

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Башмакова Степана Игоревича

“Временные многоагентные логики и проблема унификации”,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.06 – математическая логика, алгебра и теория чисел

Рассматриваемая диссертация посвящена изучению проблем унификации. Термин унификация возник в области теоретической информатики (computer science) и обозначает алгоритмическую процедуру решения уравнений посредством подстановки символических выражений. В контексте неклассических логик проблема унификации для логики L состоит в нахождении алгоритма, который по формуле в языке логики L определяет может ли подстановочный частный случай этой формулы быть теоремой логики L , и в случае положительного ответа находит такой частный случай. Если подстановка допустима только для части переменных, то речь идет об унификации с параметрами (параметрами являются неизменяемые переменные формулы). Подстановка, соответствующая требуемому частному случаю, называется унификатором. Унификатор σ_1 называется более общим чем σ_2 , если σ_2 дает решение, являющееся частным случаем решения проблемы унификации с помощью σ_1 для той же формулы. Отношение общности позволяет классифицировать проблемы унификации. Если для каждой унифицируемой формулы существует наиболее общий унификатор, то речь идет об унитарной унификации, как в случае классического пропозиционального исчисления. Нормальные модальные логики $K4$, $S4$, логика Гжегорчика Grz , логика Гёделя-Лёба GL , а также интуиционистская логика Int обладают финитарным типом унификации, для каждой унифицируемой формулы существует конечное число максимальных по отношению общности унификаторов. Наконец, как было показано Э. Ерабеком, минимальная нормальная модальная логика K обладает нульарным типом унификации, что означает отсутствие максимальных унификаторов для унифицируемых формул. Для интуиционистской логики, нормальной модальной логики $S4$ и для логики Гжегорчика Grz проблема унификации и тесно связанная с ней проблема допустимости правил вывода были исчерпывающим образом исследованы В.В. Рыбаковым, научным руководителем диссертанта. С. Гиларди (1997) предложил алгебраический подход к проблеме унификации основанный на понятии проективного объекта и успешно применил эту технику (2000) для исследования унификации в ряде расширений логики $K4$. Использование проективных формул, синтаксического аналога проективных объектов, позволило В. Джику и П. Войтыляку доказать проективную унификацию и, как следствие, унитарный тип унификации в логике $S4.3$, а затем и в $S5$. Среди других известных исследователей, работающих в этой области, стоит отметить Ф. Баадера и Д. Габбая. В целом, исследование проблем унификации можно охарактеризовать как важное и интенсивно развивающееся направление исследований.

Диссертация Степана Игоревича Башмакова посвящена исследованию проблемы унификации в линейных временных и многоагентных логиках, возникающих в рамках подхода к эпистемическим логикам, предложенным Я. Хиштиккой. Подобные логики имеют многочисленные приложения в области теоретической информатики и искусственного интеллекта, т.к. могут использоваться для моделирования процессов информационного взаимодействия между интеллектуальными агентами. В диссертации унификация и временные многоагентные логики рассматриваются с позиции неклассических логик, а полученные результаты имеют теоретическое значение.

Для решения проблемы унификации, соискателем используются критерии неунифицируемости; а также метод проективной унификации.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав (разделенных на параграфы), заключения и списка литературы. Работа изложена на 83 страницах, библиография включает 90 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность исследований диссертационной работы, дается достаточно подробный обзор современного состояния проблемы, кратко излагается содержание работы, формулируются основные результаты, а также приводятся необходимые сведения, характеризующие диссертацию, автора и полученные результаты.

В **первой главе** приводятся необходимые в работе основные сведения из области неклассических логик: определения, обозначения и формулировки утверждений теории пропозициональных, модальных и временных логик, правил вывода, реляционной семантики. Приведены основные определения теории унификации: определения унифицируемой формулы, проективного и граунд унификатора, наиболее общего унификатора, полного набора унификаторов, проективной подстановки, а также важнейшие результаты, связывающие между собой эти понятия и активно использующиеся в последующих главах.

Вторая глава посвящена линейной временной многоагентной логике знания \mathcal{LTK} с транзитивным временным отношением. Ранее, Э. Калардо нашла аксиоматизацию и решила проблему допустимости для этой логики. В первом параграфе второй главы логика \mathcal{LTK} задается семантически, а во втором — формулируется и доказывается критерий неунифицируемости для данной логики. В третьем параграфе главы, используя построенный критерий, найдены бесконечный и конечный базисы пассивных правил для логики \mathcal{LTK} . Правило называется пассивным, если его посылки не имеют общего унификатора.

Логика \mathcal{LFPK} , рассматриваемая в третьей, а также, частично, в четвертой и пятой главах, является версией линейной временной многоагентной логики, характеризуемой линейным многомодальным временным фреймом Крипке, неограниченным в обоих направлениях — для будущего и для прошлого, с соответствующими альтернативными отношениями по времени. В **третьей главе** дается ее семантическое описание (первый параграф), найдены критерий неунифицируемости и бесконечный базис пассивных правил (второй и третий параграфы соответственно). В **четвертой главе** удалось получить обобщение полученных результатов на случай произвольной полной по Крипке логики, в которой выразима универсальная модальность. Рассматриваемый в четвертой главе класс логик является очень широким и включает в себя целый ряд известных, прежде всего, временных логик. В заключительном параграфе главы установлено, что в линейной временной логике \mathcal{LTL} , в логике \mathcal{LFPK} , а также в логике ветвящегося зиг-заг времени выразима универсальная модальность, тем самым к ним применимы полученные результаты.

В **пятой главе** для исследования унификации в логике \mathcal{LFPK} и ее обогащениях используется подход С. Гиларди основанный на проективных формулах. К числу рассматриваемых обогащений относятся логика $\mathcal{LFPK}_{U_{-}}^{U_{+}}$ с дополнительными операторами U_{+} (*Until* направленный в будущее) и U_{-} (*Until* направленный в прошлое), а также логика $\mathcal{LFPK}_{U_{-},P}^{U_{+},N}$, язык которой содержит также операторы N (*Next*) и P (*Previous*). Далее доказывается, что любая унифицируемая формула в рассматриваемых логиках является проективной, и находится явный вид соответствующего унификатора. Как следствие, получена схема построения наиболее общего унификатора для любой унифицируемой формулы, а также установлено, что каждая из рассматриваемых логик имеет унификацию унитарного типа.

В заключительной **шестой главе** с помощью подхода С. Гиларди исследуется линейная логика \mathcal{ULITL} нетранзитивного времени с универсальной модальностью. Доказано, что для проверки унифицируемости формулы в \mathcal{ULITL} достаточно рассмотреть только граунд унификаторы. Стало быть, унифицируемость можно распознать эффективно.

Далее доказывается, что любая унифицируемая формула проективна, откуда следует уни-тарный тип унификации.

В **заключении** диссертации резюмируются полученные автором результаты, а также перечисляются направления дальнейших исследований.

По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, среди них 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

К числу недостатков работы следует отнести опечатки и стилистические погрешности, например, на странице 8 введения при обсуждении унификации в эквивалентных теориях дважды вместо слова “терм” написано слово “переменная”, на странице 11 достаточно неудачно описано каким образом проблема унификации сводится к проблеме допустимости. Впрочем количество недочетов такого рода не велико, не мешает чтению работы и не влияет на ее оценку.

Диссертационная работа С.И. Башмакова представляет собой завершённую научную работу. Результаты диссертации являются достоверными, новыми и актуальными, вносят заметный вклад в теорию унификации временных и многоагентных модальных логик. Все основные утверждения сопровождаются строгими математическими доказательствами. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Основные результаты своевременно опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК (всего 4 статьи) и неоднократно докладывались на различных российских и международных научных конференциях.

Считаю, что диссертация С.И. Башмакова «Временные многоагентные логики и проблема унификации» полностью соответствует п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Башмаков Степан Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.06 — математическая логика, алгебра и теория чисел.

Официальный оппонент
д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории логических систем
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт математики
им. С.Л. Соболева
РАН

23 января 2018 г.

пр. Академика Коптюга, 4, Новосибирск, 630090,
Институт математики им. С.Л.Соболева СО РАН
Тел.: +79612251978, e-mail: odintsov@math.nsc.ru



Сергей Павлович Одинцов /

