

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

Владислава Васильевича Подымова

“Быстрые алгоритмы проверки эквивалентности программ

в моделях с полугрупповой семантикой”,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.01.09 – Дискретная математика и математическая кибернетика

Актуальность избранной темы. Проверка эквивалентности функционирования является одной из центральных в теории семантического анализа программ, и к ней может быть сведено большое число других алгоритмических проблем. Подход, изложенный в диссертационной работе В. В. Подымова, соответствует концепции систематического поиска эффективно проверяемых достаточных условий эквивалентности и построения систем эквивалентных преобразований, предложенной и развитой в работах А. А. Ляпунова, Ю. И. Янова, А. П. Ершова, В. М. Глушкова, А. А. Летичевского, Р. И. Подловченко и В. А. Захарова.

Для нетривиальных классов систем с бесконечными множествами состояний все интересные типы эквивалентностей уже неразрешимы. В связи с этим естественным является сужение рассматриваемого класса до конечных систем (эквивалентных схемам Ляпунова-Янова с конечной сигнатурой). Такие системы сами по себе достаточно просты (и, как следствие, допускают эффективный анализ эквивалентности), но при этом не содержат никакой информации о воздействии операторов на данные. Используемый в диссертации более общий подход состоит в дополнительном построении так называемых динамических семантик, описывающих возможные интерпретации операторов и предикатов рассматриваемых схем программ. Важным достоинством данного метода является гибкость, то есть возможность определения выразительных моделей различной природы при помощи всевозможных формальных конструкций (логических, алгебраических или даже теоретико-автоматных). Получаемая “тонкая” параметризация позволяет описывать очень широкий спектр содержательных классов схем программ.

В диссертации В. В. Подымова рассматриваются динамические семантики, задаваемые в алгебраическом стиле — при помощи определяющих соотношений (так называемые полугрупповые шкалы). В качестве базовых моделей используются три типа схем: последовательные, линейные унарные рекурсивные и металинейные унарные рекурсивные.

В последовательном случае В. В. Подымовым существенно расширен класс моделей с полиномиально разрешимой эквивалентностью. Представленный алгоритм для упорядоченных шкал с коммутативностью и подавлением обобщает сразу несколько известных ранее результатов: для шкал с коммутативностью, шкал с подавлением и шкал со специальными определяющими соотношениями, моделирующими обработку прерываний.

Для рекурсивных моделей также получен ряд очень интересных результатов. В частности, доказана полиномиальная разрешимость сильной эквивалентности металинейных унарных рекурсивных программ, а также получены достаточные условия полиномиальной разрешимости для линейных унарных рекурсивных программ.

Тема исследований диссертационной работы В.В. Подымова является актуальной, а их результаты — существенными. Работа важна как в теоретическом плане — для развития методов моделирования и анализа систем, так и в прикладном — для создания и совершенствования эффективных программно-аппаратных средств верификации.

Тема исследований и полученные результаты полностью соответствуют паспорту специальности 01.01.09 – Дискретная математика и математическая кибернетика, подпадая под следующие пункты описания области исследования: “теория автоматов; синтез и сложность управляющих систем (в частности сложность алгоритмов и вычислений); эквивалентные преобразования управляющих систем; контроль функционирования управляющих систем”.

Содержание диссертации. Работа состоит из восьми глав и списка литературы.

В первой главе – введении – автор дает краткий обзор исследуемых проблем и существующих методов их решения, формулирует постановку задачи, кратко перечисляет полученные результаты и характеризует их новизну.

Вторая глава содержит базовые понятия и обозначения.

В третьей главе приводятся определения, касающиеся рассматриваемых в диссертации моделей. Вводятся понятия программы, вычисления, шкалы и интерпретации. Отдельно вводятся понятия, возникающие при рассмотрении рекурсивных схем. Приводится ряд известных результатов, касающихся шкал и совместности трасс.

В четвертой главе формулируются результаты диссертации, а также приводится неформальное описание основного инструмента исследования — метода совместных вычислений, заключающегося в одновременном построении вычислений программ в интерпретациях, рассматриваемых при описании эквивалентности.

Пятая глава содержит результаты, относящиеся к моделям императивных программ на шкалах с коммутативностью и подавлением. Разделы 5.1 и 5.2 посвящены основным свойствам моноидов с коммутативностью и подавлением, в частности, приводится критерий упорядоченности моноида, а также исследуются свойства вывода в упорядоченном моноиде и вхождений операторов в вывод. В разделе 5.3 описан способ распознавания подавления операторов при помощи построения автомата специального вида. Раздел 5.4 содержит схему построения графа совместных вычислений для шкал с коммутативностью и подавлением, а также ключевую теорему 5.4.1, сводящую эквивалентность программ к отсутствию опровергающего маршрута. В разделах 5.5-5.7 автор доказывает серию лемм о влиянии механизма подавления на свойства графа совместных вычислений и о достаточной стратегии обхода вершин. С использованием представленного аппарата сконструирован алгоритм проверки эквивалентности двух программ. Таким образом подтверждается полиномиальная сложность соответствующей проблемы для последовательных программ на шкалах с коммутативностью и подавлением (итоговая теорема 5.7.1).

Шестая глава посвящена моделям линейных унарных рекурсивных программ. Линейность и унарность в данном случае являются естественным ограничением, поскольку более сложные способы рекурсии приводят, как правило, к неразрешимости. В разделе 6.1 описывается критериальная система специального вида, на структуру которой в дальнейшем будут накладываться дополнительные ограничения для выделения классов с разрешимой и полиномиально разрешимой эквивалентностью. В разделе 6.2 описывается граф совместных вычислений, а также приводятся некото-

рые свойства маршрутов в нём. Итогом является теорема 6.2.1 о связи эквивалентности программ и отсутствия опровергающих маршрутов. Разделы 6.3 и 6.4 посвящены поиску достаточных условий разрешимости (теорема 6.3.1) и полиномиальной разрешимости (теорема 6.4.1) проблемы эквивалентности линейных унарных рекурсивных программ.

Седьмая глава посвящена проблеме сильной эквивалентности металинейных унарных рекурсивных программ. Под сильной эквивалентностью понимается эквивалентность на свободной шкале, то есть без учета воздействия операторов на данные. Это достаточно сильное упрощение, однако оно вполне естественно, поскольку призвано компенсировать большую сложность металинейных программ по сравнению с линейными. В разделе 7.1 приводятся вспомогательные понятия и утверждения, касающиеся термов и рекурсивных вычислений. В разделе 7.2 описывается специфический вид графа совместных вычислений металинейных программ, а также доказываются свойства маршрутов и теорема 7.2.1 о сводимости сильной эквивалентности программ и недостижимости специальной вершины в графе (аналог отсутствия опровергающего маршрута). Разделы 7.3 и 7.4 посвящены анализу свойств графа совместных вычислений и определению в нём полиномиальных обходов. Итогом является теорема 7.4.1 о полиномиальной разрешимости сильной эквивалентности металинейных программ.

Восьмая глава — заключение.

Основными результатами диссертационной работы являются следующие:

1. Полиномиальный по времени алгоритм проверки эквивалентности моделей последовательных программ, операторы которых могут быть связаны соотношениями коммутативности и подавления.
2. Свойства критериальных систем, достаточные для полиномиальной разрешимости эквивалентности линейных унарных рекурсивных программ.
3. Полиномиальный по времени алгоритм проверки сильной эквивалентности металинейных унарных рекурсивных программ.

Замечания:

1. В тексте работы недостаточно примеров.
2. В заключении автор указывает, что “не существует полного разграничения моделей с разрешимой и неразрешимой проблемами эквивалентности”. По-видимому, следует говорить “не может быть найден эффективный способ разграничения”.
3. Имеется незначительное количество опечаток, в частности: в формулировке утверждения 3.1.2 должно быть не $tr_2 + 2$, а $tr_2 + 1$.

Указанные недостатки являются несущественными и не влияют на общую положительную оценку работы.

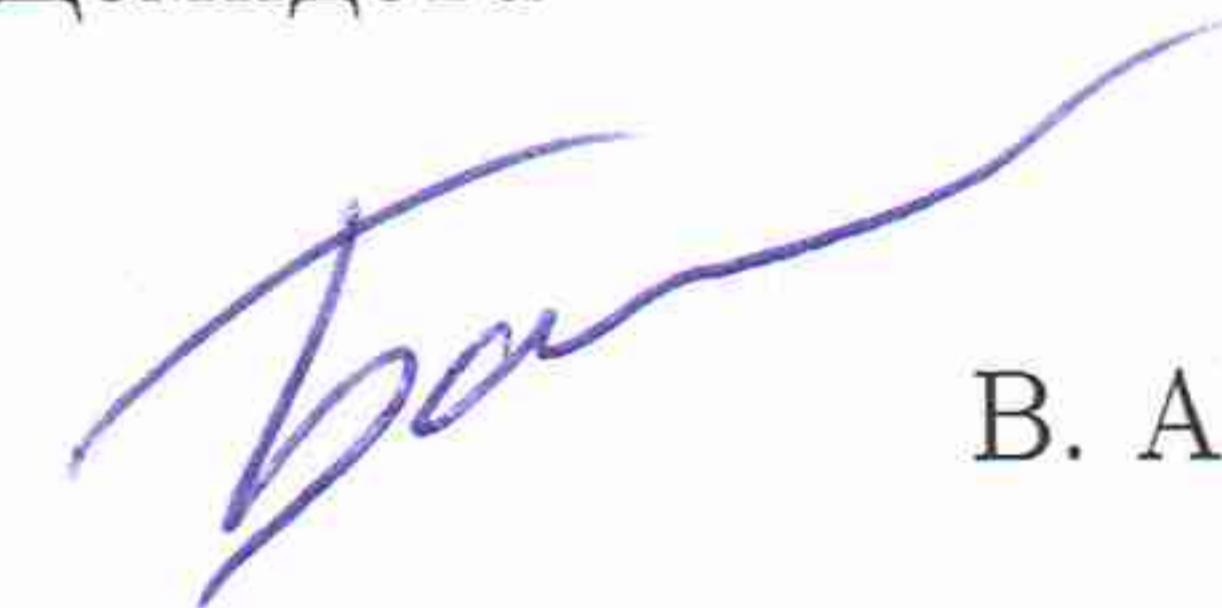
Автор уверенно владеет современными методами алгебры и математической логики. Работа представляет собой важное продвижение в теории моделей программ. Все результаты являются новыми, строго сформулированы и снабжены полными доказательствами.

По теме диссертационного исследования В. В. Подымовым опубликовано 7 работ, 4 из которых в журналах, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Я считаю, что работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и что на основании этой работы её автор, Владислав Васильевич Подымов, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 — Дискретная математика и математическая кибернетика.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры теоретической информатики Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования
“Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова”

5 марта 2015 г.



В. А. Башкин

150000, г. Ярославль, ул. Советская, д.14
Тел. +7 (4852)72-82-56
E-mail: v_bashkin@mail.ru

