

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

Теория модальных логик – одна из активно изучаемых областей математической логики, в которой исследуются системы с особым типом связок – модальными операторами. Такие операторы позволяют значительно обогатить выразительные возможности классической логики и находят многочисленные приложения, в частности, в информатике.

В различных разделах информатики активно исследуются так называемые временные и многоагентные системы, характеризующие соответственно временной и информационный процессы (т.е. схемы передачи и хранения данных во времени). Эффективным инструментом моделирования таких систем являются модальные логики, обобщенные на многомодальные случаи. Подобные системы хорошо зарекомендовали себя в последние годы в работах Ф. Баадера, Д. Габбая, З. Манна, М. Варди и других исследователей математической логики и информатики. В диссертации Башмакова С.И. рассматриваются примеры именно таких систем.

Главным объектом внимания соискателя выступает проблема унификации – достаточно молодое, но активно развивающееся направление. Основная проблематика в нем строится вокруг вопроса: возможно ли произвести замену переменных в формуле таким образом, чтобы в результате получить тождественно истинную формулу (теорему) в логике? В случае положительного ответа, такие замены называются *унификаторами*, а сами формулы – *унифицируемыми* в логике. Актуальными в такой формулировке становятся задачи описания формул, для которых не существует таких замен и тех, для которых такие замены найдутся (неунифицируемых и унифицируемых формул соответственно). Кроме того, стоят задачи описания таких наборов унификаторов для каждой унифицируемой формулы, из которых могут быть получены все существующие (т.н. *полные наборы*), оценки величины таких наборов (конечные/бесконечные), а также поиска наибольшего, относительно предпорядка, называемого наиболее общим, унификатора.

Наиболее значительными результатами в теории унификации для нестандартных логик являются следующие. С. Гиларди предложил весьма эффективный подход к унификации через проективные формулы и определил конечный тип унификации в интуиционистской и многих известных модальных логиках (например, в $\mathcal{K}4$, $S4$, $S4Grz$, $G\mathcal{L}$). В.В. Рыбаков решил проблему унификации для $S4$, Grz , $\mathcal{I}nt$ и предложил новый подход к описанию неунифицируемых формул для расширений $S4$, а также $\mathcal{K}4$ с дополнительной аксиомой, исследовалась временная логика LTL для которой им установлен унитарный тип унификации при отсутствии проективности. В. Джик устано-

вил унитарный тип унификации в $\mathcal{S}4.3$ и $\mathcal{S}5$, Э. Ерабек – нульарный тип для минимальной нормальной \mathcal{K} и дискрипционной ALC. В.В. Рыбаков и Р. Емхофф установили связь унификации с допустимостью правил.

В диссертации С.И. Башмакова рассматриваются временные и многоагентные логики, описываемые при помощи реляционной семантики возможных миров Крипке. Для исследования проблемы унификации в этих системах, соискатель строит критерии для определения неунифицируемых формул – для LTK, LFPK и класса полных по Крипке логик, доказывает проективную унификацию и описывает построение наиболее общих унификаторов – для LFPK и ее модификаций, для нетранзитивной ULITL, доказывает эффективную определимость унифицируемости формул в ULITL при помощи граунд унификаторов.

Диссертация изложена на 83 страницах, состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы.

Во введении приводится обзор актуальных исследований по теме диссертационной работы, кратко излагаются результаты, выносимые на защиту, содержание диссертации.

Первая глава содержит предварительные сведения (определения, известные теоремы и леммы, важные обозначения) пропозициональной логики, правил вывода, модальной и временной логик, реляционной семантики Крипке, унификации и ряда других характеристик и свойств из области неклассических логик, что облегчает понимание диссертации.

Во второй главе исследуется линейная временная многоагентная логика LTK, язык которой содержит ряд модальных операторов, описывающих Знания агентов, а также одну временную модальность, описывающую движение в будущее. Семантическое описание предложено в первом параграфе, во втором доказывается Теорема 2.1 о неунифицируемости, в третьем, на основе данной теоремы, найден бесконечный базис пассивных правил, а затем – и его конечная форма (Предложение 2.1 и Теорема 2.2).

В третьей главе рассматривается иная линейная временная многоагентная логика – дополненная, кроме операторов знания, двумя временными модальностями – в будущее и прошлое – LFPK. Аналогично структуре второй главы, в первом параграфе дается семантическое построение логики, во втором доказывается Теорема 3.1 о неунифицируемости, третий посвящен пассивным правилам: в нем соискателю удалось найти бесконечный базис пассивных правил в LFPK (Теорема 3.2).

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию случая произвольной полной по Крипке логик с выразимой в их языке универсальной модальностью, в которой, кроме того, приводятся некоторые примеры других известных логик, на которые также распространяются полученные результаты: активно исследуемая в последние десятилетия LTL, предложенная во второй главе LFPK, зиг-заг ветвящаяся по времени логика.

В пятой главе для доказательства унитарного типа унификации С.И. Башмаков предлагает проверить проективную унификацию в логике LFPK. В начале главы описываются два расширения логики – для которых далее так-

же будет получен тот же результат. Во втором параграфе доказывается проективная унификация (Теоремы 5.1), предложен явный вид такого унификатора и алгоритм построения наиболее общего унификатора для любой унифицируемой формулы в LFPK и двух ее расширениях. В качестве следствия из доказанной Теоремы 5.1 получен унитарный тип унификации, что непосредственно следует из Леммы 1.4 С. Гиларди, приведенной в первой главе.

Шестая глава диссертации посвящена проблеме унификации в нестандартной временной логике ULITL с универсальной модальностью, в которой временное отношение является нетранзитивным. Такой подход хорошо коррелирует с идеей возможных проблем передачи информации из прошлого в будущее, для чего – в реальной ситуации – может существовать множество предпосылок. Логика такого типа могут быть весьма полезны при моделировании программных систем с динамической структурой. Семантически логика определяется в первом параграфе главы. Используя уже проверенный в пятой главе подход С. Гиларди, во втором параграфе доказывается эффективная определимость унифицируемости формул в логике при помощи граунд унификаторов (Теорема 6.1), а также доказывается проективная унификация (Теорема 6.2).

В *заключении* С.И. Башмаков кратко резюмирует полученные результаты и представляет план возможных дальнейших исследований.

Список литературы состоит из 90 наименований, включая работы диссертанта (14 наименований), и достаточно полно отражает имеющиеся публикации по тематике диссертации.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Существенные недостатки диссертации отсутствуют. Замечаниями к диссертационной работе являются следующие неточности, допущенные в главе «Определения и известные результаты»:

1) в первой фразе пункта 1.1 следует вместо «Язык $L \dots$ » писать «Алфавит языка $L \dots$ » (стр. 17);

2) фраза «Пропозициональные переменные из $P_{\mathcal{L}}$ могут интерпретироваться как переменные для произвольного логического выражения.» (стр. 17) без необходимых определений, выглядит не математической;

3) используется термин «логике \mathcal{L} языка L » без его определения (стр. 18 и далее, если вводилось определение «языка», то логично определить и «логику»);

4) в определении 1.4 (стр.18) следует слово «выводимой» заменить на слово «выводом».

Есть также замечание стилистического характера. Диссертация разбита на 6 глав, при этом пять последних в среднем состоят из 7 страниц, что для главы мало. Логичнее выглядело переименовать эти пять глав в параграфы и возможно сгруппировать в две главы, а разбивку на пункты сохранить.

Опечатки в тексте почти отсутствуют (в определении 1.1 (стр.17) лишнее слово «они»).

Результаты диссертации являются новыми, снабжены достаточно подробными доказательствами и представляют несомненный теоретический интерес. Диссертант при доказательстве результатов показал владение современным математическим аппаратом в области математической логики.

Все результаты диссертации своевременно опубликованы в печати. Среди 14 публикаций имеется 4 публикации в изданиях, которые входят в перечень ВАК российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций. Результаты также докладывались на 9 международных и российских конференциях.

Таким образом, диссертационная работа С.И. Башмакова является завершенным научным исследованием, все результаты которого достоверны, новы, актуальны и вносят заметный вклад как в теорию временных и многоагентных логик, так и в изучение унификационной проблемы в целом.

Считаю, что диссертация Степана Игоревича Башмакова «Временные многоагентные логики и проблема унификации» полностью соответствует п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. №842 и 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, профессор,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,
профессор кафедры вычислительной техники

Н.А. Перязев

06 февраля 2018 г.

Перязев Николай Алексеевич,
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5
Тел.: +7 (965) 762-55-79,
Эл. почта: nikolai.baikal@gmail.ru



Подпись Перязева Н.А.
Начальник ОДС ОТО ТАТ ЛЭТИ *С.А. Русова*