ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертацию Попкова Кирилла Андреевича

«О возможностях построения легкотестируемых контактных схем

и схем из функциональных элементов»,

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 01.01.09 –

«Дискретная математика и математическая кибернетика»

Исследование логических способов контроля исправности и диагностики неисправностей управляющих систем, а также разработка методов построения легкотестируемых управляющих систем с последующей оценкой длины тестов для них составляют один из важных и востребованных в прикладном отношении разделов математической кибернетики. Логические способы контроля и диагностики обладают рядом преимуществ, в частности они легко поддаются автоматизации, допускают эффективное использование быстродействующей вычислительной техники, что в ряде случаев позволяет значительно упростить и ускорить сам процесс контроля и осуществлять контроль в случаях, когда другие способы контроля оказываются недоступны. Поэтому такие методы получили широкое распространение и обеспечили необходимость и актуальность разработки соответствующей математической теории. Начало развития такой теории обычно связывают (в России, во всяком случае) с фундаментальными работами С.В. Яблонского и И.А. Чегис, вышедшими в 50-х годах прошлого столетия. В этих работах в качестве конкретных объектов тестирования рассматривались контактные схемы, были предложены общие, ставшие впоследствии классическими постановки задач, получены первые существенные теоретические результаты, введены ставшие впоследствии общепринятыми понятия, термины.

К настоящему времени в математической теории контроля исправности и диагностики неисправностей фактически сформировалось и активно развивается направление, которое изначально предполагает главной или одной из главных задач при синтезе схем достижение их высокой тестопригодности. Эта задача обычно решается путем добавления в схему «контролирующих» элементов (контактов или функциональных элементов) или даже целых специальных подсхем, которые в исправной схеме фактически и не используются для реализации заданных функций и назначение которых состоит в контроле исправности других элементов и в таком изменении функционирования схемы при поломках в ней элементов, когда возникающие поломки обнаруживаются на небольшом количестве тестовых входных наборов. В целом схемы оказываются устроенными весьма хитроумно и при их конструировании требуется проявлять большую изобретательность. Но зато и достижимые результаты при этом оказываются впечатляющими, порой окончательными, неулучшаемыми. Именно к этому направлению относится диссертационная работа К.А. Попкова, что обеспечило ее высокую актуальность и результативность.

Эта диссертация (375 страниц текста) помимо сопутствующего материала (введение, заключение, список сокращений и обозначений, список литературы, приложения) содержит две главы основного текста. В первой главе из семи параграфов изучаются тесты для контактных схем, во второй главе из одиннадцати параграфов исследуются тесты для схем из функциональных элементов. Рассматриваются важнейшие типы неисправностей схем: обрывы и замыкания контактов в контактных схемах и константные и инверсные неисправности на входах и на выходах элементов в схемах из функциональных элементов. Приведу некоторые наиболее значимые, на мой взгляд, результаты диссертации.

Для произвольной булевой функции f найдена наименьшая возможная длина проверяющего теста размыканий контактной схемы, реализующей f. Установлено, что почти каждую булеву функцию от n переменных можно реализовать контактной схемой, допускающей проверяющий тест размыкания всего из двух наборов. Существенно улучшены верхние оценки (линейные по n вместо экспоненциальных) длины минимальных единичных диагностических тестов размыкания, и найдено точное значение функции Шеннона длины полного диагностического теста размыкания. Доказано, что почти любую булеву функцию можно реализовать контактной схемой, допускающей единичный диагностический тест размыкания не более чем из 4 наборов.

Найдено точное значение функции Шеннона длины полного проверяющего теста замыкания. Показано, что почти любую булеву функцию n переменных можно реализовать контактной схемой, допускающей k-проверяющий тест замыкания из двух наборов. Установлены линейные по n верхние оценки функции Шеннона длины единичного диагностического теста замыкания; найдено точное значение функции Шеннона длины полного диагностического теста замыкания.

Рассматривались произвольные неисправности (одновременно размыкания и замыкания контактов) контактных схем и для этого случая даны описания всех классов булевых функций, для которых наименьшая возможная длина единичного проверяющего теста может равняться 0, 1, 2 и 3; для почти всех других булевых функций эта величина оказалась равной 4. Для случая произвольных неисправностей контактов также установлено, что почти любую булеву функцию можно реализовать контактной схемой, допускающей единичный диагностический тест не более чем из 8 наборов.

Для однотипных константных неисправностей типа 1 на выходах функциональных элементов представлен некоторый класс функционально полных базисов, для которых соответствующая функция Шеннона для единичного проверяющего теста равна 2, а для базиса $\{\&,-\}$ и произвольной (отличной от константы) булевой функции установлена, в том числе и для неисправностей типа 0, наименьшая возможная длина единичного проверяющего теста, которая варьируется от 0 до 3.

Для любой булевой функции (кроме константы 1) найдено точное значение наименьшей возможной длины единичного диагностического теста для схемы из функциональных элементов в классическом базисе $\{\&,\vee,-\}$ в случае однотипных константных неисправностей типа 1 на выходах элементов; как оказалось, эта длина варьируется от 0 до 2. Аналогичный результат получен для схем в базисе Жегалкина и неисправностей типа 0. Экспоненциальная нижняя оценка установлена для полных диагностических тестов схем в базисе {x/y} и неисправностей типа 1.

Показано, что любую булеву функцию, отличную от константы и от тождественной функции, можно реализовать схемой в базисе из конъюнкции, инверсии и линейной функции от трех переменных, допускающей в случае произвольных константных неисправностей на выходах элементов минимальный (т.е. наименьшей возможной длины) единичный проверяющий тест длины 2. Аналогичный результат установлен для полных проверяющих тестов и семейства базисов, каждый из которых содержит по две функции, одна из которых зависит от четырех переменных, а вторая - от трех переменных.

Представлен базис из одной функции от 6 переменных, в котором для любой отличной от константы булевой функции можно построить схему, допускающую минимальный единичный диагностический тест не более чем из трех наборов в случае произвольных константных неисправностей на выходах элементов. При таких же неисправностях для функции Шеннона полных диагностических тестов схем в базисе {&,-} установлена экспоненциальная нижняя оценка.

Описаны семейства базисов, в которых произвольные булевы функции можно реализовывать схемами, допускающими k-проверяющие и k-диагностические тесты не превосходящей двух длины в случае однотипных нулевых неисправностей на входах и выходах элементов.

Представлены некоторые семейства базисов, для которых разработаны методы синтеза легкотестируемых схем в случае произвольных константных неисправностей на входах элементов, на входах и выходах элементов одновременно; при этом рассматривались k-проверяющие, k-диагностические, единичные диагностические тесты. Для каждого конкретного случая (конкретные базис, тип неисправности, вид теста) установлена возможность реализации произвольной булевой функции схемой, допускающей соответствующий тест константной (не превосходящей четырех) длины.

Для инверсных неисправностей на выходах элементов приведен пример базиса, для которого выполняется константная верхняя оценка функции Шеннона для полных диагностических тестов.

Представлен метод синтеза схем в произвольном полном базисе, допускающих короткие (длины не более 4) единичные диагностические тесты относительно константных либо инверсных неисправностей на входах и выходах элементов.

Достоверность результатов диссертации подтверждается строгими математическими доказательствами. При решении задач диссертации были предложены оригинальные идеи и разработаны новые методы синтеза легкотестируемых схем. В диссертации используются методы и известные результаты из дискретной математики и математической кибернетики, алгебры и комбинаторики. Результаты диссертации, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно, являются новыми, важными, представляют большой научный интерес. Известные результаты других авторов, упомянутые в диссертации, снабжены соответствующими ссылками. Представленные в диссертации оригинальные методы синтеза легкотестируемых схем, ряд наилучших на настоящий момент оценок длины тестов, а в ряде случаев точных значений функции Шеннона длины тестов в совокупности, несомненно, представляют собой крупное научное достижение.

В работе над диссертацией К.А. Попков проявил себя как одаренный математик, сложившийся ученый, способный самостоятельно ставить задачи, разрабатывать и обосновывать методы их решения. Полученные им научные результаты отвечают мировому уровню и опубликованы в 30 печатных работах, из которых свыше двадцати – в рекомендованных ВАК РФ изданиях. Эти результаты также докладывались автором на многих семинарах, конференциях, в том числе международных. Тема и содержание диссертации отвечают п.2 паспорта специальности ВАК 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика» (физико-математические науки).

Таким образом, диссертация Попкова Кирилла Андреевича «О возможностях построения легкотестируемых контактных схем и схем из функциональных элементов» отвечает всем требованиям ВАК РФ, установленным в Положении о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика».

Научный консультант, д. ф.-м.н.
(специальность 01.01.09 – «Дискретная математика
и математическая кибернетика»), профессор кафедры
дискретной математики механико-математического
факультета Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова

Н.П. Редькин

«03» марта 2021г.

Подпись Н.П. Редькина удостоверяю:

Вед. спец-т о/к Морозова Н.А.