# ОТЗЫВ официального оппонента
# на диссертацию на соискание ученой степени
# кандидата физико-математических наук
# Ефимова Алексея Андреевича
# на тему: «Оценки энергопотребления объёмных схем»
# по специальности 1.1.5 «Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика»

В диссертационной работе изучается одна из основных задач теории дискретных управляющих систем —- задача их синтеза. В общем виде эта задача состоит в построении для заданной дискретной функции ее структурной реализации (схемы) в заданном классе дискретных управляющих систем, которая является оптимальной относительно заданных функционалов сложности (индексов простоты). В диссертации рассматривается традиционный, предложенный еще К. Шенноном, вариант постановки данной задачи — задача массового синтеза, решаемая в рамках асимптотического подхода. Указанный вариант задачи синтеза схем из заданного класса, реализующих булевы функции, заключается в изучении асимптотического поведения так называемой функций Шеннона —- функции натурального аргумента $n$, равной наибольшему значению "сложности"наилучших в исследуемом классе схем реализаций булевых функций от $n$ переменных при $n = 1, 2, ....$

В рамках асимптотического подхода может исследоваться сложность не только отдельных булевых функций, но и систем таких функций (т.н. операторов), могут рассматриваться не все булевы функции от $n$ переменных, а некоторые их подклассы, может изучаться возможность оптимизации получаемых схем по нескольким функционалам сложности одновременно.

Диссертационная работа Ефимова А. А. посвящена изучению одного интересного как с теоретической, так и с практической точки зрения класса дискретных управляющих систем — класса объемных схем из функциональных элементов (ОСФЭ). При этом наряду с традиционным функционалом сложности ОСФЭ —- их объемом, в диссертации исследуется сравнительно новый функционал сложности ОСФЭ — их максимальный (средний) потенциал, который равен максимальному (соответственно среднему) по всем входным наборам схемы числу её обращающихся в единицу узлов (входов и выходов элементов). В связи с тем, что указанные функционалы моделируют такие значимые параметры реальных схем, как объем (площадь) и потребляемая мощность, тема представляется мне весьма актуальной.

Модель ОСФЭ обобщает модель клеточных схем из функциональных элементов (КСФЭ), в которых элементы располагаются на плоскости. Обе эти модели изучались в работах Кравцова С.С., Коршунова А.Д., Альбрехта А., Шкаликовой Н.А. и других авторов. Работа Ефимова А.А., в определённой степени, продолжает исследования КСФЭ с учетом их глубины и мощности, начатые в работах Калачева Г.В. Особенность модели ОСФЭ, рассматриваемой в данной работе (по аналогии с моделью КСФЭ, изучаемой в работах Калачева Г.В.), заключается в том, что входы и выходы схемы могут располагаться внутри занимаемого ею пространства. Между этими работами и рассматриваемой диссертацией имеется некоторая преемственность как в постановках задач, так и в методах их решения.

Напомню, что предложенная С.С. Кравцовым модель КСФЭ, построенных из функциональных элементов, которые представляют собой квадраты со стороной 1, вложенные в прямоугольную решетку с использованием коммутационных элементов такой же формы, исследуются с конца 60-х годов прошлого века. При этом Кравцов С.С. установил, что функция Шеннона для площадки КСФЭ в стандартном базисе, реализующих булевы функции от $n$ переменных, имеет порядок роста $2^n$. После этого Альбрехт А. доказал, что она асимптотически равна $\sigma \cdot 2^n$, где $\sigma$ - константа, значение которой до сих пор не известно, а Грибок С.В. привел пример базиса КСФЭ, для которого указанная константа равна 1.

Поведение функции Шеннона для площади некоторых типов клеточных контактных схем изучал Задорожнюк О.А. Сложность реализации некоторых специальных булевых функций и операторов в классе КСФЭ, а также в классе клеточных контактных схем рассматривали Шкаликова Н.А., Таразевич Ю.Г., Грибок С.В. и др. авторы.

Возможность реализации частичных булевых функций такими КСФЭ, площадь и глубина которых имеют тот же порядок роста, что и соответствующие функции Шеннона, установил Жуков Д.А. Невозможность достижения на одной и той же КСФЭ оптимальных по порядку значений площади и (статической) мощности при реализации системы всех элементарных конъюнкций ранга $n$ от $n$ переменных доказал Черемисин О.В.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении приведен достаточно полный обзор публикаций по теме диссертации, дана краткая характеристика предшествующих результатов и проведено сравнение этих результатов с результатами диссертации. Кроме того, в нем введены основные определения и обозначения, на базе которых даны точные формулировки результатов диссертации.

В диссертации Ефимова А.А. в качестве базиса кубических элементов рассматриваются все булевы операторы, суммарное число входов и выходов которых не превышает 6 (интересно, что число таких элементов равно 90537043409). В ней определяются меры сложности схем из кубических элементов, связанные с их линейными размерами и объемом, а также с потенциалом (мощностью), который исследуется как в среднем, так и в худшем случае. Потенциал ОСФЭ на заданном наборе значений ее входов равен количеству тех элементов схемы, на выходах которых при этом появилось значение 1, и характеризует т.н. "статическую"активность ОСФЭ. В диссертации изучается поведение функций Шеннона $U(n, m)$ и $\hat{U}(n, m)$ для среднего и максимального значений потенциалов (частичных) булевых операторов с $n$ входами и $m$ выходами.

В первой главе диссертации для произвольного булевого $(n, m)$-оператора строится реализующая его ОСФЭ, которая имеет объем $O(m \cdot 2^n)$ и максимальный потенциал вида $O(\frac{m \cdot 2^{n/3}}{min^{2/3}(m,n)})$. При этом рассматриваются два случая $(m \leq n, n > n)$ и используются вспомогательные "плоские"ОСФЭ, предложенные Калачевым Г.В.

Во второй главе диссертации излагается оригинальная (непрерывная) модификация метода расслоения, с помощью которой устанавливаются нижние оценки вида $\Omega(\frac{m \cdot 2^{n/3}}{min^{2/3}(m, \log_2 |D|)})$ среднего значения потенциала у почти всех частичных $(n, m)$-операторов с областью определенности $D$ при условии, что $n \log_2 n = o(|D|)$ и $\log_2 m = o(|D|)$. Заметим, что при $D = \{0, 1\}^n$, т.е. в случае всюду определенных функций, эти оценки по порядку роста совпадают с верхними оценками главы 1.

В третьей главе диссертации рассматривается класс ОСФЭ с определенными ограничениями на расположение выходов. Для этого вводится дерево выходов схемы, длины ребер которого задаются расстояниями между соответствующими выходами в манхэттенской метрике, и определяется класс $T_h$, состоящий из тех ОСФЭ, для которых сумма всех указанных длин не больше $h$, а также класс $T_{near} = T_m$, где $m$-число выходов схемы. Получена нижняя оценка потенциала "типичной"$(n, m)$-функции с заданной областью определенности $D$ при ее реализации в классе $T_h$, если $n \log_2 n = \bar{o}(n)$ и $\log_2 m = \bar{o}(|D|)$. При этом для класса $T_{near}$ установлена совпадающая с ней по порядку роста верхняя оценка потенциала произвольной всюду определенной $(n, m)$-функции.

В заключении перечислены основные результаты диссертации сформулированы направления дальнейших исследований.

В диссертации отсутствуют серьезные недостатки. Тем не менее, к изложению материала и оформлению диссертации имеются некоторые замечания. Это касается, в частности, отсутствия в списке литературы работ, которые уточняют оценки Н.А. Шкаликовой и устанавливают асимптотику площади дешифратора в классе КСФЭ. Недостаточно строго, на мой взгляд, определяется класс $T_h$.

В работе имеется ряд неточностей и погрешностей стиля, в оглавлении диссертации отсутствует упоминание о списке литературы.

Оценивая работу в целом, можно констатировать, что тема диссертационной работы, как уже говорилось, актуальна, а полученные в ней результаты вносят существенный вклад в развитие теории сложности управляющих систем. Указанные выше замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.5 «Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика», а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Ефимов Алексей Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.5 «Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика».

Официальный оппонент:
Доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой математической кибернетики факультета
Вычислительной математики и кибернетики
ФГБОУ ВО
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
ЛОЖКИН Сергей Андреевич

(Подпись)

15.12.2023
(Дата подписания)

Контактные данные:
тел.: +7 (495) 939-53-92, e-mail: lozhkin@cs.msu.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.01.09 — «Дискретная математика и математическая кибернетика»

Адрес места работы:
119991, ГСП-1, Москва, ГСП-1, ул. Колмогорова, д. 1, стр. 52, Факультет вычислительной математики и кибернетики
тел.: +7 (495) 939-53-92, e-mail: lozhkin@cs.msu.ru

Подпись сотрудника ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» С.А. Ложкина удостоверяю: