

О Т З Ы В

официального оппонента о диссертации

Нечесова Андрея Витальевича

на тему: “Полиномиальная вычислимость в семантическом программировании”
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.1.5 “Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная
математика”

Актуальность темы. Формализмы, ориентированные на решение практических задач, как правило, являются компромиссом между выразительностью и эффективностью. Чем выразительней формализм, тем более широкий круг задач он способен решать. Однако большая выразительность обычно ведет к повышенной сложности вычислений. С другой стороны, чем легче формализм с вычислительной точки зрения, тем эффективнее он справляется с доступными ему задачами, но круг этих задач сужается по мере упрощений. Диссертация А.В. Нечесова посвящена исследованию вопроса соотношения эффективности и выразительности с теоретической точки зрения – в приложении к теории семантического программирования. В качестве такого свойства формальной системы, обеспечивающего сбалансированный компромисс между этими двумя полюсами, выбрана полиномиальность, которая и достаточно выразительна для решения большого круга задач, и обеспечивает приемлемый уровень эффективности. Опираясь на формализм семантического программирования, диссертант (совместно с научным руководителем академиком С.С. Гончаровым) строит r -полный диалект семантического программирования, который позволяет определять все алгоритмы полиномиальной сложности, и только их.

Результаты исследований А.В. Нечесова имеют теоретическую и практическую значимость и для самого семантического программирования, в частности, предлагая инструментарий для создания новых прикладных систем. Конечно, теоретический баланс между выразительностью и эффективностью вычислений, достигнутый в исследованиях, не ведет напрямую к практическим результатам, однако является отличным подспорьем для дальнейшей теоретической и практической работы.

Научная новизна и практическая значимость исследований. Ключевыми новыми результатами исследований диссертанта являются полиномиальный аналог классической теоремы Ганди и построенный в рамках семантического программирования r -полный язык логического/семантического программирования L . На основе этого автором было показано существование полиномиально вычисляемых списочных представлений для разнообразных формальных структур. Начата также работа по созданию практического языка разработки на базе r -полного языка L .

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Все утверждения в диссертации являются точными и корректно сформулированными. Они тщательно и полностью обоснованы с использованием строгих и корректных математических рассуждений. Основные положения диссертации достаточно полно опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК и апробированы на нескольких конференциях и семинарах.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Считаю, что исследования А.В. Нечесова закладывают теоретические основы для развития

инструментов прикладных разработок в области искусственного интеллекта, робототехники, да и традиционного веб-программирования, особенно в областях с повышенными требованиями к семантической корректности данных, включая финтех, управление опасными производствами и в других аналогичных сферах. Существенное расширение возможностей подхода в области искусственного интеллекта и машинного обучения даст развитие инструментов, позволяющих явно управлять достоверностью данных. Имеются и иные возможности и идеи – как теоретические, так и прикладные, – которые должны развиваться в рамках не только исследований, но и венчурных проектов.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация А.В. Нечесова состоит из введения, 4 глав и заключения.

Во **введении** содержится постановка задачи, обосновывается актуальность темы исследования, изложены цели, задачи, методы исследования и основные результаты диссертации.

В **первой главе** решается проблема построения логического языка программирования L , совпадающего по выразительности с классом P всех алгоритмов полиномиальной вычислительной сложности. Под совпадением в работе понимается то, что для каждого алгоритма из класса P существует программа из класса L , реализующая его, а также то, что вычислительная сложность любой программы из класса L является полиномиальной. Диссертантом определяется язык L , в котором в качестве программы выступает терм специального вида. Включение в язык L p -итерационных термов наряду с ранее введенными в семантическое программирование условными термами, позволяет доказать основную теорему 1.4 о равенстве $P=L$.

Во **второй главе** изучаются индуктивно задаваемые определения множеств и объектов с точки зрения полиномиальности их поведения. Ключевым результатом главы является формулировка и доказательство полиномиального аналога теоремы Ганди. Для этого в главе вводится понятие GNF-системы, дается определение r -вычислимых GNF-систем, а также исследуются их свойства. Далее определяется монотонный оператор, обладающий свойством неподвижной точки, который строится по заданной r -вычисляемой GNF-системе. С опорой на GNF-системы формулируется основной результат главы – обобщенный полиномиальный аналог теоремы Ганди о наименьшей неподвижной точке с r -вычислимыми начальными условиями. В следствии из теоремы дается оценка степени полинома, ограничивающей вычислительную сложность построения неподвижной точки.

В **третьей главе** рассматриваются примеры классических множеств объектов математической логики и теории программирования с точки зрения существования их полиномиально вычислимых списочных представлений. В частности, рассматриваются представления для множеств формул, термов и доказательств логики предикатов первого порядка, а также для множеств L -программ и L -формул. Кроме того, показано существование r -вычислимого списочного представления для выводов в порождающих грамматиках.

В **четвертой главе** на базе r -полного языка L строится высокоуровневый объектно-ориентированный язык L^* . Идея состоит в том, чтобы получить язык, который, с одной стороны, является консервативным расширением языка L , а с другой стороны, приближается по синтаксису с такими распространенными и привычными языками

программирования как C++ и JS. Автор предполагает, что данные свойства позволят использовать язык в разнообразных прикладных областях, включая искусственный интеллект (особенно, объяснительный ИИ), робототехнику, смарт-контракты и другие. Строится как синтаксис, так и семантика языка L^* , а также доказывается консервативность языка относительно L .

В целом диссертация А.В. Нечесова **является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач**, объединенных общим подходом, ориентированным на построение замкнутой и развитой среды полиномиального семантического программирования. В рамках исследований автором получен ряд красивых и интересных результатов, в первую очередь, доказательство полиномиальной версии теоремы Ганди, обеспечивающей замкнутость и внутреннюю целостность полиномиального диалекта семантического программирования. Явное построение r -полного языка программирования также является интересным и перспективным достижением.

Замечания по работе. К содержанию работы имеются следующие замечания:

1. Общее замечание связано с методологической составляющей диссертации, у которой, с моей точки зрения, имеются проблемы. Автором декларируется большая польза подхода для искусственного интеллекта, машинного обучения и прочих сфер. Считаю, что работу значительно усилило бы наличие обоснований этой декларации. Почему подход будет полезен для ИИ? Какие преимущества он имеет относительно других широко распространенных подходов? Подчеркиваю, что математической компоненты исследований с лихвой достаточно для уровня кандидатской диссертации, но, если постулируется какой-то тезис, то он не должен провисать без соответствующего обоснования. Это упущение тем досаднее, что сами исследования имеют существенный методологический потенциал. Считаю, что в будущем методологической составляющей рассматриваемых исследований необходимо уделить серьезное внимание.

2. Такое же замечание можно сделать относительно языка L^* . В наше время придумано столько языков, что появление новых часто вызывает просто раздражение. Поэтому четкое обоснование введения языка является, как правило, ключевым элементом.

3. Относительно языка L^* оппонент испытывал еще одну проблему. За многие годы выработаны традиции и правила описания языков программирования, в частности, с помощью грамматик. К сожалению, в работе отсутствует целостное компактное описание L^* (можно было бы это сделать, например, в приложении). Описание кусков синтаксиса разбросано по тексту, и этот пробел затрудняет целостное восприятие языка. В качестве рекомендации можно предложить разработать описание, привычное для целевой аудитории прикладных разработчиков, иначе он так и останется вещью в себе.

4. В работе явно не хватает примеров разрабатываемых и исследуемых структур. Наличие примеров сделало бы текст исследований более доброжелательным к читателям. Особенно это касается языка L^* .

5. Имеется ряд замечаний относительно аккуратности изложения и оформления. Например, порядок аргументов термина $Cond(\dots)$ на стр. 18 перепутан относительно заданного на стр. 16. Отсутствуют пояснения для ряда обозначений – как в диссертации, так и в автореферате. Например, на стр. 13 отсутствует пояснение к Q_i в определении неподвижной

точки. Можно догадаться, но принято давать комментарии. В теле диссертации отсутствует ссылка на публикацию [9]. В качестве придирки можно добавить, что в тексте ощущается абсолютная нелюбовь к выделению причастных оборотов запятыми.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования А.В. Нечесова.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

Диссертационная работа А.В. Нечесова на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой исследуются вопросы полиномиальной вычислимости в рамках семантического программирования. Основные результаты диссертации опубликованы в 4 научных статьях в рецензируемых журналах, включенных ВАК в перечень ведущих периодических изданий. Результаты диссертационного исследования также прошли апробацию на нескольких конференциях и научных семинарах. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, характеризуют результаты проведенных исследований.

Уровень решаемых задач соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.5 – математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика.

Работа имеет несомненную научную и практическую значимость. Считаю, что диссертационная работа “Полиномиальная вычислимость в семантическом программировании” удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, а ее автор А.В. Нечесов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.5 – математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика.

Официальный оппонент
профессор кафедры алгебраических
и информационных систем ИМИТ ИГУ
д.ф.-м.н.

А.В. Манцивода

Подпись А.В. Манциводы у
Начальник управления кадр

Н.В. Валова

_____ 2023г.