

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИСП РАН, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.
Аветисян А.И.
«28» марта 2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт системного программирования Российской академии наук (ИСП РАН) на
диссертационную работу Закаблукова Дмитрия Владимировича на тему «Методы синтеза
обратимых схем из функциональных элементов NOT, CNOT и 2-CNOT», представленную
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика»

Диссертационная работа Закаблукова Д.В. посвящена методам синтеза обратимых схем. Традиционные подходы с использованием транзисторов в скором времени исчерпают свои возможности в связи с неразрешимой технологической проблемой отвода огромного количества тепловой энергии, поскольку необратимые вычисления всегда будут приводить к тепловым потерям согласно принципу Ландауэра. Следовательно, нулевой уровень тепловых потерь потенциально возможен только в устройствах, реализующих обратимые вычисления. С другой стороны, актуальность задачи исследования обратимым схемам обусловлена, в частности, развитием квантовых технологий, поскольку обратимые схемы могут применяться в качестве математической модели функционирования квантовых вычислительных устройств. Отметим, что существуют и другие методы построения микросхем, например, КМОП технология, использование молекул ДНК.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 105 наименований.

Во введении изложена история исследований обратимых схем и дан обзор литературы по теме диссертации.

В первой главе даются базовые понятия обратимых элементов и схем, описываются их свойства и характеристики.

Во второй главе рассматриваются существующие алгоритмы синтеза обратимых схем, и предлагаются новые быстрые алгоритмы синтеза. Приводится сравнение описанных алгоритмов по основным характеристикам.

В третьей главе рассматриваются различные способы снижения сложности обратимых схем. Доказывается новый признак коммутируемости двух обратимых элементов, приводятся различные эквивалентные замены композиций элементов. Показывается эффективность разработанных способов снижения сложности обратимых схем на практике путём описания более 40 синтезированных схем, имеющих лучшие характеристики по сравнению с аналогами.

В четвёртой главе доказываются различные асимптотические оценки сложности и глубины обратимых схем при различном количестве дополнительных входов. Установлен порядок роста сложности обратимых схем для широкого диапазона значений количества дополнительных входов. Доказано, что использование дополнительных входов в обратимых схемах почти всегда позволяет существенно снизить их сложность и глубину.

В пятой главе рассматривается применение обратимых схем для реализации вычислительно асимметричных преобразований. В частности, рассматривается схемная реализация алгоритма дискретного логарифмирования по основанию примитивного элемента в конечном поле характеристики 2.

В заключении приведён список основных результатов диссертационной работы и направлений дальнейших исследований.

Приведем список основных на наш взгляд результатов диссертации

1. Получены верхние и нижние асимптотические оценки сложности, глубины и квантового веса обратимых схем из элементов NOT, CNOT и 2-CNOT, позволившие выявить существенную зависимость данных оценок от количества дополнительных входов в схеме.
2. Систематизированы существующие и предложены новые способы снижения сложности обратимых схем.
3. Для чётных подстановок с малым числом подвижных точек разработан новый быстрый алгоритм синтеза реализующих их обратимых схем.
4. Разработан первый и единственный на сегодняшний день асимптотически оптимальный метод синтеза обратимых схем без дополнительных входов, состоящих из элементов NOT, CNOT и 2-CNOT.
5. Предложены различные методы синтеза обратимых схем для реализации алгоритма дискретного логарифмирования в конечном поле характеристики 2.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается строгой математической моделью и корректностью математических доказательств. Полученные

результаты не противоречат общеизвестным данным и подтверждаются результатами экспериментов по синтезу обратимых схем.

Теоретическая ценность диссертационной работы состоит в разработке асимптотически оптимальных методов синтеза обратимых схем из элементов NOT, CNOT и 2-CNOT, имеющих заданное количество дополнительных входов. Полученные результаты можно использовать при проектировании энергоэффективных устройств, предназначенных для работы в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Тем не менее работа не лишена недостатков. Можно отметить следующие замечания по диссертационной работе:

1. Асимптотические оценки в четвёртой главе зачастую перегружены указанием остаточных членов, что мешает пониманию порядка роста функций.
2. Способы снижения сложности обратимых схем, описанные в третьей главе, не имеют чётких оценок сверху времени работы, что затрудняет их применение на практике.
3. Выдвинутая в конце пятой главы гипотеза о причинах различия схемной сложности реализации прямого и обратного преобразований сформулирована весьма обтекаемо и обобщённо.
4. Следует отметить также что в работе получено много различных результатов, однако их систематизация и выделение самых важных из них не проведено, что затрудняет для читателя восприятие диссертации.

Однако, отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки работы.

Диссертационная работа Закаблуква Дмитрия Владимировича «Методы синтеза обратимых схем из функциональных элементов NOT, CNOT и 2-CNOT» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной под руководством к.ф.-м.н., доцента Жукова А.Е., содержит новые научные результаты, полученные Закаблуквым Д.В. лично.

Результаты диссертационной работы полностью изложены в 12 печатных трудах, из которых 5 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК. Результаты докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях. Автореферат правильно и в полном объёме отражает содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа соответствует всем критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика», а её автор Закаблукв

Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Настоящий отзыв заслушан, обсуждён и одобрен на заседании « семинара отдела теоретической информатики ИСП РАН » 27 марта 2018 г., протокол № 2.

Шокуров Александр Владимирович
кандидат физ.-мат. наук, доцент
специальность 05.13.11 математическое
и программное обеспечение вычислительных машин
ведущий научный сотрудник ИСП РАН
отд. теоретической информатики
Москва 109004, ул. А. Солженицына д.25
тел. 8(495)912-44-25, e-mail: shok@ispras.ru

Шокуров

А. В. Шокуров

*Подпись Шокурова А.В. под твердое
Электронный секретарь ИСП РАН И.В. Раушанин*

