

УДК 004.75



**К.С. Ткаченко,**  
аспирант,  
Севастопольский  
национальный  
технический  
университет  
e-mail: tkachenkokyrylostanis  
lavovych@ukr.net

## ОБУЧЕНИЕ АЛГОРИТМУ ПРОВЕРКИ И ДИАГНОЗА КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ, ПРОЕКТИРУЕМЫХ НА ЭЛЕМЕНТАХ И-НЕ

*К.С. Ткаченко.* Обучение алгоритму проверки и диагноза комбинационных схем, проектируемых на элементах И-НЕ. Предлагается программная система обучения и корректного контроля студентов алгоритмическим методом для обучения алгоритму проверки и диагноза комбинационных схем, проектируемых на элементах И-НЕ.

*K.S. Tkachenko.* Training for NAND combinational circuits testing and diagnosis algorithm. The proposed software system of training and proper supervision of students with the using of algorithmic method for learning of NAND combinational circuits testing and diagnosis algorithm.

**Введение.** В общем виде проблема обучения студентов построению проверочного и диагностического теста для комбинационных схем важна и связана с важными научными и практическими задачами, решаемыми в дисциплинах «Прикладная теория цифровых автоматов» и «Компьютерная логика». В последних исследованиях и публикациях [1,2,3,4], в которых начаты решения данной проблемы и на которые опирается автор, предлагаются методы обучения и методы диагностики схем. Нерешенной прежде частью общей проблемы, которой посвящена обозначенная статья, является приведение общего подхода.

**Целью** данной работы является приведение результатов разработки гибкой и эффективной обучающей системы для обучения студентов решению задачи диагноза комбинационных схем. В построении этой системы есть практическая необходимость, поскольку она может выступать в качестве одной из частей лабораторного комплекса по дисциплине «Прикладная теория цифровых автоматов», «Компьютерная логика», а также помочь студентам-заочникам при овладении рядом других дисциплин.

**Материал и результаты исследования.** Методология ОККАМ [1] — это обучение с корректным контролем на основе алгоритмического метода. В рамках данной работы рассматривается обучение студентов построению диагностического теста на основе модели расширения и исчезновения интервалов.

Создана программная реализация, в которой имеются сценарий общения ПЭВМ с пользователем, контроль и преобразование вводимых данных, комментарии и подсказки. В системе приводятся варианты исходных заданий, обеспечивающие возможность проверки усвоения обучающимися метода построения диагностического теста на основе модели расширения и исчезновения интервалов [1,2,3,4].

Неисправности комбинационных схем моделируются различными изменениями интервалов в булевом пространстве (расширением или сокращением интервалов) [1, 2]. Моделью однократной неисправности (изменение в одной компоненте вектора интервала) в булевом пространстве является исчезновение или расширение интервалов по одной переменной.

Под существенной неисправностью комбинационной схемы понимается неисправность, для которой существует тестовый набор, такой, что значение исправной выходной функции при этом наборе не совпадает со значением выходной функции неисправной комбинационной схемы, при этом не все неисправности являются существенными.

Для обнаружения или поиска неисправностей в схеме используются множества тестовых наборов — тесты — в виде входных воздействия на схему с известной ее реакцией в случае исправной работы. С учетом возможности неисправностей при проектировании, производстве и эксплуатации схем возникают две задачи построения тестов [1, 2]: проверяющий тест для проверки правильности работы схемы, диагностический тест для локализации места неисправности. Проверяющий тест должен показать наличие неисправностей в схеме, если при его применении хотя бы на одном входном наборе реакция схемы отличается от заданного в тесте выходного набора исправной схемы, либо констатировать, что схема исправна, если на всех наборах реакция схемы совпадает с зафиксированной в тесте. Диагностический тест дает возможность выделить неисправность, указать ее место.

В двухуровневой схеме на элементах И-НЕ при константных неисправностях  $=0$  и  $=1$  возможны расширения интервалов по внешним переменным или их исчезновения, причем возможны одновременные расширения и исчезновения различных интервалов [1]. Для проверки исчезновения интервала достаточно одного набора этого интервала, не покрытого другими интервалами. Для проверки расширения интервала по каждой его внешней переменной достаточно одного множества, расположенного к интервалу симметрично по этой переменной. Расширения и исчезновения других интервалов не влияют на проверяющую сущность набора — обнаруживается существование неисправности в схеме. Расширения интервалов не маскируются [1, 2].

Задача диагноза неисправностей состоит из двух уровней [2,3,4]. На первом уровне производится проверка работоспособности схемы на основе проверяющего теста. Если эксперимент с проверяющим тестом обнаруживает наличие неисправности в схеме, то осуществляется анализ ситуации:

выделение тестовых наборов, на которых работа схемы отличается от исправной, и вычисление возможных неисправностей. Если множество подозреваемых неисправностей, которые согласуются с результатами тестирования, содержит более одной неисправности, то строятся дополнительные тестовые наборы, позволяющие различить, какая неисправность действительно реализована в схеме. При реализации конкретной неисправности находятся тестовые наборы, которые могут различить подозреваемые неисправности (покрываются одними вариантами неисправностей и ортогональны другим). Множество тестовых наборов подбирается так, чтобы обеспечить, если это возможно, разбиение множества неисправностей на классы, содержащий каждый не более одной неисправности (однозначный диагноз). Число тестовых наборов можно не минимизировать, их не может быть слишком много для конкретного результата тестового эксперимента.

Проверка включает в себя следующие этапы [1]:

- а) Построение проверяющего теста, который обнаружит неисправность
- б) Поиск интервалов, подозреваемых на реализацию данной неисправности (отстоящих на расстояние «единица»)
- в) Анализ проверяющего теста и сокращение множества подозреваемых интервалов
- г) Если остались несколько интервалов, то поиск различающих наборов (построение диагностического теста)

Тривиальный проверяющий тест (для комбинационных схем, содержащий все  $2^n$  наборов) всегда полон [2]. Полный проверяющий тест с наименьшим числом наборов называется минимальным.

Построение наборов, проверяющих правильность реализации рассматриваемого интервала при однократной неисправности, основано на следующих утверждениях [1, 2]:

Утверждение 1. Для проверки расширения интервала  $k$ -го ранга в пространстве  $n$  переменных достаточно  $n-k$  элементов множества  $M_0$ , расположенных каждый симметрично интервалу по осям внешних переменных интервала.

Утверждение 2. Для проверки исчезновения интервала достаточно одного элемента подмножества его элементов, непокрываемых другими интервалами, минимально покрывающий интервал которых содержит все элементы исходного интервала, покрытые только им.

Вместо традиционных методов диагностики дискретных устройств, состоящих в вычислении трудоемкого диагностического теста, выделяющего все заданные неисправности, длина которого заведомо больше длины проверяющего теста, для комбинационных схем можно применить условные многошаговые диагностические процедуры [1, 2]. В начале проводится первичный эксперимент на основе проверяющего теста, путем анализа результатов этого эксперимента выделяются подозреваемые неисправности.

Затем достраиваются дополнительные тестовые наборы, проводится вторичный тестовый диагностический эксперимент для окончательного поиска неисправности

Используя эвристический алгоритм, синтезируются дополнительные тестовые наборы, с помощью которых во вторичном диагностическом эксперименте проводится окончательный поиск координаты неисправности с точностью до неразличимых неисправностей, которые объединяются в эквивалентные классы.

В разработанной программной системе на этапе обучения задаче тестирования студент отмечает наборы проверяющего теста на расширение и исчезновение интервалов (рис. 1). Система учитывает, чтобы множество наборов проверяющего теста было минимальным и все интервалы были покрыты. В случае если студент ошибается, то выводится соответствующая подсказка, в которой описан правильный ход решения задачи.

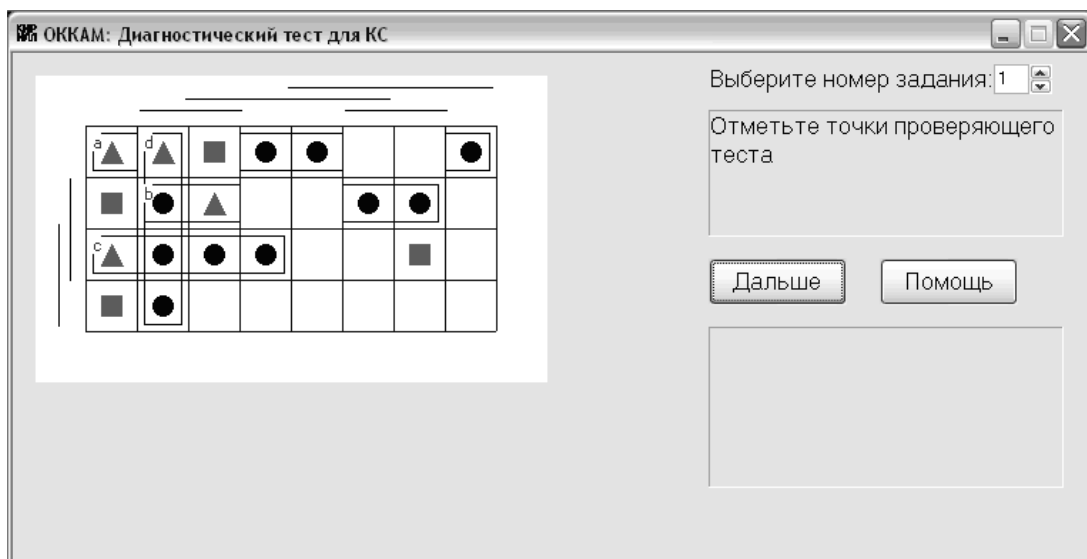


Рис. 1. Система в работе на этапе тестирования: ▲ – наборы, проверяющие исчезновение интервалов, ■ – наборы, проверяющие интервалы на расширение

В режиме обучения задаче диагноза системой (или преподавателем) выбирается неисправный набор, на котором выявлена константная неисправность  $=1$  или  $=0$ . От обучаемого требуется выявить интервалы, которые виновны в данной неисправности. Для этого обучаемый обязан отметить наборы, которые различают ошибку на различных интервалах. Эти наборы выбираются из множества наборов областей различения разных интервалов. В текстовой форме в дополнительном окне подсказки описывается расширение интервалов, а также области различения разных интервалов.

Следует отметить, что имеет место ситуация, когда невозможно точно диагностировать ошибку, то есть несколько интервалов являются неразличимыми и для них невозможно построить дополнительный различающий тестовый набор. В этом случае система указывает на это, и в помощи указывает на то, для каких интервалов можно указать дополнительный различающий тестовый набор, а какие интервалы являются неразличимыми (рис. 2, 3).

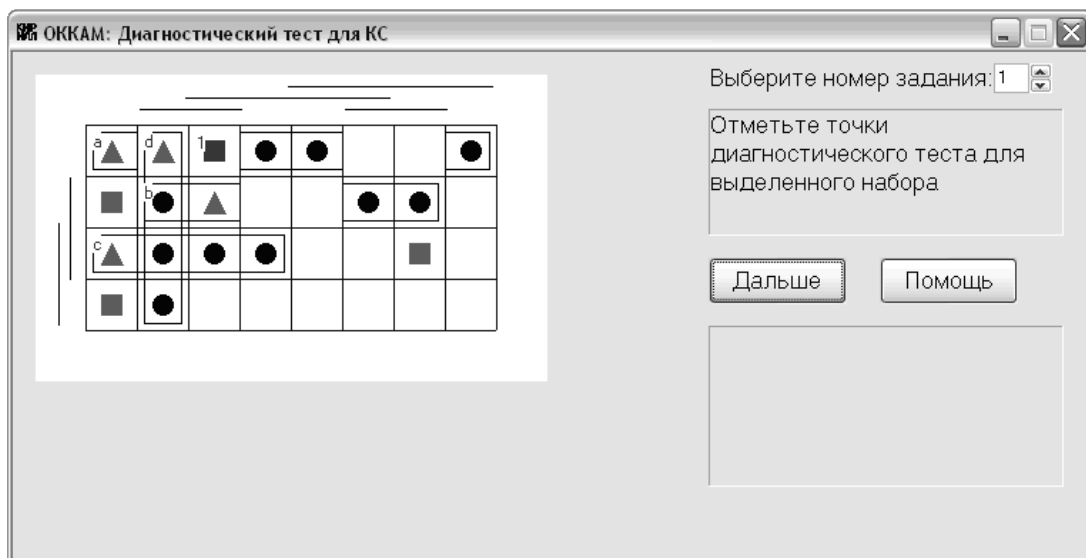


Рис. 2. Система в работе на этапе диагностики: <sup>1</sup>■ – выделенный набор

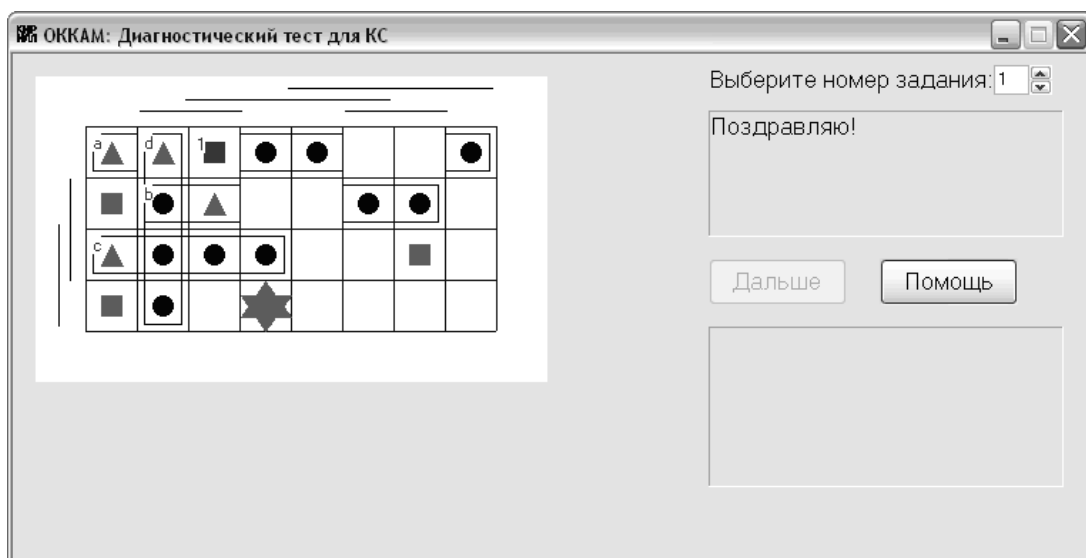


Рис. 3. Итог: ★ – набор, различающий неисправности интервалов

Поскольку методология ОККАМ в первую очередь предназначена для обучения, в данной подсистеме содержится исчерпывающая помощь. На любом этапе тестирования и обучения испытуемый может запросить сведения о том, что от него требуется (разъяснение формулировки данного этапа решения задачи), теорию по данному вопросу (теория берется из [1,2,3,4]).

Более того, в случае, если испытуемый ошибается, система подсказывает ему правильный путь решения. Для этого система выполняет решение данного этапа тестирования, затем сообщает испытуемому результат своего исследования. Испытуемый может использовать его, чтобы пройти данный этап, либо может попытаться на его основании построить и отметить на экранной форме свое множество наборов, который также будет проконтролирован системой. И если испытуемый опять ошибется, то процесс повторится.

Особое внимание следует уделить подбору примерам, с которым будет работать обучаемый студент. Дело в том, что в настоящее время программирование является одним из наиболее специфических видов человеческой деятельности, в которой тесно сочетаются эмоциональные реакции и интеллект. В силу этого у некоторых обучаемых в процессе образовательного цикла возникают разнообразные эмоциональные нарушения. Вызывается это высокой нагрузкой и неспособностью решать вследствие этого даже легкие задачи. Поэтому в подсистеме была произведена разбиение задач на уровни по сложности. Так, задачи начальных уровней способны решить большинство обучаемых студентов, которые только что прослушали лекционный материал, средних — после объяснения на практическом занятии, ну и, наконец, высших — после некоторой тренировки. Это вырабатывает у обучаемых спортивный интерес, благодаря которому снимается некоторые эмоциональные нагрузки. Это позволяет обучаемым глубже освоить изучаемый материал.

**Вывод.** В данной работе приводится описание разработанной программной системы. Перспективой дальнейших изысканий по данной тематике станет дальнейшее улучшение системы и ОККАМ.

### Література

- 1.Новоселов В.Г. Прикладная теория цифровых автоматов. Часть 2. Диагностика схем [Текст] / В.Г.Новоселов. — Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1998. — 78 с.
2. Бутаков Е.А. Диагностика программируемых логических матриц [Текст] / Е.А.Бутаков, М.Б.Волынский, В.Г.Новоселов. — М.: Радио и связь, 1991. — 160 с.
- 3.Ткаченко К.С. Обучающая система ОККАМ. Программа обучения построению диагностического теста на основе проверяющего эксперимента, исследование двухъярусного метода проведения диагностики [Текст] / К.С. Ткаченко. — Saarbrücken, Deutschland: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, 2012. — 97 с. — ISBN 978-3-659-22534-5.
- 4.Ткаченко К.С. Исследование свойств метода построения диагностического теста для комбинационных схем [Текст] / К.С.Ткаченко, В.Г.Новоселов // Изучаю компьютер — познаю Вселенную: Тез. докл. всеукраин. Студ. науч.-техн. конф., г. Севастополь, 21-25 марта 2008 г. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. — С.21—22.