



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для
направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный ана-
лиз, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы ин-
форматики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Правительство Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»"

Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода»

для направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Си-
стемный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программ-
ное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоре-
тические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ»
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Авторы программы:

Яворский Ростислав Эдуардович, к.ф.-м.н., ryavorsky@hse.ru

Канович Макс Иосифович, д.ф.-м.н., m.kanovich@qmul.ac.uk

Одобрена на заседании Академического совета аспирантской школы по компьютерным наукам
«26» октября 2014 г.

Москва - 2014

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими ву-
зами без разрешения разработчика программы.*



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям аспиранта по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профилям 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину и аспирантов направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профилей 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Программа разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ;
- Образовательной программой по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» подготовки аспиранта.
- Учебными планами подготовки аспирантов по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» для профилей 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», утвержденными в 2014 г.

2. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются:

- изучение аспирантами аппарата теории доказательств;
- освоение современных инструментов формализации рассуждений и автоматизированного построения вывода.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

- Знать основные факты о формальных аксиоматических теориях, их семантике, алгоритмах проверки общезначимости для их фрагментов.
- Уметь строить формальный вывод в заданном исчислении, проверять истинность формул в моделях, использовать язык логики для формализации заданного набора фактов и правил.
- Иметь навыки работы с современными системами автоматизированного построения вывода.

В результате освоения дисциплины аспирант осваивает следующие компетенции:



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Компетенция	Код по ФГОС / НИУ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
способность проводить теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности	ОПК-1	владение методами построения логических моделей для решения теоретических и практических задач	Стандартные (лекционно-семинарские). Самостоятельные вне-аудиторные занятия
способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в профессиональной области	ОПК-2	владение методами построения и анализа эффективных алгоритмов логического вывода	Стандартные (лекционно-семинарские). Самостоятельные вне-аудиторные занятия
способность объективно оценивать результаты исследований и разработок, выполненных другими специалистами и в других научных учреждениях	ОПК-4	знание основных фактов о формальных логических теориях, способность к соотношению новых разработок в этой области с уже известными	Стандартные (лекционно-семинарские). Самостоятельные вне-аудиторные занятия
способность проводить исследования методов преобразования информации в данные и знания, моделей данных и знаний, методов работы со знаниями, методов машинного обучения и обнаружения новых знаний, принципов создания и функционирования программных средств автоматизации указанных процессов	ПК-4	знание основных логических подходов к представлению знаний, наличие навыков работы с современными системами автоматизированного построения логического вывода	Стандартные (лекционно-семинарские). Самостоятельные вне-аудиторные занятия
способность разрабатывать и анализировать	ПК-5	знание основных подходов к построению логических тео-	Стандартные (лекционно-семинарские).



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Компетенция	Код по ФГОС / НИУ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
вать модели информационных процессов и структур		рий различных типов, умение разрабатывать логические модели для описания практических задач	Самостоятельные вне-аудиторные занятия

4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах:

- Дискретная математика.
- Алгоритмы и структуры данных.

Для освоения учебной дисциплины, аспиранты должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

- Знаниями основных определений и теорем перечисленных выше дисциплин;
- Навыками решения типовых задач этих дисциплин.

5. Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	
1	Формальные языки и исчисления. Семантика и определение истинности.	16	2	2		12
2	Формальные аксиоматические теории.	16	2	2		12
3	Минимальная пропозициональная логика. Теорема дедукции. Теорема о подстановке. Корректность относительно истинностных таблиц.	16	2	2		12
4	Гильбертовское исчисление высказываний. Примеры вывода. Теорема о корректности и полноте относительно множества всех булевских тавтологий.	16	2	2		12
5	Генценовское исчисление высказываний. Примеры вывода. Корректность и полнота относительно множества всех тавтологий. Теорема об устранении сечения.	24	4	2		18
6	Логика первого порядка. Сигнатура, термины, формулы. Интерпретация, определение истинности и общезначимости.	24	2	2	2	18
7	Выразимость функций через предикаты при добавлении двух дополнительных аксиом. Выразимость предикатов с помощью функций. Выразительная сила логики дву-	16	2	2		12



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

	местных предикатов.					
8	Разрешимость логики одноместных предикатов.	16	2	2		12
9	Разрешимость теории плотного линейного порядка.	16	2	2		12
10	Разрешимость теории дискретного линейного порядка.	16	2	2		12
11	Разрешимость арифметики Пресбургера.	24	2	4		18
12	Формализация вычислительных систем в парадигме «состояния-переходы». Конечные автоматы, обобщенные автоматы, абстрактные вычислительные машины. Предусловия и постусловия. Свойства безопасности и живучести.	36	2	2	6	26
13	Система автоматизированного построения вывода Isabelle/HOL.	63	2	6	8	47
14	Представление множеств, функций и отношений. Типы данных: кортежи, структуры, определяемые типы.	48	2	4	6	36
15	Автоматизированное построение логического вывода из набора гипотез, описывающих заданную предметную область.	71	2	2	14	53
ИТОГО:		418	32	38	36	313

6. Формы контроля знаний аспирантов

Тип контроля	Форма контроля	Параметры
Текущий	Контрольная работа	Проводится на семинарском занятии в течение 1-2 пар (по решению преподавателя)
	Реферат	Тема выбирается студентом самостоятельно из списка предложенных тем
	Домашнее задание	Аналитический отчет о выполнении практических заданий
Итоговый по дисциплине «Системы автоматизированного построения логического вывода»	Экзамен	Учитываются все текущие оценки

7. Критерии оценки знаний, навыков

При текущем контроле используются следующие критерии:



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

- Посещение занятий
- Активность в выполнении заданий и/или обсуждении темы занятия
- Аналитическое наполнение отчета (домашнего задания)
- Содержание реферата
- Точность и полнота выполнения задания контрольной работы

При промежуточном контроле используются следующие критерии:

- Выполнение критериев оценки знаний на этапе текущего контроля
- Точность и полнота ответов на тестовые вопросы

При итоговом контроле используются следующие критерии:

- Выполнение критериев оценки знаний на этапе промежуточного контроля

Оценки по всем формам текущего контроля выставляются по десятибалльной шкале.

8. Порядок формирования оценок по дисциплине

Преподаватель оценивает самостоятельную работу студентов над учебным проектом и полноту освещения темы, которую студент готовит для выступления с докладом на занятии по 10-балльной шкале.

В диплом выставляет результирующая оценка по учебной дисциплине, которая формируется по следующей формуле:

$$O_{результ} = 0,3 \cdot O_{д/з} + 0,2 \cdot O_{к/р} + 0,2 \cdot O_{реферат} + 0,3 \cdot O_{экзамен}$$

Способ округления результирующей оценки по учебной дисциплине: в пользу студента.

9. Содержание дисциплины

9.1. Теоретическая часть

Формальные языки и исчисления. Семантика и определение истинности.

Формальные аксиоматические теории.

Минимальная пропозициональная логика. Теорема дедукции. Теорема о подстановке.

Корректность относительно истинностных таблиц.

Гильбертовское исчисление высказываний. Примеры вывода. Теорема о корректности и полноте относительно множества всех булевских тавтологий.

Генценовское исчисление высказываний. Примеры вывода. Корректность и полнота относительно множества всех тавтологий. Теорема об устранении сечения.

Логика первого порядка. Сигнатура, термы, формулы. Интерпретация, определение истинности и общезначимости.

Выразимость функций через предикаты при добавлении двух дополнительных аксиом. Выразимость предикатов с помощью функций. Выразительная сила логики двуместных предикатов.

Разрешимость логики одноместных предикатов.

Разрешимость теории плотного линейного порядка.

Разрешимость теории дискретного линейного порядка.

Разрешимость арифметики Пресбургера.



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Формализация вычислительных систем в парадигме «состояния-переходы». Конечные автоматы, обобщенные автоматы, абстрактные вычислительные машины. Предусловия и постулаты. Свойства безопасности и живучести.

Система автоматизированного построения вывода Isabelle/HOL.

Представление множеств, функций и отношений. Типы данных: кортежи, структуры, определяемые типы.

Автоматизированное построение логического вывода из набора гипотез, описывающих заданную предметную область.

9.2. Практическая часть

Изучение системы автоматизированного построения вывода Isabelle/HOL. Синтаксис. Представление теорий. Аксиомы и правила вывода. Представление множеств, функций и отношений. Типы данных: кортежи, структуры, определяемые типы. Серия семинаров по построению логического вывода из набора гипотез, описывающих заданную предметную область.

10. Образовательные технологии

В преподавании данной дисциплины сочетаются:

- лекции в форме презентаций,
- семинарские занятия для решения задач,
- практические домашние задания на применение изученных инструментов.

11. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

Примерный перечень вопросов к зачету (экзамену) по всему курсу для самопроверки аспирантов

1. Докажите или опровергните: если формула логики предикатов выполнима на бесконечной модели, то она выполнима на модели со счетным множеством.
2. Докажите или опровергните: если формула логики предикатов выполнима на бесконечной модели, то она выполнима на конечной модели.
3. Опишите алгоритм поиска слабейшего предусловия для программ без циклов.
4. Приведите формулировку теоремы о дедукции и докажите теорему.
5. Приведите пример вывода в гильбертовском исчислении высказываний.
6. Приведите пример вывода в генценовском исчислении высказываний.
7. Докажите теорему об устранении сечения.

Примеры заданий промежуточного/итогового контроля

1. Для заданной конечной модели преобразуйте формулу первого порядка в эквивалентную ей булеву формулу и проверьте ее выполнимость с помощью SAT-солвера.

2. В выбранной системе автоматизированного построения вывода формализуйте и докажите утверждения:

- а) для произвольного натурального n выражение $n(n + 1)(n + 2)$ делится на 3;
- б) если m является общим делителем пары (a, b) и $a > b$, то m также является общим делителем для пары $(a - b, b)$.



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

3. Формализуйте в выбранной системе сетевой протокол или распределенный алгоритм и верифицируйте некоторые свойства безопасности (safety) и живучести (liveness).

4. Определим циклическую зависимость как выражение вида $(X \rightarrow \text{Circ}(y_1, y_2, \dots, y_n))$, где X и Y — списки переменных, означающее, что при заданных значениях всех переменных x из X значение каждой переменной y_i определяется значениями остальных переменных $y_1, \dots, y_{i-1}, y_{i+1}, \dots, y_n$. Например, $\text{Circ}(a, h_a, s)$ выражает циклическую зависимость между стороной a , высотой h_a и площадью s треугольника. Предложите алгоритм, определяющий за линейное время, следует ли заданная функциональная зависимость из заданного множества циклических и функциональных зависимостей.

5. Преобразование Цейтина позволяет привести любую булеву формулу F к виду 3-КНФ. Опишите синтаксические ограничения на F , гарантирующие, что формула, полученная в результате преобразования, является формулой Хорна.

6. Приведите простое описание полиномиального алгоритма решения задачи о выполнимости 2-КНФ.

7. В выбранной системе автоматизированного построения вывода докажите следующее утверждение: «Пусть G — группа с нейтральным элементом e и для всех x из G имеет место $x^2 = e$. Тогда для всех x и y из G выполняется $xy = yx$.»

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

Николай Верещагин, Александр Шень, «Языки и исчисления», МЦНМО, Серия: Современные лекционные курсы, 2012 г.

Nipkow, T., Grumberg, O., and Hauptmann, B., eds. Software Safety and Security: Tools for Analysis and Verification. Amsterdam, NLD: IOS Press, 2012.

12.2. Дополнительная литература

Blackburn, P., Van Benthem, J., and Wolter, F., eds. Handbook of Modal Logic. Elsevier, 2007.

12.3. Литература для самостоятельного изучения

Nipkow, Tobias, Lawrence C. Paulson, and Markus Wenzel, eds. Isabelle/HOL: a proof assistant for higher-order logic. Vol. 2283. Springer Science & Business Media, 2002.

Zalta, E.N. Basic Concepts in Modal Logic. Center for the Study of Language and Information, Stanford University, 1995, <http://mally.stanford.edu/notes.pdf>

12.4. Программные средства

Online SAT Solver, <http://www.boolsat.com/>, <http://dai.fmph.uniba.sk/~simko/satsolver/S4prover> - A tableaux prover for S4 logic, <http://teachinglogic.liglab.fr/TableauxS4/>
Isabelle/HOL - A Proof Assistant for Higher-Order Logic, <http://isabelle.in.tum.de/>
Z3: Theorem Prover - Microsoft Research, <http://z3.codeplex.com/>

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий требуется помещение, оборудованное проектором, экраном и компьютером для проведения презентаций. Для проведения практических занятий и



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Системы автоматизированного построения логического вывода» для
направления 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», профили 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.17 «Теоретические основы информатики», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

семинаров требуется компьютерный класс, оборудованный рабочими станциями для каждого студента, а также проектором, экраном и компьютером для проведения презентаций.

Для дополнительных консультаций используется электронная почта (аспиранты могут обращаться к преподавателю с вопросами по текущим темам дисциплины, а также за консультациями по поводу дополнительной литературы, справочных данных и т.п.).

В процессе самостоятельных занятий и подготовки к практическим занятиям студенты могут использовать ресурсы сети Интернет, включая сайты органов государственной власти, крупнейших российских и зарубежных компаний, российских и зарубежных университетов и исследовательских организаций, а также деловой и профессиональной прессы и бизнес-сообществ.