12.2024).
4. Валеев, Н. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование : учебное пособие / Н. Н. Валеев, А. В. Аксянова, Г. А. Гадельшина ; Казанский государственный технологический университет. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2010. – 160 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270575> (дата обращения: 12.12.2024).

## б) Дополнительная литература

1. Айвазян, С. А. Эконометрика - 2: продвинутый курс с приложениями в финансах : учебник / С. А. Айвазян, Д. Фантаццини. — Москва : Магистр : ИНФРА-М, 2024. — 944 с. - ISBN 978-5-9776-0333-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2121617> (дата обращения: 12.12.2024).

## 2. Программное обеспечение

Наименование помещений	Программное обеспечение
Ауд. 201а (компьютерная лаборатория ПМиК) (170002, Тверская обл., г. Тверь, пер. Садовый, д. 35)	Перечень программного обеспечения (со свободными лицензиями): Linux Kubuntu, KDE, TeXLive, TeXStudio, LibreOffice, GIMP, Gwenview, ImageMagick, Okular, Skanlite, Google Chrome, KDE Connect, Konversation, KRDC, KTorrent, Thunderbird, Elisa, VLC media player, PulseAudio, KAppTemplate, KDevelop, pgAdmin4, PostgreSQL, Qt, QtCreator, R, RStudio, Visual Studio Code, Perl, Python, Ruby, clang, clang++, gcc, g++, nasm, flex, bison, Maxima, Octave, Dolphin, HTop, Konsole, KSystemLog, Xterm, Ark, Kate, KCalc, Krusader, Spectacle, Vim.

## 3. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№ п/п	Вид информационного ресурса	Наименование информационного ресурса	Адрес (URL)
1.	Электронно-библиотечная система	«Университетская библиотека онлайн»	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a>
2.	Электронно-библиотечная система	IPR SMART	<a href="https://www.iprbookshop.ru/">https://www.iprbookshop.ru/</a>
3.	Электронно-библиотечная система	«ЮРАЙТ»	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
4.	Электронно-библиотечная система	«Лань»	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
5.	Электронно-библиотечная система	«Знаниум»	<a href="https://znanium.com/">https://znanium.com/</a>
6.	Электронно-библиотечная система	ЭБС ТвГУ	<a href="http://megapro.tversu.ru/megapro/">http://megapro.tversu.ru/megapro/</a>

7.	Научная электронная библиотека	eLIBRARY.RU (подписка на журналы)	<a href="https://elibrary.ru/projects/subs">https://elibrary.ru/projects/subs</a>
8.	Репозиторий	Репозиторий ТвГУ	<a href="http://eprints.tversu.ru">http://eprints.tversu.ru</a>

#### 4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- [1] Natural Language Processing, <http://www.learnerstv.com/Free-Computer-Science-V>
- [2] Московский центр непрерывного математического образования, <http://www.mccme.ru/>

## VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

### Примеры задач для подготовки к контрольным работам

1. Постройте гнездовой стековый автомат для языка  $L = \{a^{n^2} \mid n > 0\}$  и обоснуйте его правильность.
2. Постройте комбинаторную категориальную грамматику для языка  $L = \{w\#w^{-1} \mid w - \text{правильное скобочное слово}\}$  и обоснуйте ее правильность.
3. Постройте автомат с вложенными магазинами для языка  $L = \{a^n b^n c^n d^n \mid n > 0\}$ .
4. Постройте НС-грамматику для языка  $L = \{a^n \mid n - \text{составное число}\}$ .
5. Постройте размеченную иерархизованную систему составляющих и размеченное дерево зависимостей для предложения «Тощая торговка вяленой воблой торчала среди ящиков».
6. Обобщенной НС-грамматикой (ОНС-грамматикой) называется порождающая грамматика  $G = \langle \Sigma, N, S, P \rangle$ , правила которой имеют вид  $\xi A \eta \rightarrow \xi \alpha \eta$ , где  $\xi, \eta, \alpha \in (\Sigma \cup N)^*$ ,  $A \in N$ . Докажите, что любой рекурсивно перечислимый язык порождается некоторой ОНС-грамматикой.
7. Докажите, что класс языков типа 0 замкнут относительно тасовки:

$$\text{TAC}(L_1, L_2) = \bigcup_{x \in L_1, y \in L_2} \{x_1 y_1 \dots x_n y_n \mid x_i, y_j \in \Sigma^*, x_1 \dots x_n = x, y_1 \dots y_n = y\}.$$

**Контрольная работа 1.** Темы: порождающие грамматики, НС-грамматики, системы составляющих, деревья зависимостей. Пример задания:

1. Постройте неукорачивающую грамматику, порождающую следующий язык:

$$L = \{a^n b^m a^n b^m \mid m, n > 0\}.$$

2. Постройте размеченную иерархизованную систему составляющих и размеченное дерево зависимостей для предложения «Лебеди стадом летели из холодной стороны в тёплые земли».
3. Докажите, что класс языков типа 0 замкнут относительно правого деления:

$$L_1/L_2 = \{ w \in \Sigma^* \mid \text{существует слово } x \in L_2 \text{ такое, что } wx \in L_1 \}.$$

**Самостоятельная работа 1.** Темы: НС-грамматики, системы составляющих, деревья зависимостей. Пример задания:

Напишите программу, которая по системе составляющих строит согласованное с ней дерево зависимостей.

**Контрольная работа 2.** Темы: категориальные грамматики, слабо-контекстные грамматики. Пример задания:

1. Постройте линейную индексную грамматику для языка

$$L = \{ w * w^{-1} * w \mid w \in \{0, 1\}^* \}.$$

2. Постройте гнездовой автомат для языка

$$L = \{ a^n b^{n^2+m} \mid n \geq 0, m \geq 0 \}.$$

3. Разрешим использовать в гнездовых автоматах ещё три типа команд:  $L_x$  — перейти к левому брату, если метка ребра, входящего в текущую вершину, равна  $x$ ;  $P_x$  — перейти к правому брату, если метка ребра, входящего в текущую вершину, равна  $x$ ;  $I_{x,y}$  — изменить метку текущего ребра с  $x$  на  $y$ . Докажите, что любой язык типа 0 распознаётся расширенным гнездовым автоматом.

**Самостоятельная работа 2.** Темы: слабо-контекстные грамматики. Пример задания:

Напишите программу, которая по линейной индексной грамматике и слову проверяет, выводимо ли слово в этой грамматике.

## VII. Материально-техническое обеспечение

Для аудиторной работы

Наименование помещений	Материально-техническое оснащение помещений
Ауд. 308 (170002, Тверская обл., г. Тверь, пер. Садовый, д. 35)	Набор учебной мебели, экран проектор.

### Для самостоятельной работы

Наименование помещений	Материально-техническое оснащение помещений
Ауд. 201а (компьютерная лаборатория ПМиК) (170002, Тверская обл., г. Тверь, пер. Садовый, д. 35)	Набор учебной мебели, доска маркерная, компьютер, сервер (системный блок), концентратор сетевой.

### VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п/п	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесённых изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения