

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сигов А.С. Главный редактор журнала, Президент Московского технологического университета, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: sigov@mirea.ru

Кудж С.А. Ректор Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: rector@mirea.ru

Большаков А.К. Директор Института инновационных технологий и государственного управления Московского технологического университета, к.э.н., доцент, e-mail: bolshakov@mirea.ru

Буслаева Т.М. Профессор, д.х.н., Московский технологический университет, e-mail: buslaeva@mirea.ru

Есипова О.В. Ответственный секретарь, к.х.н., доцент, Московский технологический университет, e-mail: esipova@mirea.ru

Жуков Д.О. Заведующий кафедрой интеллектуальных технологий и систем Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: zhukov_do@mirea.ru

Карнаков В.В. Директор Института комплексной безопасности и специального приборостроения Московского технологического университета, к.т.н., e-mail: karnakov_vv@mgupr.ru

Кимель А.В. К.ф.-м.н., Университет г. Наймеген (Нидерланды), e-mail: a.kimel@science.ru.nl

Кондратенко В.С. Заведующий кафедрой оптических и биотехнических систем и технологий Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: kondratenko_vs@mgupr.ru

Кузнецов В.В. И.о. директора Физико-технологического института Московского технологического университета, к.т.н., доцент, e-mail: kuznetsov@mirea.ru

Куликов Г.В. Директор Института радиотехнических и телекоммуникационных систем Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: kulikov@mirea.ru

Мыльникова А.Н. Директор Института управления и стратегического развития организаций Московского технологического университета, к.э.н., e-mail: mylnikova@mirea.ru

Перно Филипп. Проректор по научной работе Высшей инженерной школы, профессор, г. Лилль, Франция

Романов М.П. Директор Института кибернетики Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: m_romanov@mirea.ru

Савиных В.П. Президент МИИГАиК, член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, e-mail: president@miigaik.ru

Скотт Джеймс. Профессор, член Лондонского Королевского общества, Университет г. Кембридж, Великобритания, e-mail: jamescott@acm.org

Цветков В.Я. Советник ректората Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: cvj2@mail.ru

РЕДАКЦИЯ

Сигов А.С. Главный редактор журнала, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: sigov@mirea.ru

Буслаева Т.М. Профессор, д.х.н., e-mail: buslaeva@mirea.ru

Есипова О.В. Ответственный секретарь, к.х.н., доцент, e-mail: esipova@mirea.ru

Семерня Л.Г. Технический редактор, e-mail: semernya@mirea.ru

Середина Г.Д. Зав. редакцией, к.т.н., e-mail: seredina@mirea.ru

Цветков В.Я. Профессор, д.т.н., e-mail: cvj2@mail.ru

Адрес редакции:

Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86, оф. Л-119

Тел.: +7 (495) 246-05-55 (#2-88); e-mail: seredina@mirea.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ИНФОРМАТИКА. ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Басок Б.М., Захаров В.Н., Френкель С.Л.** 3
Итерационный подход к повышению качества тестирования программ

СОВРЕМЕННЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Битюков В.К., Петров В.А., Сотникова А.А.** 13
Работа DC-DC преобразователя MCP1253 с накачкой заряда в режиме понижения напряжения
- Битюков В.К., Лухт М.А., Михневич Н.Г., Петров В.А.** 22
Системная плата учебного лабораторного стенда с виртуальной передней панелью для исследований характеристик линейных стабилизаторов напряжения
- Костин М.С.** 32
Формонеустойчивая электродинамика распределения электрических полей субнаносекундных сигналов в неоднородных средах
- Костин М.С., Воруничев Д.С.** 47
Спецпроектные реинжиниринговые исследования радиоэлектронных изделий

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Веселов И.В., Гамлицкий Ю.А.** 56
Инженерный метод моделирования и оптимизации химико-технологических процессов

МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ И ОБЩЕСТВА

- Гладышева Е.В.** 66
Влияние нравственных ценностей на успешность экономической деятельности (на примере отечественных предпринимателей XIX–XX вв.)
- Хабарова Е.И., Никитина С.В., Будаева Л.Л.** 77
Формирование экологического мышления у выпускников вуза – будущих специалистов и руководителей
- Правила для авторов 2017** 85

УДК 1004.415.53(075)

ИТЕРАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММ

Б.М. Басок^{1,@}, к.т.н., доцент

В.Н. Захаров², д.т.н., ученый секретарь

С.Л. Френкель², к.т.н., с.н.с.

¹Московский технологический университет (МИРЭА), Москва 119454, Россия

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), Москва 119333, Россия

@Автор для переписки, e-mail: basok@mirea.ru

В статье рассмотрена задача повышения качества тестирования программных средств. Обобщение существующих методов синтеза тестов показало, что они не всегда гарантируют приемлемую полноту тестирования. Поэтому в настоящей работе предложен подход к разработке дополнительных тестов, который основан на анализе базы данных ошибок и возможностей программистов и тестеров. Он не требует знания программного кода и может использоваться при тестировании методом «черного ящика». Обсуждаются основные типы занесенных в базу данных ошибок, уровень их влияния на программный продукт, время, затраченное на их обнаружение и исправление. По результатам анализа ошибок выбираются функции программы, подлежащие дополнительному тестированию. Дополнительные тесты должны подтвердить или опровергнуть вывод о достаточной полноте тестирования функций программы традиционными методами. При выбранном подходе последовательность циклов системного тестирования программных средств рассматривается как итерационный процесс выявления возможных программных ошибок, в рамках которого построение новых сегментов тестов выполняется по результатам предыдущих циклов. Приведены некоторые практические результаты, полученные при использовании рассматриваемого подхода. Обсуждаются пути дальнейшего развития исследований в данном направлении.

Ключевые слова: база данных ошибок, дополнительные тесты, цикл системного тестирования.

ITERATIVE APPROACH TO INCREASING QUALITY OF PROGRAMS TESTING

B.M. Basok^{1,@},

V.N. Zakharov²,

S.L. Frenkel²

¹Moscow Technological University (MIREA), Moscow 119454, Russia

²Federal Research Center «Computer Science and Control» of the Russian Academy of Sciences, Moscow 119333, Russia

@Corresponding author e-mail: basok@mirea.ru

The article deals with the problem of improving the quality of applied software (AS) testing. This testing begins with the pre-alpha version and ends at the stage of acceptance testing of the AS. This period includes the process of multiple execution of designed and developed system tests of AS, and includes additional analysis of the program in other ways. We refer to the testing process for a given period of time as a testing cycle (TC), which is usually implemented using the "black box" method without the tester's access to the program code. An analysis of existing methods of tests synthesis showed that these methods not always guarantee an acceptable completeness of testing. Therefore, in this paper we propose an approach to the development of additional tests, based on the analysis of the database of errors (DB) and the capabilities of programmers and testers. These additional tests should confirm or disprove the conclusions about the sufficient completeness of the testing of AS functions during the TC. The work analyzes the types of errors recorded in the database, the level of their influence on the AS, the time spent on their detection and correction. Based on the results of the error analysis, the AS functions that are subject to additional testing are selected. In this approach, the sequence of TC is considered as an iterative process of identifying possible program errors, in which new segments of tests are constructed according to the results of previous cycles. The article gives some practical results obtained in accordance with the proposed methodology and outlines new directions in the study of the effectiveness of AS testing.

Keywords: the database of errors, additional tests, testing cycle.

Введение

В настоящей статье обсуждается задача повышения качества тестирования собранных версий программных продуктов (ПП). Данное тестирование начинается с пред-альфа версии и заканчивается на этапе приемосдаточных испытаний ПП [1, 2]. Указанный период включает процесс многократного выполнения спроектированных и разработанных системных тестов ПП, а также дополнительный анализ программы другими способами: например, при локализации найденных отказов, при выявлении причин найденных отказов в данной функции, при тестировании методом свободного поиска (*exploratory testing*), когда тестирование осуществляется без заранее разработанных тестов. Будем называть процесс тестирования за данный период времени циклом системного тестирования (ЦСТ). ЦСТ обычно реализуется методом «черного ящика» без доступа тестера к программному коду, а последовательность указанных циклов – как *итерационный* процесс тестирования возможных программных ошибок, в рамках которого построение новых сегментов тестов выполняется по результатам предыдущих циклов.

В настоящее время предложены многочисленные подходы к разработке тестов программ [3–11]. Однако для современных сложных ПП, в разработке которых принимают участие десятки разработчиков, данные подходы не гарантируют приемлемой полноты тестирования. Это обусловлено тем, что разработка носит итерационный характер, требования к ней сложны и порой противоречивы, вследствие чего часто не соблюдаются требования контролепригодности ПП. Отсюда – неоправданно существенные затраты на тестирование ПП.

В работе дано краткое описание методики повышения эффективности существующих подходов, основанной на использовании информации об ошибках, накопленных на различных этапах процесса тестирования. Задача повышения уровня ЦСТ рассмотрена

с помощью построения дополнительных тестов, исходя из анализа базы данных (БД) ошибок и возможностей программистов и тестеров. Дополнительные тесты должны подтвердить или опровергнуть выводы о достаточной полноте тестирования функций ПП в течение ЦСТ. Кроме того, проанализированы основные типы возможных ошибок с точки зрения организации процесса тестирования и намечены пути новых направлений исследования проблемы эффективного тестирования программных продуктов.

1. Виды и классы программных ошибок

В процессе тестирования обнаруживаются ошибки разных классов. К ним относятся [1, 2]:

- ошибки при сборке версий;
- ошибки загрузки, инсталляции/деинсталляции, ошибки обновления версий программы;
- ошибки при установке программы в начальное состояние;
- ошибки в работе пользовательского интерфейса;
- функциональные ошибки;
- ошибки реакции на неверные данные, в частности, на неверные команды пользователя;
- ошибки взаимодействия с операционной средой;
- ошибки, связанные с ситуацией «гонок»;
- ошибки реакции на перегрузки;
- ошибки масштабирования;
- ошибки в системе безопасности;
- ошибки локализации.

По степени влияния на функционирование программы ошибки можно разделить на пять категорий:

- блокирующие («*Blocker*») – блокируют дальнейшее выполнение тестирования;
- критические («*Critical*») – аварийные остановки, потеря данных, серьезная «утечка» памяти;
- серьезные («*Major*») – значительные потери функциональности;
- незначительные («*Minor*») – небольшая потеря функциональности;
- тривиальные («*Trivial*») – незначительные проблемы, например, орфографические или стилистические ошибки.

Самой многочисленной группой ошибок являются ошибки категории *Minor*. К ошибкам этой категории можно отнести: ошибки инициализации программы, ошибки пользовательского интерфейса, ошибки при проверке границ данных при вводе, сброс значений заполненных полей при неправильной попытке регистрации, ошибки, связанные с неправильно выбранным направлением сортировок по некоему полю таблицы, и т.д.

Ошибок типа *Major* в программе меньше, чем ошибок типа *Minor*, однако их присутствие в программе оказывает важнейшее влияние на качество программы. Ошибок типа *Blocker* и *Critical* в программе очень немного, и они, как правило, выявляются на ранних стадиях тестирования. Ошибки типа *Trivial* легко находятся, исправляются, и к завершению ЦСТ они обычно отсутствуют.

2. Современные подходы к тестированию программ

Общий принцип разработки тестов основан на требовании, чтобы после нахождения и исправления найденных в течение ЦСТ ошибок убедиться, что количество оставшихся в ПП дефектов не существенно. Это необходимо сделать, поскольку стоимость локализации и исправления ошибки, найденной на этапе эксплуатации ПП, существенно выше, чем на этапе ее разработки. Так, по результатам независимого исследования ряда компаний [2, 3], соотношение указанной стоимости на соответствующих этапах составляет примерно 20:1. Кроме того, ошибки, найденные при эксплуатации программы, говорят о ее ненадежности и компрометируют коллектив разработчиков и компанию в целом. Поэтому важно обеспечить высокий уровень полноты ЦСТ и – в случае необходимости – определить группу подлежащих дополнительному тестированию функций. Здесь и далее под функциями понимаются все свойства программы, указанные в спецификации, удовлетворяющие стандартам и отвечающие ожиданиям пользователя. К ним можно отнести реализацию алгоритмов, стабильную работу (например, отсутствие утечки памяти и «гонок»), масштабирование, производительность и др.

Большинство из современных подходов основаны на использовании тех или иных структурно-функциональных связей в тестируемых программах. Например, в подходах, основанных на так называемых «контрактных спецификациях» [4, 5], программа представляется конечным автоматом, который строится по спецификации программы в виде описания предусловий и результатов операции каждой функции программы («контрактные спецификации»). При этом предусловия описывают область определения операции и косвенно отражают условия перехода в программе к рассматриваемой функции. Постусловие описывает ограничения на правильные результаты операции. Критерий качества тестирования – покрытие спецификаций. По данным авторов [4, 5], тесты, построенные таким образом, обнаружат в программе 70–75% возможных отказов. Это достаточно высокий уровень тестирования.

Известны и другие подходы, использующие автоматное представление программ [6]. Однако следует заметить, что сложные программные комплексы могут содержать тысячи и даже десятки тысяч ошибок. Поэтому абсолютная величина не выявленных таким методом ошибок будет весьма значительной. Кроме того, помимо очевидно высокой стоимости разработки подобных спецификаций (прежде всего, за счет высоких требований к квалификации тестеров, а также необходимости разработки дополнительных программных инструментов разработчика в случае построения спецификаций для достаточно сложных систем), существенной является проблема корректности спецификации, которая интенсивно изучается в последнее время [7]. Важно подчеркнуть, что во многих фирмах анализ спецификаций при построении тестов идет не формализовано, а интуитивно, и полнота покрытия возможных переходов программы из одних ее возможных состояний в другие также определяется интуитивными представлениями разработчика о возможных отказах и их последствиях.

Другим важным направлением разработки тестов ПП является синтез тестов относительно определенного класса отказов с дальнейшим анализом полноты этих тестов в выбранном классе отказов [8, 9] путем последовательного их внесения в исходный код ПП. Значимым примером такого подхода является мутационный подход и его модификации [10,

11]. Однако ввиду отсутствия доступа к коду на этапе ЦСТ мы не можем вносить искусственные дефекты в программу, чтобы тем самым, по крайней мере, оценить полноту тестов (полнота ЦСТ всегда будет ниже, ибо могут быть найдены ошибки, не обнаруженные при выполнении тестов). Таким образом, у нас отсутствует возможность построения дополнительных тестов, выявляющих непроверенные дефекты программы из заданного класса. По той же причине (отсутствие доступа к коду) мы не можем разрабатывать дополнительные тесты, ориентированные на покрытие незадействованных участков кода.

При тестировании программ на этапе ЦСТ разработчик тестов ориентируется только на покрытие функций (метод «черного ящика»). Однако даже при полном покрытии функций имеющимися тестами нет гарантии высокой полноты тестирования ввиду невозможности перебора большого количества данных, обрабатываемых этими функциями.

Известны подходы, основывающиеся на использовании аналитических динамических моделей надежности программ [12], которые позволяют на основании результатов выполнения тестов оценить и вероятность безотказной работы ПП за выбранный интервал времени, и примерную величину исходного количества отказов в программе, а, следовательно, приблизительное количество возможно оставшихся ошибок в программе. На основании полученных данных можно сделать выводы о необходимости разработки дополнительных тестов. Однако при этом не указываются места возникновения невыявленных отказов, то есть отсутствует информация для локализации выявленных ошибок и для построения дополнительных тестов.

Таким образом, краткий обзор методов разработки и использования тестов показал, что необходимо на этапе ЦСТ, исходя из высокой стоимости отказов, обнаруженных при эксплуатации ПП, и с целью обеспечения высокого уровня качества программ, разрабатывать подходы, позволяющие повысить уровень контроля ПП с помощью создания дополнительных программных тестов. Часто в этом случае полагаются на бета-тестирование, полагая, что пользователи найдут некоторые не выявленные в условиях обычного тестирования ошибки путем использования программы в рабочих режимах с различными данными [1, 2]. При этом покрывается большой объем кода. Действительно, такой прием достаточно эффективен, однако он также несовершенен. Не стоит забывать, что при бета-тестировании пользователь не имеет спецификаций и документации, часто отсутствует или несовершенна система помощи (*Help*). Потому бета-тестер, в основном, запускает рабочие примеры, с помощью которых осуществляется «позитивное» тестирование, в то время как задачей тестера является тестирование, связанное с созданием ситуаций, приводящих к неправильным результатам работы программы («негативное» тестирование). Этого можно достичь только с помощью специально подобранных данных, которые помогут выявить отказы, относящиеся к классам трудно проверяемых.

3. Организация процесса тестирования

Мы рассматриваем ЦСТ в условиях отсутствия формальной модели ошибок. Поэтому в качестве информации для построения тестов используются множества ранее обнаруженных ошибок, накопленных в БД, в которую включаются как исправленные, так и отложенные на будущее. Данная БД является обязательным элементом современных систем тестирования ПП любой степени сложности.

В самом общем виде предлагается следующая организация разработки тестов:

- разработчики программы выдают в группу тестирования спецификацию на тестирование, которая описывает основные функции программы, интерфейс пользователя, протоколы взаимодействия с интерфейсом и признаки их корректного выполнения, которые должны проверить тестировщики;
- тестеры разрабатывают тесты, выполняют необходимые прогоны тестируемых программ на полученных тестах, записывают обнаруженные ошибки в БД (при использовании соответствующих тестовых инструментов, в частности, это может выполняться автоматически), в которой для каждой ошибки указаны ее категория, статус (открыта, отклонена, исправлена, проверена и закрыта), ее краткое и подробное описание, функция, в которой обнаружена ошибка, имя теста, обнаружившего ошибку;
- после того, как по результатам тестирования ликвидировано подавляющее большинство найденных дефектов ПП, тестеры совместно с разработчиками принимают решение о необходимости разработки дополнительных тестов.

Ниже дается подробное описание действий разработчика тестов, реализующих итерационный процесс анализа результатов тестирования функций ПП, в котором итерации выполняются по последовательным этапам обнаружения ошибок в разработанных программах.

Имеются следующие итерации:

1. По завершении ЦСТ выделяются для дополнительного тестирования те функции, в которых выявлено наибольшее количество отказов. Поскольку у нас нет сведений о квалификации программистов и тестеров, а также о сложности отдельных функций, то можно предполагать наихудший вариант: либо функции с наибольшим количеством ошибок отличаются сложностью, либо квалификация реализующих их программистов оставляет желать лучшего. И то, и другое требует дополнительных проверок.
2. По завершении ЦСТ для дополнительного тестирования следует выделить те функции, в которых выявлено наименьшее количество отказов. Последнее свидетельствует или о высокой квалификации программистов, или о невысокой сложности проверяемых функций, или о низкой полноте тестов и невысокой квалификации тестеров. Если выбрать наихудший случай и предположить, что главная причина малого количества обнаруженных отказов в функции связана с тестами малой полноты, то данные функции нуждаются в дополнительном тестировании.
3. Если количество ошибок, обнаруженных тестами данной функции, существенно меньше количества ошибок, обнаруженных в результате ЦСТ тестами других функций, то тесты указанной функции невысокой полноты и нуждаются в доработке.
4. Нередко бывают случаи, когда тесты данной функции в течение ЦСТ неоднократно повторяются, причем количество повторных запусков существенно больше, чем у тестов других функций, по причинам поиска сложных, трудно проверяемых ошибок, обнаружения большого количества ошибок в функции. Очевидно, для подтверждения качества выполненного тестирования в таком случае желательны и дополнительные тесты указанной функции.

Следует заметить, что причиной многократного выполнения тестов также могут быть периодически появляющиеся и исчезающие «плавающие» ошибки. Обычно такие

ошибки связаны с асинхронным, параллельным выполнением функций с большим числом состояний (например, «гоночные» ошибки). В последнем случае помогают дополнительные проверки с использованием формальных методов, в частности, верификации моделей.

5. Если при тестировании функции среди обнаруженных ошибок много ошибок высокого уровня (*Major*) и выше, то это, по всей видимости, говорит о сложности задачи (алгоритма) и трудностях программирования. Нередко они обусловлены тем, что на ранних этапах разработки было выполнено некачественное тестирование и использовались (или не использовались вовсе) модульные тесты (*unit tests*) низкого качества. Не исключена некорректность или неполнота спецификации. Поэтому подобные функции подлежат дополнительному тестированию.

6. При анализе БД ошибок было обнаружено, что при регрессионном тестировании функции зафиксировано много неоднократно открываемых для исправления ошибок (статус *Reopen*). Если предположить, что программу проверяют тестеры примерно одной квалификации, то там, где ошибки чаще открывались повторно, программисты некачественно исправляли ошибки (и потому нет гарантий, что они качественно написали программу), либо возникли существенные трудности при нахождении данной ошибки. Значит, функция оказалась достаточно сложной. Исходя из сказанного, можно сделать вывод о желательности дополнительной проверки подобных функций.

7. Если в БД присутствует много отклоненных ошибок в какой-то функции, т.е. дефектов, найденных тестером ошибочно, то не исключено, что тестер недостаточно разобрался в работе функции. Поэтому такие функции также подлежат проверке.

Таким образом, целесообразно предложить следующий алгоритм разработки дополнительных тестов:

I. Определить по завершении выполнения всех тестов и исправления ошибок примерное количество оставшихся ошибок в программе с использованием аналитических динамических моделей надежности [12];

II. Если количество невыявленных отказов значительно, следует перейти к разработке дополнительных тестов в соответствии с описанной выше методикой, а затем перейти к повторному выполнению п. I;

III. Если количество невыявленных отказов приемлемо, то процесс дополнительного тестирования можно заканчивать.

Следует отметить, что решение о необходимости новой итерации ЦСТ можно принимать не только исходя из оценки оставшихся непроверенными отказов. Выводы о необходимости дальнейшего тестирования можно делать и на основании сравнительного анализа обнаруженных дополнительными тестами дефектов на данной и предыдущей итерациях, их распределения по типам и категориям ошибок.

4. Некоторые результаты

В качестве конкретного примера применения описанной в статье методики можно привести данные тестирования информационной программной системы, реализованной с использованием Интернет-технологий «*My Life*» («Моя жизнь»), предназначенной для описания биографии пользователя с фото-, аудио- и видео-вставками (оригинальная раз-

работка фирмы, в которой один из авторов статьи работал руководителем группы тестирования). Для проверки функционирования данного приложения было разработано порядка 40 тестов, содержащих от 20 до 50 входных наборов и ожидаемых реакций программы на них. Для автоматизации тестирования указанного приложения была создана библиотека тестовых скриптов, содержащая более 6000 строк. В качестве стенда тестирования использовалась система виртуальных машин VMWare GSX Server.

При системном автоматизированном тестировании вышеуказанного приложения методом «черного ящика» с использованием инструментальных средств фирм IBM Rational и Microsoft Corporation было обнаружено около 1500 ошибок, из которых примерно 75% составляли ошибки типа «*Minor*», 10% – «*Major*», 15% – «*Trivial*» и порядка десятка ошибок типа «*Blocker*» и «*Critical*». Все обнаруженные при тестировании отказы заносились в БД ошибок Jira компании Atlassian.

После ликвидации практически всех обнаруженных ошибок по описанной выше методике была разработана группа из 8 тестов. В результате удалось обнаружить еще порядка 10 дефектов, из которых один относился к «*Major*», остальные – типа «*Minor*». При этом среди найденных ошибок «*Minor*» хотелось бы выделить ошибку, связанную с отсутствием перед записью на внешний носитель наличия у него необходимой для этого свободной памяти, а также ошибку, связанную с возможностью влияния пользователя на содержимое одной из страниц сайта в режиме *View* (Просмотр).

Полученные дефекты были занесены в БД ошибок и ликвидированы разработчиками приложения. После этого по данной методике с учетом новой информации в БД разработано еще несколько дополнительных тестов, с помощью которых удалось найти еще два отказа типа «*Minor*». На этом по согласованию с разработчиками приложения ЦСТ силами тестеров фирмы был закончен. Затем руководство фирмы передало приложение независимому тестовому агентству, которое, используя собственные дополнительные тесты, нашло еще две ошибки: «*Minor*» и «*Trivial*». После этого приложение поступило в опытную эксплуатацию.

В общей сложности, данный подход применялся при тестировании десяти программных комплексов, содержащих web-приложения. Количество найденных ошибок в программе до его применения составляло от 1000 до 10000. Тесты, разработанные в соответствии с рассмотренной методикой, позволили обнаружить в каждом комплексе дополнительно ряд дефектов различных типов и категорий и тем самым повысить эффективность тестирования и, соответственно, качество программ.

Заключение

В статье рассмотрена методика выбора дополнительных тестов, обеспечивающих высокий уровень качества тестирования ПП. Эта методика не требует знания программного кода и, в первую очередь, может использоваться при тестировании методом «черного ящика». Данный подход основан на анализе БД ошибок, содержащих сведения о самых разнообразных отказах ПП. Дальнейшее развитие работ в этом направлении может быть связано с построением статистической модели, использующей содержимое БД ошибок для автоматического выбора функций программы, подлежащих дополнительно тестированию. С целью решения проблемы снижения стоимости тестирования будут приняты во внимание возможности применения методов Машинного Обучения (*Machine*

Learning), в рамках которого результаты тестирования на предыдущих ЦСТ рассматриваются как «обучающая» (*training*) выборка для выбора стратегии построения теста на следующей. Представляется перспективным также изучение возможности использования так называемых статистических баз данных, в которых поиск и извлечение информации выполняется по некоторому подмножеству данных, гарантирующему требуемую вероятность нахождения данных искомым.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты 16-07-01028 и 15-07-053160).

Литература:

1. Басок Б.М., Красовский В.Е. Тестирование программного обеспечения. М.: МИРЭА, 2010. 120 с.
2. Куликов С.А. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс. [Электронный ресурс]. – URL: http://svyatoslav.biz/software_testing_book/ (дата обращения: 26.06.2017).
3. Технология разработки программного обеспечения // Журнал информационных технологий. IT-технологии. С. 16. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.irinfo.ru/tekhnologiya-razrabotki-programmnogo-obespecheniya-str16.html> / (дата обращения: 28.06.2017).
4. Кулямин В.В., Петренко А.К., Косачев А.С., Бурдонов И.Б. Подход UniTesK к разработке тестов // Программирование. 2003. № 6. С. 25–43.
5. Петренко А.К., Кулямин В.В., Хорошилов А.В. Об интеграции формальных методов в задачах верификации операционных систем // Труды ИСП РАН. 2015. Т. 27. Вып. 5. С. 175–190.
6. Шалыто А.А., Туккель Н.И. Switch-технология – автоматный подход к созданию программного обеспечения «реактивных» систем // Программирование. 2001. № 5. С. 46–62.
7. Landsberg D., Chockler H., Kroening D., Lewis M. Evaluation of measures for statistical fault localisation and an optimising scheme // Fundamental Approaches to Software Engineering : 18th Int. Conf., FASE 2015. 2015/3/31. P. 115–129. [Электронный ресурс]. URL: Evaluation of Measures for Statistical Fault Localisation and an Optimising Scheme <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/fase/fase2015> (дата обращения: 28.06.2017).
8. Басок Б.М., Гречин А.А. Об усовершенствовании статистического метода оценки полноты тестов программ и устройств // Инструменты и методы анализа программ: Труды Междунар. науч.-практ. конф. Кострома, 2013. С. 40–45.
9. Wei J., Thomas A., Li G., Pattabiraman K. Quantifying the accuracy of high-level fault injection techniques for hardware faults / In: 44th IEEE/IFIP Int. Conf. on Dep. Sys. & Netw. (DSN '14). IEEE, June 13, 2014. P. 375–382.
10. Harman M., Jia Y., Langdon W.B. A Manifesto for higher order mutation testing // Third Int. Conf. on Software Testing, Verification, and Validation Workshops (ICSTW), 2010. April 6–10, 2010. P. 80–89.

11. Басок Б.М., Гречин А.А. О едином подходе при анализе тестов дискретных устройств и программ // Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. 2010. Вып. 3. С. 140–145.
12. Азовцев В.В. Исследование методов оценки и повышения надежности программного обеспечения. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.azovikdip.ru> / (дата обращения: 16.06.2017).

УДК 621.311.6

РАБОТА DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ MCP1253 С НАКАЧКОЙ ЗАРЯДА В РЕЖИМЕ ПОНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

В.К. Битюков, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой

В.А. Петров[@], д.т.н., профессор

А.А. Сотникова, студентка

*Кафедра теоретической радиотехники и радиофизики,
Московский технологический университет (МИРЭА), Москва 119454, Россия
[@]Автор для переписки, e-mail: vapetrov@mirea.ru*

Представлены результаты исследования характеристик DC-DC преобразователя MCP1253 с накачкой заряда в режиме понижения напряжения. Полученные временные зависимости пульсаций выходного напряжения и напряжения на «летающем» конденсаторе характеризуют работу преобразователя при различных значениях входного и выходного напряжений в широком диапазоне изменения тока нагрузки, в том числе при предельно низких токах - до 2 мА и высоких - до 95 мА. На основе изученных временных зависимостей сделаны выводы о различных алгоритмах работы системы стабилизации выходного напряжения в микросхеме MCP1253.

Ключевые слова: микросхема, DC-DC преобразователь, накачка заряда, «летающий» конденсатор, удвоитель напряжения, алгоритм работы.

OPERATION OF DC-DC CHARGE PUMP CONVERTER MCP1253 IN BUCK MODE

V.K. Bitjukov,

V.A. Petrov[@],

A.A. Sotnikova

*Moscow Technological University (MIREA), Moscow 119454, Russia
[@]Corresponding author e-mail: vapetrov@mirea.ru*

The algorithm of operation of MCP1253 charge pump converter in buck mode is studied for the first time by detailed measurements of ripples of output voltage and flying capacitor voltage. Some experimental results for MCP1253 operation in regulation buck mode at combinations of input voltage 5.1 V and output voltage 3.5 V, input voltage 5.1 V and output voltage 4.8 V and

input voltage 2.2 V and output voltage 1.7 V for the range of load current from 2 to 100 mA are presented as examples. Realized investigations revealed that algorithm of MCP1253 operation in buck mode, described by its manufacturer, is not defined the all different cases of its use. The algorithm depends on the ratio between input and output voltages, their values and load currents.

Keywords: integrated circuit, DC-DC converter, charge pump, buck mode, flying capacitor, voltage doubler, algorithm of operation.

Введение

В настоящее время широкое применение находят мобильные стабилизированные источники вторичного электропитания, построенные на базе регулируемых DC-DC преобразователей с накачкой заряда. Большинство производителей электронных компонентов предлагает множество микросхем, предназначенных для построения либо повышающих, либо понижающих, либо полярно-инвертирующих преобразователей. И лишь небольшое число микросхем предназначено для получения регулируемого стабилизированного напряжения на выходе как в режиме понижения, так и в режиме повышения входного напряжения. К таким преобразователям напряжения относятся микросхема MAX1759 производства компании Maxim Integrated [1] и микросхема MCP1253 производства компании Microchip Technology [2].

В технических характеристиках MCP1253 указан диапазон входного напряжения от 2 до 5.5 В [2], при этом преобразователь дает возможность регулирования выходного напряжения от 1.5 до 5.5 В. Это актуально в связи с переходом электроники к низкому напряжению 1.5 В. Однако приводимые в описании этой микросхемы основные технические характеристики, общие с описанием ее модификации MCP1252, являются далеко не полными и не охватывают все режимы ее применения. В частности, зависимость выходного напряжения от входного дана только для номинального значения выходного напряжения, равного 3 В, причем эта зависимость дана лишь для микросхемы MCP1252, имеющей тактовую частоту переключения 650 кГц, а для микросхемы MCP1253 того же семейства, имеющей частоту переключения 1 МГц, данных не приводится вообще. Отсутствуют данные по зависимости выходного напряжения от тока нагрузки при различных режимах. Аналогичная ситуация имеет место и с другими характеристиками.

Отдельно необходимо коснуться описания алгоритма работы микросхемы. Из имеющихся в [2, 3] описаний нельзя получить достаточно полные данные об алгоритмах работы микросхемы в разных режимах. В [2] представлен один из возможных алгоритмов работы, при этом не указано, к какому режиму он относится, а использованные в объяснении алгоритма ключи S1 и S2 не показаны на функциональной блок-схеме. В [3] описан алгоритм работы микросхемы при понижении напряжения немного подробнее. Из этого описания становится ясным, что именно этот алгоритм представлен и в [2]. В [3] дана схема работы системы накачки заряда, показанная на рис.1.

Согласно приведенной в [2] функциональной схеме и имеющемуся в [3] описанию в режиме понижения напряжения, ключ SW1 всегда замкнут, а ключ SW2 всегда разомкнут. Работа микросхемы, выступающей в качестве преобразователя и стабилизатора, состоит из трех фаз. Первая фаза – фаза заряда «летающего» конденсатора, в которой

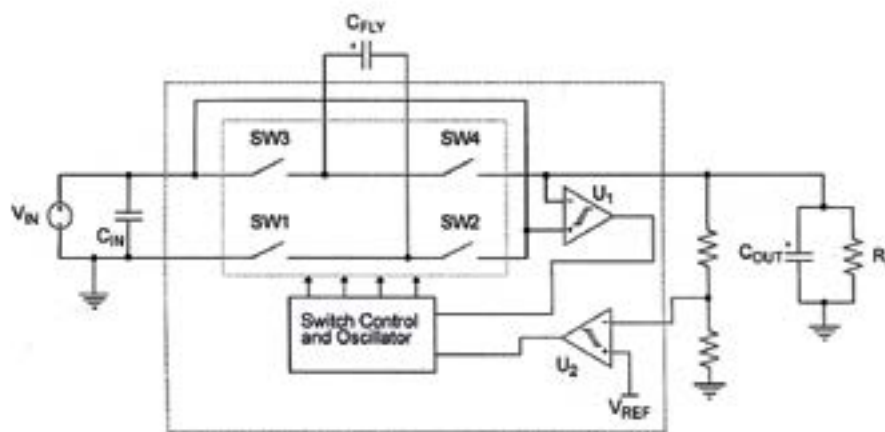


Рис. 1. Система накачки заряда, представленная в [3].

замкнут ключ SW3, длится половину периода цикла внутреннего осциллятора. В течение этой фазы «летающий» конденсатор подключен ко входу, благодаря чему он и заряжается. После окончания первой фазы открываются все ключи, начинается вторая фаза – фаза покоя. Происходит сравнение напряжения обратной связи с опорным. Если напряжение обратной связи будет меньше опорного, преобразователь перейдет в третью фазу – фазу разряда «летающего» конденсатора на выходной конденсатор и нагрузку, которая реализуется путем замыкания ключа SW4 и по продолжительности может быть разной, вплоть до половины периода осциллятора. В этой фазе вновь происходит сравнение напряжения обратной связи с опорным. Если до истечения времени, соответствующего половине периода осциллятора, напряжение обратной связи станет больше опорного, система регулирования возвратится во вторую фазу. Сравнение напряжений осуществляется с помощью гистерезисного компаратора, который имеет два порога срабатывания. Когда выходное напряжение достигает нижнего порога, начинается его повышение за счет разряда «летающего» конденсатора, а когда оно доходит до уровня верхнего порога, наступает фаза покоя, и напряжение падает.

Однако из приведенной выше имеющейся информации нельзя заключить, как будет работать система накачки заряда в режиме понижения напряжения при больших токах нагрузки, при близких значениях входного и выходного напряжения и при входных напряжениях, много больших выходных. Это и было основной целью настоящей работы. Важно отметить, что для ее реализации требовалось получение большого количества экспериментальной информации. Необходимо было создать аппаратуру, позволяющую получать входные напряжения в нужном диапазоне, изменять выходные напряжения в заданных пределах, а также изменять сопротивление нагрузки для получения токов нагрузки до 100 мА в различных режимах. Такие исследования можно было провести только на автоматизированном стенде с использованием современной измерительной техники.

На кафедре теоретической радиотехники и радиофизики Московского технологического университета (МИРЭА) ранее был разработан метод подобных исследований и создана аппаратура для его реализации. Приборно-методическое описание решения задачи исследования описано в [4, 5]. На созданном экспериментальном стенде уже проводилось исследование микросхемы MAX1759, тоже являющейся системой накачки заряда. В

результате удалось получить данные о различных режимах ее работы. В [4, 5] отражены результаты исследований работы MAX1759 в режиме понижения напряжения. Эта микросхема работает по алгоритму, отличному от представленного в [2, 3].

Результаты экспериментов

На рисунках 2 – 4 представлены некоторые результаты измерения пульсаций выходного напряжения для работы в режиме, когда при входном напряжении $U_{\text{вх}} = 5.1 \text{ В}$ и выходном – $U_{\text{вых}} = 3.5 \text{ В}$ изменялись токи нагрузки от 11 до 91 мА.

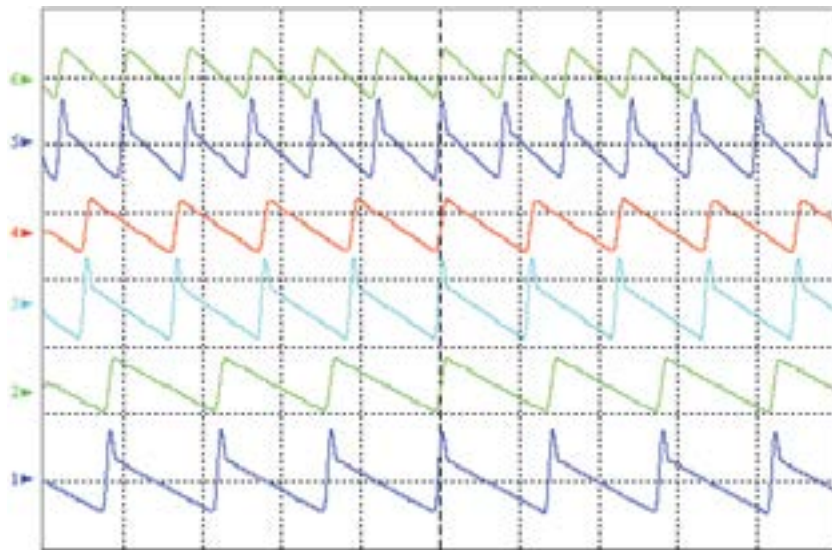


Рис. 2. Переменные составляющие (20 мкс/дел.) выходного напряжения $U_{\text{вых}} \sim 3.5 \text{ В}$ (2, 4, 6 – 50 мВ/дел.) и напряжения на «летающем» конденсаторе (1, 3, 5 – 50 мВ/дел.) при $U_{\text{вх}} \sim 5.1 \text{ В}$ и различных значениях тока нагрузки: 1, 2 – 11 мА; 3, 4 – 14 мА; 5, 6 – 19 мА.

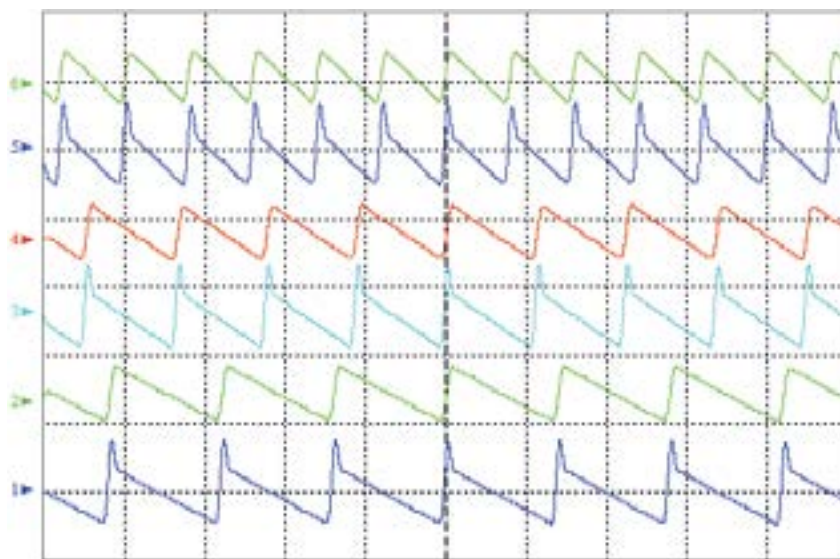


Рис. 3. Переменные составляющие (5 мкс/дел.) выходного напряжения $U_{\text{вых}} \sim 3.5 \text{ В}$ (2, 4 – 20 мВ/дел.) и напряжения на «летающем» конденсаторе (1, 3 – 50 мВ/дел.) при $U_{\text{вх}} \sim 5.1 \text{ В}$ и различных значениях тока нагрузки: 1, 2 – 33 мА; 3, 4 – 31 мА.

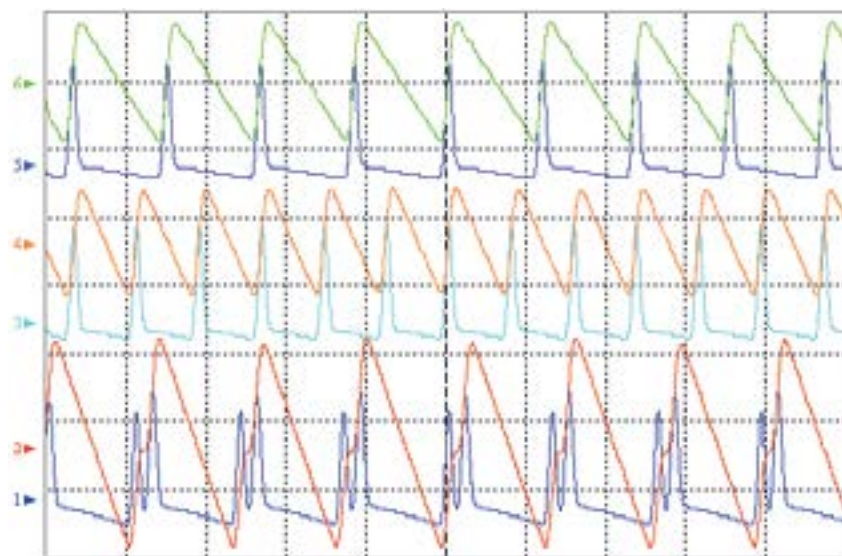


Рис. 4. Переменные составляющие (5 мкс/дел.) выходного напряжения $U_{\text{вых}} \sim 3.5$ В (2, 4, 6 – 20 мВ/дел.) и напряжения на «летающем» конденсаторе (1, 3, 5 – 200 мВ/дел.) при $U_{\text{вх}} \sim 5.1$ В и различных значениях тока нагрузки: 1, 2 – 91 мА; 3, 4 – 73 мА; 5, 6 – 50 мА.

Из приведенных на этих рисунках результатов видно, как увеличивается частота пульсаций выходного напряжения с увеличением тока нагрузки. Например, при токе нагрузки 11 мА эта частота составляет около 35 кГц, а при токе нагрузки 73 мА – примерно 230 кГц. Видно также, что в каждом цикле момент начала увеличения выходного напряжения совпадает с моментом увеличения напряжения на «летающем» конденсаторе, то есть с моментом начала его заряда. Это возможно в случае, когда в момент заряда «летающего» конденсатора ключ SW4 (рис. 1) замкнут, и величина выходного напряжения увеличивается за счет напряжения на входе. О таком алгоритме работы микросхемы в [2, 3] не сообщается.

Продолжительность заряда «летающего» конденсатора составляет около 500 нс, то есть половину периода тактовой частоты осциллятора. Время разряда «летающего» конденсатора можно оценить по участку крутого уменьшения напряжения на нем. Средняя величина времени разряда также примерно равна 500 нс. Таким образом, длительность всего цикла заряд–разряд составляет около 1 мкс, что близко к периоду тактовой частоты осциллятора микросхемы. После участка крутого уменьшения напряжения на «летающем» конденсаторе имеется участок более медленного спада. Его продолжительность уменьшается по мере увеличения тока нагрузки. Амплитуда (размах) пульсаций выходного напряжения составляет от 30 до 40 мВ, за исключением представленного на рис. 4 режима для максимального тока нагрузки, близкого к 100 мА. В этом режиме одного цикла заряд–разряд оказалось недостаточно. На напряжении «летающего» конденсатора видны два цикла, а на выходном – имеются соответствующие немонотонности на передних фронтах пульсаций, амплитуда которых составляет около 60 мВ.

Эксперименты показывают, что чем меньше разность между входным и выходным напряжениями, тем при меньших токах начинается появление двух циклов заряд–разряд. На рис. 5 представлены иллюстрирующие это утверждение формы переменных составляющих выходного напряжения и соответствующие им формы напряжения на «летающем»

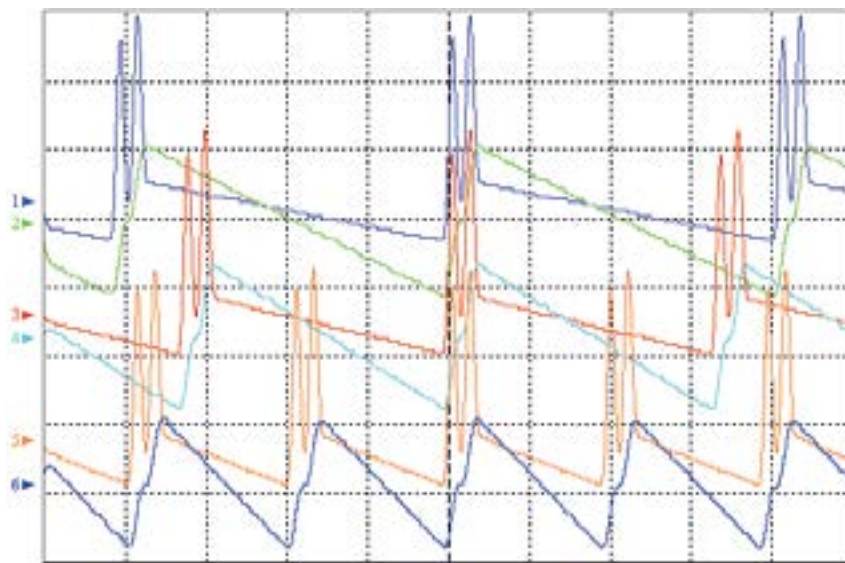


Рис. 5. Переменные составляющие (5 мкс/дел.) выходного напряжения $U_{\text{вых}} \sim 4.8$ В (2, 4, 6 – 20 мВ/дел.) и напряжения на «летающем» конденсаторе (1, 3, 5 – 50 мВ/дел.) при $U_{\text{вх}} \sim 5.1$ В и различных значениях тока нагрузки: 1, 2 – 15 мА; 3, 4 – 18 мА; 5, 6 – 31 мА.

конденсаторе, полученные при том же входном напряжении ~ 5.1 В, но для напряжения на выходе ~ 4.8 В. Передние фронты пульсаций выходного напряжения неровные – на них имеются всплески. Это происходит потому, что одного цикла заряд–разряд не хватает, чтобы поднять напряжение до верхнего уровня. В данном случае требуется два цикла заряд–разряд конденсатора, причем время заряда примерно совпадает со временем разряда и их суммарная длительность составляет около 1 мкс, что соответствует тактовой частоте осциллятора 1 МГц.

На рис. 6 показаны аналогичные формы напряжения для больших токов. Видно, как увеличивается количество циклов заряд–разряд «летающего» конденсатора при увеличении выходного тока. Для тока 45 мА хорошо виден процесс перехода от двух циклов к трем. Время каждого цикла по-прежнему около 1 мкс. Кроме циклов заряд–разряд, на формах напряжения на «летающем» конденсаторе имеются участки медленного разряда. Они соответствуют спадам выходного напряжения. В это время «летающий» конденсатор не подключен к нагрузке, а уменьшение его напряжения происходит за счет тока утечки на «землю».

Постепенно с увеличением выходного тока преобразователь перестраивается на другой режим работы. Формы переменных составляющих выходного напряжения и напряжения на «летающем» конденсаторе для тока 77 мА представлены на рис. 7. В отличие от рассмотренных выше режимов с меньшими токами здесь видны циклы разряд–заряд. «Летающий» конденсатор большую часть времени хорошо заряжен. После последнего разряда он не находится в фазе покоя, а сразу заряжается и переводится в другой режим работы. Обращает на себя внимание тот факт, что размах изменения напряжения на «летающем» конденсаторе для этого режима, в отличие от режимов с меньшими токами, составляет около 3.5 В. Такое возможно только, если микросхема начинает работать в режиме удвоителя напряжения.

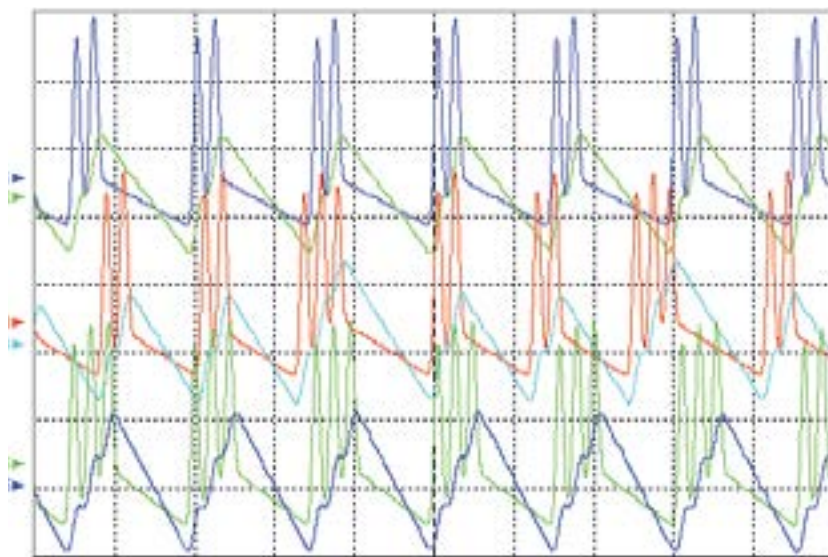


Рис. 6. Переменные составляющие (5 мкс/дел.) выходного напряжения $U_{\text{вых}} \sim 4.8 \text{ В}$ (2, 4, 6 – 20 мВ/дел.) и напряжения на «летающем» конденсаторе (1, 3, 5 – 50 мВ/дел.) при $U_{\text{вх}} \sim 5.1 \text{ В}$ и различных значениях тока нагрузки: 1, 2 – 39 мА; 3, 4 – 45 мА; 5, 6 – 55 мА.

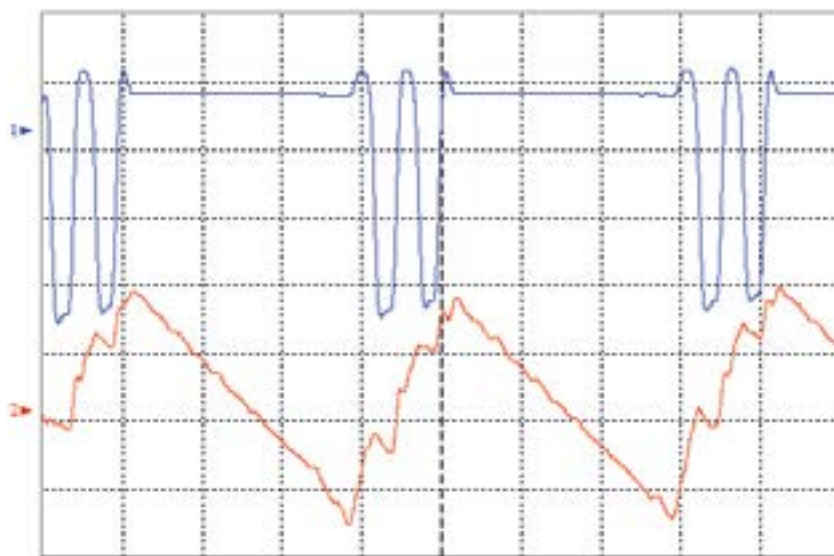


Рис. 7. Переменные составляющие (2 мкс/дел.) выходного напряжения $U_{\text{вых}} \sim 4.8 \text{ В}$ (2 – 20 мВ/дел.) и напряжения на «летающем» конденсаторе (1 – 1 В/дел.) при $U_{\text{вх}} \sim 5.1 \text{ В}$ и токе нагрузки 77 мА.

Представление о режиме удвоителя напряжения дает результат, показанный на рис. 8. Здесь напряжение на летающем конденсаторе измерялось при открытом входе осциллографа. Оно позволяет оценить величину максимального подъема напряжения на «летающем» конденсаторе и напряжение на нем при максимальном его разряде.

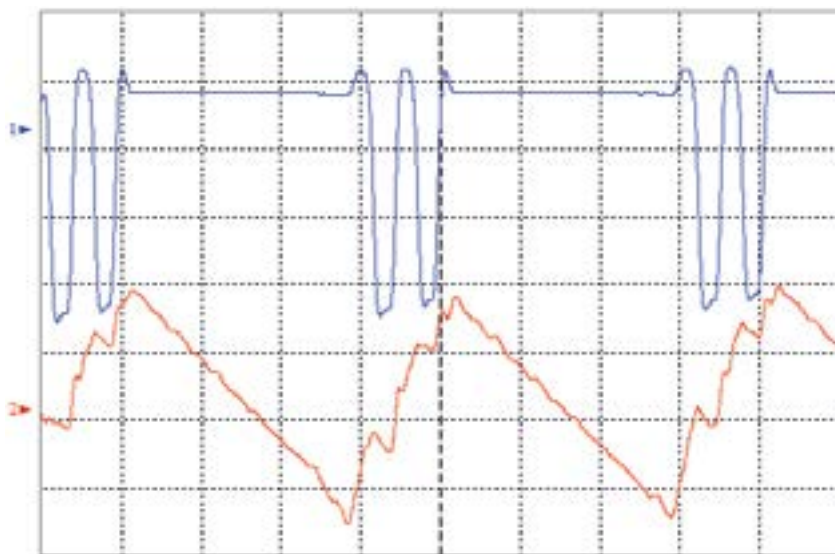


Рис. 8. Переменная составляющая (2 мкс/дел.) выходного напряжения $U_{\text{вых}} \sim 4.8 \text{ В}$ (2 – 20 мВ/дел.) и напряжение (2 мкс/дел.) на «летающем» конденсаторе, измеренное при открытом входе осциллографа (1 – 1 В/дел.) при $U_{\text{вх}} \sim 5.1 \text{ В}$ и токе нагрузки 77 мА.

Проведенные эксперименты показали, что иногда преобразователь работает вблизи предельных режимов по току без перехода в режим удвоителя напряжения и при сравнительно небольшой разнице в величинах входных и выходных напряжений. Чтобы поддерживать напряжение на выходе, в таких случаях требуется значительное количество циклов заряд–разряд «летающего» конденсатора. Передние фронты основных пульсаций выходного напряжения становятся длиннее, что в целом приводит к увеличению их периода. Пример такой работы отражает рис. 9. Показанные на нем временные зависимости соответствуют малому входному напряжению и близкому к минимальному выходному.

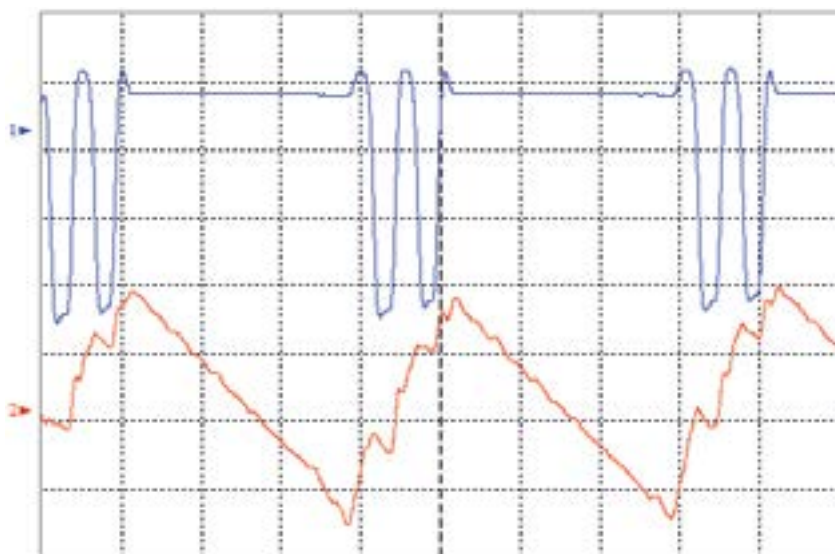


Рис. 9. Переменные составляющие (2 мкс/дел.) выходного напряжения $U_{\text{вых}} \sim 1.7 \text{ В}$ (2, 4, 6 – 10 мВ/дел.) и напряжения на «летающем» конденсаторе (1, 3, 5 – 200 мВ/дел.) при $U_{\text{вх}} \sim 2.2 \text{ В}$ при различных значениях тока нагрузки: 1, 2 – 77 мА; 3, 4 – 85 мА; 5, 6 – 95 мА.

Время цикла заряд–разряд в этом случае составляет около 0.8 мкс, то есть частота пульсаций напряжения на «летающем» конденсаторе даже немного выше, чем тактовая частота осциллятора микросхемы.

Выводы

Проведенные исследования преобразователя напряжения MCP1253 с накачкой заряда в режиме понижения напряжения показали, что описанный в [2, 3] алгоритм работы микросхемы, состоящий из трех фаз, упомянутых во Введении, не характеризует всех случаев ее использования при всех предусмотренных документацией возможных параметрах на входе и выходе. Алгоритм много сложнее. Он зависит от соотношения входного и выходного напряжений, токов нагрузки и даже от уровней этих напряжений.

Представленные в статье результаты исследований получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (Задание № 8.5577.2017/БЧ на выполнение проекта по теме "Исследование шумовых характеристик и пульсаций микросхем мобильных источников вторичного электропитания").

Литература:

1. Buck/Boost Regulating Charge Pump in μ MAX, MAX1759, Data Sheet 19-1600. Maxim Integrated Products, 2000, 10 pp.
2. Low Noise, Positive-Regulated Charge Pump MCP1252/3, Data Sheet DS2175A, Microchip Technology, 2002, 18 pp.
3. Converting a 5.0 V Supply Rail to a Regulated 3.0 V. Microchip Technology Application Note AN1025 (DS01025A), 2006, 8 pp.
4. Битюков В.К., Иванов А.А., Миронов А.В., Михневич Н.Г., Перфильев В.С., Петров В.А. Стенд для исследования характеристик микросхем источников вторичного электропитания с накачкой заряда // Российский технологический журнал. 2016. Т. 4. № 3. С. 37–52.
5. Битюков В.К., Иванов А.А., Миронов А.В., Михневич Н.Г., Перфильев В.С., Петров В.А. Исследование характеристик микросхем источников вторичного электропитания с накачкой заряда // Радиотехника. 2017. № 2. С. 126–134.

УДК 621.311.6

**СИСТЕМНАЯ ПЛАТА УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО
СТЕНДА С ВИРТУАЛЬНОЙ ПЕРЕДНЕЙ ПАНЕЛЬЮ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ**

В.К. Битюков, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой

М.А. Лухт[@], магистр

Н.Г. Михневич, заведующий лабораторией

В.А. Петров, д.т.н., профессор

*Кафедра теоретической радиотехники и радиофизики,
Московский технологический университет (МИРЭА), Москва 119454, Россия
[@]Автор для переписки, e-mail: max_luht@mail.ru*

Разработана, изготовлена и отлажена системная плата для автоматизированных исследований характеристик источников вторичного электропитания различных типов. Реализован вариант этой платы, предназначенный для исследования регулируемого компенсационного стабилизатора напряжения с непрерывным регулированием на интегральной микросхеме LM317L. Создано программное обеспечение для микроконтроллера PIC18F4550 компании Microchip Technology Inc., которое позволяет отображать информацию на семисегментных светодиодных индикаторах, реагировать на ввод с матричной клавиатуры и вести обмен данными с персональным компьютером при помощи интерфейса RS-232, следуя форме протокола. Создана виртуальная лицевая панель стенда, воспроизводящая реальную панель, и разработано программное обеспечение, позволяющее с помощью этой панели выполнять лабораторные эксперименты по изучению принципов работы, физики и схемотехники источников вторичного электропитания, а также управлять работой стенда дистанционно путем подключения его к персональному компьютеру с помощью USB-кабеля. Разработано дополнительное программное обеспечение, обеспечивающее свободу проектирования лабораторных работ. Оно позволяет легко вносить изменения в созданную виртуальную лицевую панель, изменять классы задач при проведении исследований и типы изучаемых источников вторичного электропитания.

Ключевые слова: учебный стенд, микросхема, линейный стабилизатор напряжения, виртуальная передняя панель, программирование новой виртуальной передней панели, программирование лабораторной работы.

MOTHER BOARD OF TRAINER WITH VIRTUAL FRONT PANEL FOR STUDY OF LINEAR VOLTAGE REGULATOR CHARACTERISTICS

V.K. Bityukov,
M.A. Lukht@,
N.G. Mikhnevich,
V.A. Petrov

Moscow Technological University (MIREA), Moscow 119454, Russia

@Corresponding author e-mail: max_luht@mail.ru

A motherboard for computer-aided investigation of characteristics of secondary power supply sources has been developed, manufactured and adjusted. A version of such circuit board is made for the purpose of studying a controlled compensating voltage regulator with continuous control function, based on the integrated circuit LM317L. Software for microcontroller PIC18F4550 has been developed which allows to display information on seven-segment LED indicators, respond to the input from a matrix keyboard, exchange data, via interface RS-232 by means of protocol, with a personal computer. A virtual front panel of the test bench for training is created, reproducing a real one, and the developed software allows to use this panel for carrying out laboratory experiments related to studying of principles of operation, the basics of physics and circuit technique of secondary power supply sources, and also remotely controlling of the test bench through USB cable connected to the PC. Besides, the additional software allows to easily design laboratory experiments on the test bench. The additional software enables to easily introduce changes into the virtual front panel, to set different tasks during experiments and even change types of secondary power supply sources under investigation.

Keywords: trainer, integrated circuit, linear voltage regulator, virtual front panel, programming of new virtual front panel, programming of new laboratory experiments.

Введение

Значительную часть создаваемых источников вторичного электропитания (ИВЭ) различного назначения составляют стабилизированные источники, которые в своей основе используют микросхемы DC-DC преобразователей. Как правило, в каталогах продукции производителей электронных компонентов имеется достаточно большое количество микросхем, предназначенных для построения либо повышающих, либо понижающих, либо полярно-инвертирующих преобразователей. Однако приводимые в описаниях микросхем основные технические характеристики и параметры являются далеко не полными и охватывают далеко не все области их применения. В этой связи возникает необходимость получения значительного объема экспериментальной информации по регулировочным (зависимость выходного напряжения от входного) и нагрузочным (зависимость выходного напряжения от тока нагрузки) характеристикам, пульсациям выходного напряжения и реакции на ступенчатое изменение или отключение нагрузки. Такой объем исследований в реальном масштабе времени можно выполнить только на автоматизированном экспериментальном стенде с использованием современной измерительной техники.

Цифровые осциллографы и мультиметры являются основными измерительными приборами. Они могут управляться путем нажатия кнопок на их лицевой панели или дистанционно от подключенного к ним персонального компьютера (ПК). В последнем случае требуется разработка соответствующего программного обеспечения. Разработка и отладка программ обычно занимает достаточно много времени. Временные затраты значительно уменьшаются, если использовать среду графического программирования LabVIEW [1], в которой могут работать приборы, имеющие соответствующие драйверы. В то же время необходимо отметить, что создаваемые в этой среде виртуальные передние панели приборов не являются близкой копией лицевых панелей реальных приборов, их изображение на экране монитора существенно отличается от вида лицевой панели реального прибора.

В последние годы передовые приборостроительные фирмы стали поставлять вместе с приборами программное обеспечение (ПО), в котором виртуальные лицевые панели, предназначенные для дистанционного управления приборами, даже такими сложными, как современные осциллографы, очень близки к реальным лицевым панелям [2–5]. Дистанционное управление мультиметрами с помощью виртуальной лицевой панели осуществить намного проще, чем указанное выше управление осциллографами. Самой трудной проблемой реализации дистанционного управления процессом исследования основных характеристик регулируемых стабилизированных источников вторичного электропитания является дистанционное управление работой экспериментального стенда.

В настоящее время на кафедре теоретической радиотехники и радиофизики Московского технологического университета (МИРЭА) разработана виртуальная лицевая панель с лабораторным стендом для исследования ИВЭ на базе DC-DC преобразователя с накачкой заряда, внедренная в состав учебно-методического комплекса [6]. Виртуальная лицевая панель разработана в среде программирования RAD Studio Embarcadero и обеспечивает взаимодействие с лабораторным стендом. В представленной статье использован более широкий подход, предусматривающий проведение исследований ИВЭ различных типов, суть которого будет изложена ниже на примере ИВЭ с регулируемым линейным стабилизатором напряжения.

Целью настоящей работы стало создание материнской платы автоматизированного универсального учебного стенда, который позволял бы проводить лабораторные работы и получать большой объем экспериментальной информации по регулировочным и нагрузочным характеристикам, пульсациям выходного напряжения и реакции на ступенчатое изменение или отключение нагрузки различных ИВЭ. Необходимо подчеркнуть, что такой лабораторный учебный стенд должен иметь дистанционное управление с помощью виртуальной передней панели (ВПП), отражающей реальную лицевую панель стенда и предоставляющей возможность взаимодействия стенда с ПК через интерфейс USB. Поскольку создаваемый стенд должен быть универсальным, предусматривающим смену объекта исследования, предстояло разработать ПО для ПК, которое позволяло бы легко проектировать любую новую учебную лабораторную работу путем создания новой ВПП для новой конкретной реализации ИВЭ.

1. Лабораторный стенд для исследований характеристик линейных стабилизаторов напряжения

Нами разработан экспериментальный стенд, который получил название «учебный лабораторный стенд ИП201». Он предназначен для изучения принципов работы, физики

и схемотехники источников вторичного электропитания. Его структурная схема представлена на рис. 1.

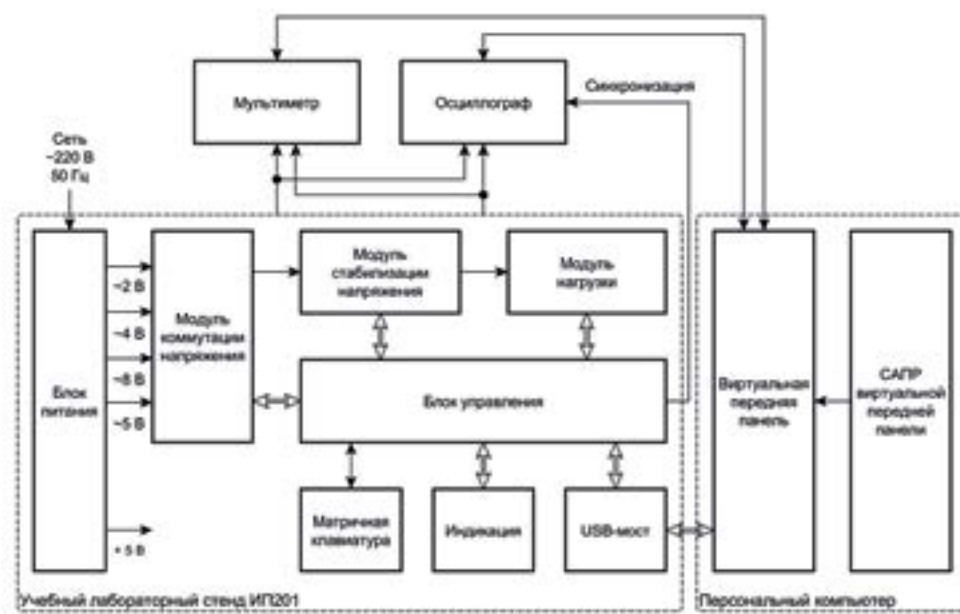


Рис. 1. Структурная схема учебного лабораторного стенда ИП201.

Лабораторный стенд ИП201 представляет собой модульную конструкцию: он позволяет использовать различные модули коммутации напряжения, стабилизации и нагрузки, тем самым обеспечивая возможность проектирования широкого спектра лабораторных работ для исследований характеристик стабилизаторов напряжения.

Помимо указанных модулей, в составе лабораторного стенда имеются и такие элементы, как блок питания, блок управления, матричная клавиатура, индикация и USB-мост для обмена данными лабораторного стенда с персональным компьютером. В качестве измерительного оборудования используется мультиметр и осциллограф. Мультиметр, осциллограф и блок управления находятся под управлением ПК.

Подключаемый к сети блок питания снабжает стабилизированным напряжением +5 В весь лабораторный стенд ИП201, а также осуществляет подачу на модуль коммутации переменного напряжения 2, 4, 8, 5 В частотой 50 Гц. Такой набор переменных напряжений предназначен для регулировки входного напряжения модуля стабилизации, в составе которого имеется стабилизатор напряжения, являющийся объектом исследования. Регулировка осуществляется посредством поступления команд от блока управления. Модуль нагрузки предназначен для регулировки нагрузочного тока исследуемого стабилизатора напряжения.

Блок управления представляет собой микроконтроллер PIC18F4550 фирмы Microchip [7], который осуществляет управление модулями лабораторного стенда и контроль их состояния, а также обеспечивает взаимодействие с персональным компьютером через USB-мост. Помимо этого, для установки интерфейса человек–машина микроконтроллер осуществляет управление матричной клавиатурой и индикацией. Чтобы управлять модулями коммутации напряжения, стабилизации, нагрузки и индикацией, микроконтроллер использует последовательную асимметричную шину данных (*inter-integrated circuit* –

ПС или I²C, а также I2C); для взаимодействия с персональным компьютером через USB-мост – универсальный асинхронный приёмопередатчик (*universal asynchronous receiver-transmitter* – UART).

Основой лабораторного стенда ИП201 является двухсторонняя печатная плата (рис. 2, 3). Это универсальная платформа на основе микроконтроллера PIC18F4550 с тремя сокетом индивидуальной разработки для подключения модулей коммутации напряжения, стабилизации и нагрузки в виде плат расширения. Платы расширения определяют модульность лабораторного стенда ИП201 и тем самым дают возможность проектировать широкий спектр лабораторных работ для исследований характеристик стабилизаторов напряжения. Каждый сокет конструктивно состоит из двух гнездовых разъемов 1×14, на контакты которых выведены линии связи последовательной асимметричной шины данных ПС, линии аналоговых сигналов и прерываний, а также линии питания + 5 В и заземление.

Лабораторный стенд ИП201 оснащен матричной клавиатурой в виде шестнадцати тактовых кнопок и восемью семисегментными индикаторами, которыми управляют два четырехразрядных светодиодных драйвера SAA1064 [8]. При непосредственном подключении такого количества тактовых кнопок необходимо было бы выделить столько же линий ввода–вывода микроконтроллера PIC18F4550. Однако для более рационального использования линий портов микроконтроллера в лабораторном стенде ИП201 шестнадцать тактовых кнопок подключены с помощью матричной схемы. Тактовые кнопки группируются в четыре ряда и четыре столбца, тем самым позволяя снизить количество выводов, необходимых для подключения к микроконтроллеру, в два раза. Наряду с этим, усложняется алгоритм выявления нажатия на такую матричную клавиатуру.

Драйвер SAA1064 является отдельной микросхемой, которая управляет парой двухразрядных семисегментных индикаторов. Оба драйвера подключены к микрокон-

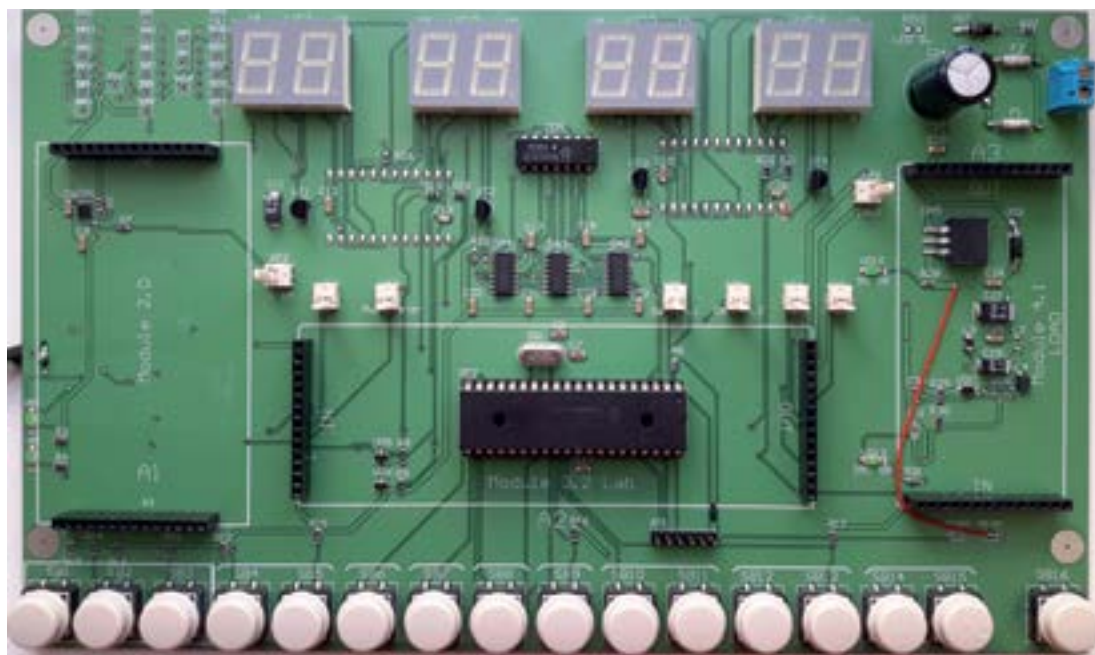


Рис. 2. Лицевая сторона материнской платы лабораторного стенда ИП201.

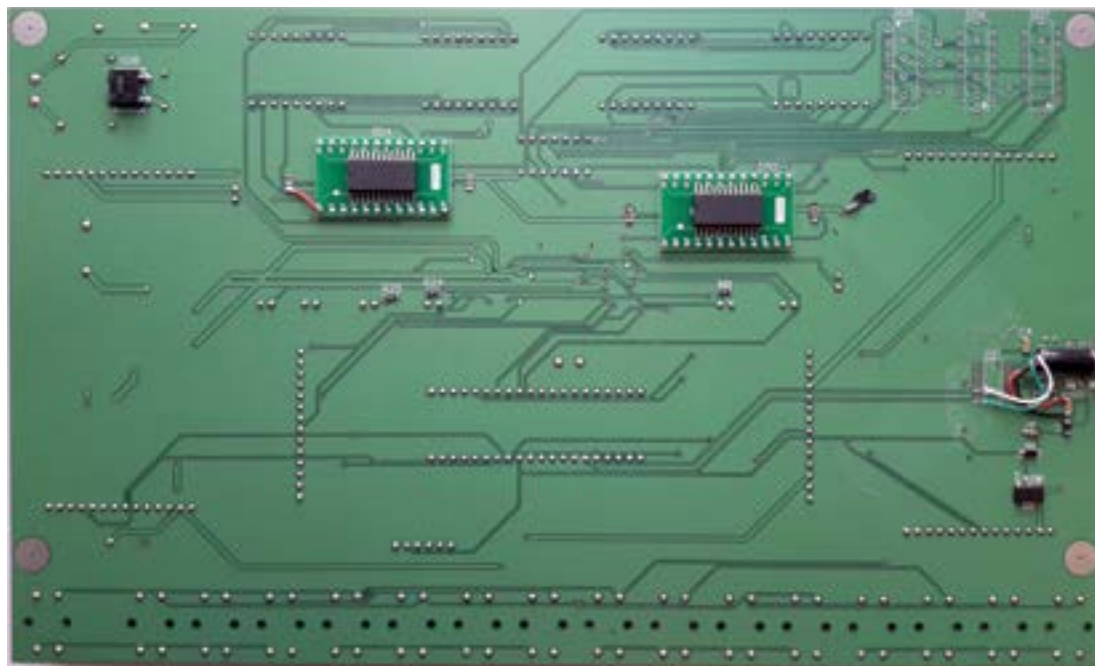


Рис. 3. Обратная сторона материнской платы лабораторного стенда ИП201.

троллеру PIC18F4550 по последовательной асимметричной шине I2C и имеют адрес устройства, соответствующий подаваемому напряжению на вывод ADR. Драйвер работает в режиме поразрядной динамической индикации. В таком режиме в каждый момент времени «зажигается» не один сегмент, а весь разряд индикатора.

Использование драйверов позволяет сэкономить выводы микроконтроллера: требуется только две сигнальные линии шины I2C, и нет необходимости микроконтроллеру самому «зажигать» разряды индикаторов – в это время он может выполнять другие операции.

Связь лабораторного стенда и персонального компьютера осуществляется с помощью одноканального аппаратного USB-моста FT232RL [9] компании FTDI. Микросхема FT232RL, преобразуя интерфейс USB – UART, позволяет организовать последовательный обмен данными, следуя форме протокола, между микроконтроллером PIC18F4550 и ПК. На стороне ПК устанавливается драйвер, создающий виртуальный COM-порт.

2. Виртуальная передняя панель лабораторного стенда

Виртуальная передняя панель лабораторного стенда – это виртуальное представление реальной лицевой панели лабораторного стенда с его элементами управления и индикации на персональном компьютере. Для работы с ВПП разработано программное обеспечение с названием VirtualPanel (рис. 4) с помощью кроссплатформенного инструментария Qt [10] на языке программирования C++ [11]. Оно предназначено для проведения учащимися лабораторных работ.

На такой ВПП отображаются:

- 1) функциональная схема лабораторного стенда в соответствии установленным модулям коммутации напряжения, его стабилизации и регулирования тока нагрузки;
- 2) эстетические элементы: надписи и пр.



Рис. 4. Окно виртуальной передней панели лабораторного стенда ИП201.

3) отображаются элементы управления и индикации (рис. 5), с помощью которых производится взаимодействие с лабораторным стендом.

К элементам управления (ЭУ) относятся:

- 1) кнопки;
- 2) переключатели;
- 3) энкодеры.

К элементам индикации (ЭИ) относятся:

- 1) светодиодный семисегментный индикатор;
- 2) светодиодный индикатор.

VirtualPanel позволяет связываться с лабораторным стендом ИП201 и производить обмен данными с помощью интерфейса RS-232, следуя форме протокола. Лабораторный стенд подключается к USB-порту персонального компьютера.

ВПП синхронизирована с лабораторным стендом, т.е. если производят воздействие на ЭУ, то данные о таком воздействии присутствуют и на лабораторном стенде, и на ВПП. Аналогично, когда индикация лабораторного стенда меняет свое состояние, ВПП принимает данные об этом изменении и отображает их на элементах индикации.

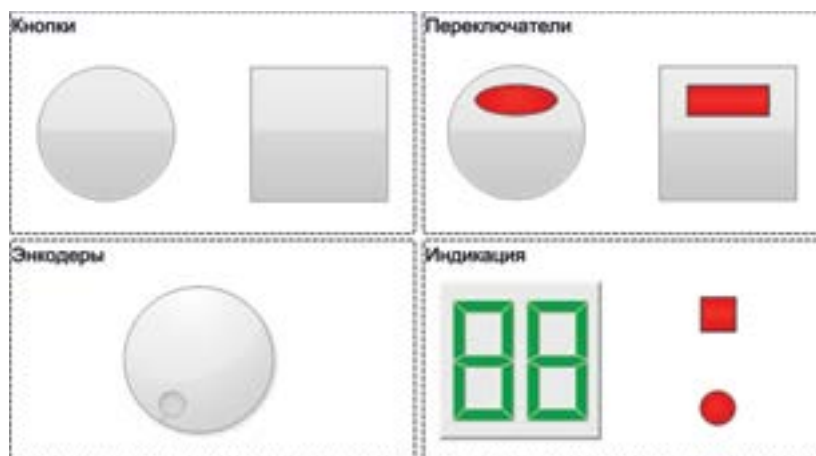


Рис. 5. Элементы управления и индикации.

VirtualPanel предоставляет также выбор выполняемой лабораторной работы (рис. 6). При этом будет производиться загрузка соответствующей ВПП и ее описания в виде pdf-документа.

В процессе выполнения лабораторной работы могут возникнуть вопросы. Для ответов и разъяснений предусмотрены справки на элементах управления и индикации (рис. 7). Такие справки вызываются нажатием правой кнопкой мыши по соответствующему элементу управления или индикации.

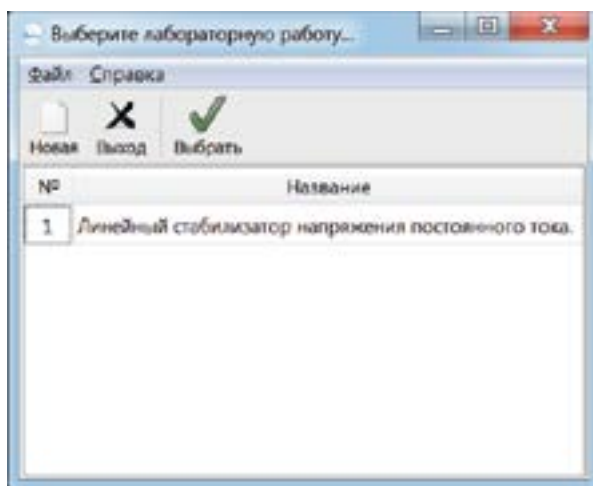


Рис. 6. Окно выбора лабораторной работы.



Рис. 7. Текст справки на элементах управления и индикации.

3. Система автоматизированного проектирования виртуальной передней панели

Система автоматизированного проектирования виртуальной передней панели (САПР ВПП) – это программное обеспечение с названием VPDesigner, которое предназначено для преподавателей вуза и имеет возможности проектирования лабораторной работы для учащихся (рис. 8).

VPDesigner, как и VirtualPanel, разработан с помощью кроссплатформенного инструментария Qt на языке программирования C++.

Лабораторная работа представляет собой такие связанные части, как:

- 1) виртуальная передняя панель лабораторного стенда;
- 2) программа выполнения (описание) лабораторной работы;
- 3) прикрепляемый лабораторный стенд.

VPDesigner позволяет объединить эти части и образовать из них лабораторную работу, впоследствии запускаемую учащимся в программе VirtualPanel, то есть спроектировать ВПП лабораторного стенда, определить программу выполнения, объединить их в лабораторную работу и привязать ее к лабораторному стенду.

VPDesigner не предоставляет возможности проектирования всей ВПП, а только возможность размещения на рабочем пространстве элементов управления и индикации. Функциональная схема лабораторного стенда и прочие эстетические элементы являются фоном. Такой фон проектируется в стороннем программном обеспечении, например splan, CorelDRAW, Adobe Illustrator и другие редакторы, позволяющие экспортировать документ в векторное изображение scalable vector graphics (SVG). Фон является файлом



Рис. 8. Окно САПР ВПП VPDesigner.

с расширением «.svg», который можно загрузить в VPDesigner. Представление ВПП векторным изображением SVG является большим плюсом, так как открывать ВПП можно на мониторе ПК с любым разрешением.

Выводы

Разработана, изготовлена и отлажена основная измерительная плата для автоматизированных исследований характеристик источников вторичного электропитания. Реализован вариант платы, предназначенный для исследования линейных стабилизаторов напряжения.

Разработано ПО для микроконтроллера PIC18F4550, которое позволяет отображать информацию на семисегментных светодиодных индикаторах, реагировать на ввод матричной клавиатуры и вести обмен данными с ПК по форме протокола.

Разработано ПО для ПК под названием VirtualPanel. Оно обеспечивает возможность выполнения лабораторных работ по изучению принципов функционирования, физики и схемотехники источников вторичного электропитания; позволяет дистанционно управлять лабораторным стендом ИП201, наилучшим образом организовывая при этом изучение ИВЭ, а также обучая пользователя применению современной автоматизированной измерительной техники для выполнения различных измерений.

Помимо того, разработано ПО с названием VPDesigner, задача которого - обеспечить свободу проектирования лабораторных работ для лабораторного стенда ИП201. VPDesigner позволяет проектировать лабораторную работу путем создания ВПП для конкретной лабораторной работы, в которой участвует тот или иной объект исследования.

Созданный программный комплекс обеспечивает свободу выбора учебного материала с возможностью модификации его содержания, а также проведения исследований ИВЭ различных типов. Для работы с ним не требуется высококвалифицированного оператора. Наряду с иными виртуальными панелями, такой программный комплекс позволя-

ет создавать не только близкую копию лицевой панели лабораторного стенда, но и набор полноценных лабораторных работ.

Литература:

1. Тревис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. М.: ДМК Пресс, 2008. 880 с.
2. Keysight Technologies, InfiniiVision 3000T X-Series Oscilloscopes Data sheet. URL: <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-6619EN.pdf?id=2002858>
3. Серков Д.А. Новые 4-х-канальные осциллографы эконо класса LeCroy серии WaveAce, URL: www.prist.ru/info.php/articles/waveace_4ch.htm
4. Афонский А.А. Новые модели цифровых осциллографов АКТАКОМ – большой шаг в автоматизацию измерений // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2009. № 2. С. 9–19.
5. Good Will Instrument Co., Freewave user manual. V.3.2. URL: www.gwinstek.com/en/download/downloadfilelist.aspx
6. Битюков В.К., Иванов А.А., Михневич Н.Г., Перфильев В.С., Петров В.А. Виртуальная лицевая панель реального стенда для дистанционного управления исследованием характеристик стабилизированных источников вторичного электропитания // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. Т. 19. № 1. С. 52–57.
7. Microchip Technology Inc., PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
8. Philips Semiconductors., 4-digit LED driver with I2C-bus interfase SAA1064. URL: <https://4donline.ihs.com/images/VipMasterIC/IC/PHGL/PHGLS08120/PHGLS08120-1.pdf?key=EF798316E3902B6ED9A73243A3159BB0>
9. Future Technology Devices International Ltd., FT232R USB UART IC. URL: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
10. Бланшет Ж., Саммерфилд М. Qt4. Программирование GUI на C++: пер. с англ. 2-е изд., доп. М.: КУДИС-ПРЕСС, 2008. 738 с.
11. Шилдт Г. C++ базовый курс: пер. с англ. 3-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2010. 845 с.

УДК 537.874 + 537.877 + 621.37

**ФОРМОНЕУСТОЙЧИВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
СУБНАНОСЕКУНДНЫХ СИГНАЛОВ
В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ**

М.С. Костин, к.т.н., доцент

Московский технологический университет (МИРЭА), Москва 119454, Россия

@Автор для переписки, e-mail: mihailkos@mail.ru

Представлены результаты программно-численных исследований электродинамических характеристик субнаносекундных сигналов при их распространении в неоднородных средах: при отражении от идеально проводящей поверхности и распространении через диэлектрик. Показаны особенности формовременной и спектральной трансформации распределения напряженности электрической компоненты поля гауссовских сверхкоротких радиоимпульсов без несущего частотного заполнения при их распространении, отражении и поглощении. Предложен метод квазиоптимального обнаружения радиоимпульсов с учетом их формовременной и спектральной трансформации.

Анализ электродинамических процессов, влияющих на формонеустойчивое изменение сверхкоротких радиоимпульсов в неоднородных средах, демонстрирует следующие результаты. Изменение угла наклона плоской отражающей поверхности влияет на показатель эффективной площади рассеяния, а, следовательно, на перераспределение напряженности электрической компоненты поля отраженной волны. Установлено, что гауссовский радиоимпульс, в отличие от гауссиана, при прохождении через диэлектрик претерпевает незначительные формоизменения профиля электрического поля из-за отсутствия вносимого влияния диэлектрических потерь в области верхних частот на несмещенный спектр. Механизм спектровременной трансформации распределения напряженности электрической компоненты поля гауссовских радиоимпульсов позволяет судить об эффективной возможности применения субнаносекундных радиоимпульсов в задачах субнаносекундного радиовидения.

Ключевые слова: субнаносекундный радиоимпульс, гауссовская модель, формовременная трансформация электрического поля, электрическая напряженность, неоднородная среда, эффективная площадь рассеяния, проводящая поверхность, диэлектрик, квазиоптимальный обнаружитель.

FORM-UNSUSTAINABLE ELECTRODYNAMICS OF DISTRIBUTION OF ELECTRIC FIELDS OF SUBNANOSECOND SIGNALS IN INHOMOGENEOUS MEDIA

M.S. Kostin

Moscow Technological University (MIREA), Moscow 119454, Russia

@Corresponding author e-mail: mihailkos@mail.ru

The results of program-numerical studies of the features of the change in the electrodynamic characteristics of subnanosecond signals during their propagation in inhomogeneous media are presented: in reflection from an ideally conducting surface and propagation through a dielectric. The features of the form-time and spectral transformation of the electric field strength distribution of Gaussian ultrashort impulse signals without carrier frequency filling during their propagation, reflection and absorption are shown. A method of quasioptimal detection of such radio pulses is proposed taking into account their form-time and spectral transformation.

Analysis of electrodynamic processes affecting the form-stable change in ultrashort radio pulses in inhomogeneous media has shown results: a change in the angle of inclination of the reflecting surface affects the redistribution of the electric field strength of the reflected wave; It is established that the Gaussian radio pulse, in contrast to the Gaussian, undergoes a slight change in the electric field profile as it passes through the dielectric, due to the effect of dielectric losses in the high-frequency region. The mechanism of the spectroscopic transformation of the distribution of the electric field strength of Gaussian radio pulses makes it possible to judge the possibility of using subnanosecond pulses in radiovision problems.

Keywords: subnanosecond radio pulse, Gaussian model, current electric field transformation, electric tension, inhomogeneous medium, effective scattering area, conductive surface, dielectric, quasioptimal detection.

Известно, что форма профиля узкополосных сигналов при таких преобразованиях, как сложение, вычитание, дифференцирование и интегрирование, остается неизменной. Под формой профиля электромагнитной волны будем понимать закон изменения радиосигнала во времени, а под преобразованием – радиофизический процесс [1, 2].

Действительно, преобразованные узкополосные сигналы могут различаться только амплитудой и фазовым смещением во времени. Однако для сверхкороткоимпульсных (СКИ) сигналов, аппроксимируемых гауссовской моделью, при тех же преобразованиях характерно изменение не только перечисленных параметров, но и трансформация распределения напряженности электрической компоненты поля – формы радиоимпульса [2].

Рассмотрим механизм формоизменения гауссовского СКИ-сигнала без несущего частотного заполнения, поскольку для решения ряда задач субнаносекундной радиолокации и сверхширокополосной радиосвязи важно учитывать факторы, влияющие на формоизменение субнаносекундного радиоимпульса, например, при оценке импульсной характеристики облучаемой цели, а также в решении радиотехнических задач обнаружения или оптимальной фильтрации таких сигналов.

Предположим, что цифровым приемопередатчиком сформирован видеосигнал S , который токовым импульсом поступает в антенну. Первое изменение его профиля, $s_1 = ds(t)/dt$ – моноцикл Гаусса [3], происходит в момент излучения, поскольку

известно, что напряженность электрического поля, излучаемого антенной, изменяется пропорционально производной тока в антенне. Второе изменение профиля СКИ может происходить в том случае, когда пространственная протяженность импульса, определяемая произведением $c\tau_s$ (здесь τ_s – длительность радиоимпульса, c – скорость света в вакууме), меньше линейного размера излучателя. В этом случае импульсы электромагнитной волны будут излучаться, образуя серию s_2 из суммы СКИ, смещенных во времени на величину τ_k [2]:

$$s_2 = \sum_{k=1}^N ds(t + \tau_k) / dt. \quad (1)$$

Третье изменение профиля СКИ-сигнала происходит при его отражении S_3 от зондируемой поверхности, которая в общем случае может представлять собой структуру из отражающих элементов, образующих профильную геометрию конструкции длиной L . Если $c\tau_s \ll L$, импульс S_3 поочередно отражается от отдельных элементов поверхности, образуя импульсную последовательность, параметры которой (число импульсов, взаимная обратная задержка во времени τ_m , интенсивность) зависят от геометрической структуры поверхности и импульсных характеристик h_m ее элементов. При этом импульсная последовательность формируется за время $\Delta t = 2L/c$ и представляет собой распределение функции [2]:

$$s_3 = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^N \int \frac{ds_1(t + \tau_k + \tau_m)}{dt} \cdot h_m(t - \tau_m - \tau_s) dt. \quad (2)$$

Отсюда эффективная площадь рассеяния (ЭПР) облучаемой поверхности становится динамической во времени и, как следствие, диаграмма рассеяния, сформированная облучаемой поверхностью – нестационарной. Отсутствие интерференции СКИ-сигналов, отраженных от элементов поверхности, исключает нули в диаграмме рассеяния, т.е. явление интерференции носит слабо выраженный характер. Элементы поверхности могут выполнять роль частотных фильтров, что приводит к дополнительному изменению формы профиля СКИ. Четвертое формоизменение СКИ происходит в момент его радиоприема по аналогии с излучением: импульсы тока, наведенного полем в разных частях антенны, будут сдвинуты во времени из-за разности хода сигнала. Пятое формоизменение СКИ возможно при его распространении через диэлектрические среды за счет затухания различных участков его спектра [2].

Из перечисленных особенностей формовременной динамики СКИ без несущего заполнения следует вывод о принципиально малой эффективности их согласованной фильтрации, поскольку априори предсказать формоизменение профиля СКИ – это затруднительная радиофизическая задача. Тем не менее, формоизменения, связанные с приемом и излучением, достаточно успешно поддаются расчету, в то время как другие электродинамические процессы, такие, как отражение, прохождение через диэлектрические препят-

ствия, в некотором смысле остаются мало изученными. Остановимся на рассмотрении этих процессов, чтобы проанализировать влияние угла наклона облучаемой поверхности и диэлектрических потерь на особенности формовременной и спектральной трансформации распределения напряженности электрической компоненты поля СКИ.

1. Исследование влияния угла наклона облучаемой поверхности на перераспределение напряженности электрической компоненты поля СКИ

Как показывают исследования, характер формоизменения отраженных от поверхности СКИ во многом будет зависеть не только от радиофизических свойств материала этой поверхности, но и во многом – от показателя эффективной площади ее рассеяния – ЭПР [2], которая в общем представлении имеет следующий вид:

$$\sigma_{\text{ЭПР}} = 4\pi r^2 \frac{E_{\text{отр}}^2}{E_{\text{пад}}^2}, \quad (3)$$

где r – расстояние до облучаемой поверхности, на которой падающая волна может считаться плоской;

$E_{\text{пад}}$ – напряженность электрического поля падающей волны;

$E_{\text{отр}}$ – напряженность электрического поля отраженной волны.

По существу, это выражение сравнивает плотность мощности отраженной волны с плотностью мощности волны, падающей на поверхность, и может быть представлено через пиковые значения полей:

$$\sigma_{\text{ЭПР}} = 4\pi r^2 \left| \frac{E_{\text{отр(макс)}}}{E_{\text{пад(макс)}}} \right|^2. \quad (4)$$

Исследуем влияние угла наклона θ_M и ЭПР металлической пластины площадью S_M со сторонами a_M и b_M на формовременную трансформацию распределения электрической компоненты поля СКИ (рис. 1). Для этого произведем численное моделирование СКИ-процесса во временной области [2, 4].

В качестве зондирующей антенны используем апертурную с раскрытием S_a и сторонами a_a и b_a , поскольку для нее известно решение поля в дальней зоне [2]. Предположим, что распределение поля и тока в раскрытии – равномерные; форма импульса, возбуждающего антенну, имеет вид гауссовского видеоимпульса

$$s^{(n)}(t) = G_0 \frac{d^n}{dt^n} \left(\exp \left(-\frac{t^2}{2\sigma_s^2} \right) \right), \quad (5)$$

где G_0 – амплитуда видеоимпульса, причем $\tau_s = k\sigma_s$ – длительность СКИ;

k – индекс отклонения, определяемый для относительного уровня оценки длительности и равный π при отсчете τ_s по уровню 0.5;

n – порядок производной сигнала.

Таким образом, выражение (5) носит название дифференциальной гауссовской модели.

Далее будем считать, что функция распределения поля равна $E_a(t) = s(t)$; причем $E_0 = G_0$; также будем полагать, что падающая на поверхность волна отражается без потерь; относительно линии визирования пластина повернута в горизонтальной плоскости на угол θ_m .

Как известно, в дальней зоне (при $z \gg b_a, a_a$) распределение электрического поля апертурной антенны имеет следующее решение [2]:

$$E(t) = \frac{1 + \cos \theta_a}{4\pi cz} \int_{-\frac{a_a}{2}}^{\frac{a_a}{2}} \int_{-\frac{b_a}{2}}^{\frac{b_a}{2}} \frac{dE_a \left(t - \frac{z'}{c} \right)}{dt} dx dy, \quad (6)$$

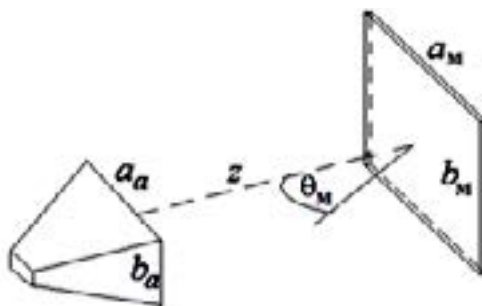


Рис. 1. Схема расположения плоской отражательной поверхности пластины относительно раскрыва антенны.

где z – расстояние от раскрыва антенны до зондируемой поверхности;

$$z' = z - \sin \theta_a (x \cos \varphi_a + y \sin \varphi_a);$$

θ_a, φ_a – углы поворота апертуры в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Полагая, что $\theta_a, \varphi_a = 0$, подставим в подынтегральное выражение (6) видеоимпульс (5). Тогда функция распределения напряженности поля падающей на поверхность волны

$$E_{\text{пад}}(t) = \frac{t \cdot S_a E_a}{\pi z c \sigma_s^2} \exp \left(-\frac{t^2}{\sigma_s^2} \right) \quad (7)$$

описывает модель производной гауссовского импульса первого порядка $s^{(1)}(t)$ – моноцикл Гаусса. Моменты времени, соответствующие модулю пикового значения поля, описываются производной функции (7) и равны $t = \pm \frac{\sigma_s}{\sqrt{2}}$. Отсюда модуль пикового значения поля равен

$$|E_{\text{пад(макс)}}| = \frac{S_a E_0}{\pi z c \sigma_s \sqrt{2e}}. \quad (8)$$

Распределение поля на пластине описывается формой падающей на ее поверхность волны. При повороте пластины на угол θ_M переизлученное поле в дальней зоне по аналогии с (6) имеет вид:

$$E(t) = \frac{1 + \cos \theta_M}{4\pi c z} \int_{-\frac{a_M}{2}}^{\frac{a_M}{2}} \int_{-\frac{b_M}{2}}^{\frac{b_M}{2}} \frac{dE_{\text{пад}}\left(t - \frac{z'}{c}\right)}{dt} dx dy, \quad (9)$$

где $z' = z - \sin \theta_M (x \cos \varphi_M + y \sin \varphi_M)$ – расстояние от поверхности до раскрыва антенны. Считая $\varphi_M = 0$, проинтегрируем выражение (9) по переменной y , тогда

$$E_{\text{отр}}(t) = \frac{(1 + \cos \theta_M) b_M}{4\pi c z} \int_{-\frac{a_M}{2}}^{\frac{a_M}{2}} \frac{dE_{\text{пад}}\left(t - \frac{x \sin(\theta_M)}{c}\right)}{dt} dx. \quad (10)$$

Подставив (7) в (10), получим выражение, описывающее распределение напряженности поля отраженной волны (рис. 2):

$$E_{\text{отр}}(t) = \frac{(1 + \cos \theta_M) b_M E_0 S_a}{8(\pi z c \sigma_s)^2 \sin \theta_M} \left[A \exp\left(-\frac{A^2}{2c\sigma_s^2}\right) + A' \exp\left(-\frac{A'^2}{2c\sigma_s^2}\right) \right], \quad (11)$$

где $A = a_M \sin \theta_M - 2tc$; $A' = a_M \sin \theta_M + 2tc$.

По аналогии с (11) можно получить выражение для связи распределения поля при наклоне поверхности и в вертикальном направлении, найдя полное решение для поля из интегрального выражения (9).

Проанализируем полученное выражение для $E_{\text{отр}}(t)$. На рис. 2 приведены графики распределения напряженности электрического поля отраженной волны в зависимости от угла наклона поверхности θ_M при $a_M = b_M = 20$ см (из условия программно-численного эксперимента) [1, 2].

При $\theta_M \rightarrow 0$, функция (11) описывает модель СКИ второго порядка $s^{(2)}(t)$ (рис. 2, а):

$$E_{\text{отр}}(t) = \frac{E_0 S_a S}{2(\pi z c \sigma_s^2)^2} \left[(2t^2 - \sigma_s^2) \exp\left(-\frac{t^2}{\sigma_s^2}\right) \right], \quad (12)$$

а модуль максимума распределения функции поля (12) равен:

$$|E_{\text{отр(макс)}}| = \frac{E_0 S a S}{2(\pi z c \tau_s)^2}. \quad (13)$$

Таким образом, увеличение угла наклона зондируемой поверхности (рис. 2, б–г) влияет на формоизменение СКИ, выраженное перераспределением напряженности поля радиоимпульса, что в данном случае, при $\theta_M \geq 20^\circ$, ведет к образованию импульсной последовательности. Отсюда, в случае опрокидывающих пластину моментов, ЭПР будет носить динамический характер и, согласно (11), экспоненциально убывать с увеличением угла θ_M .

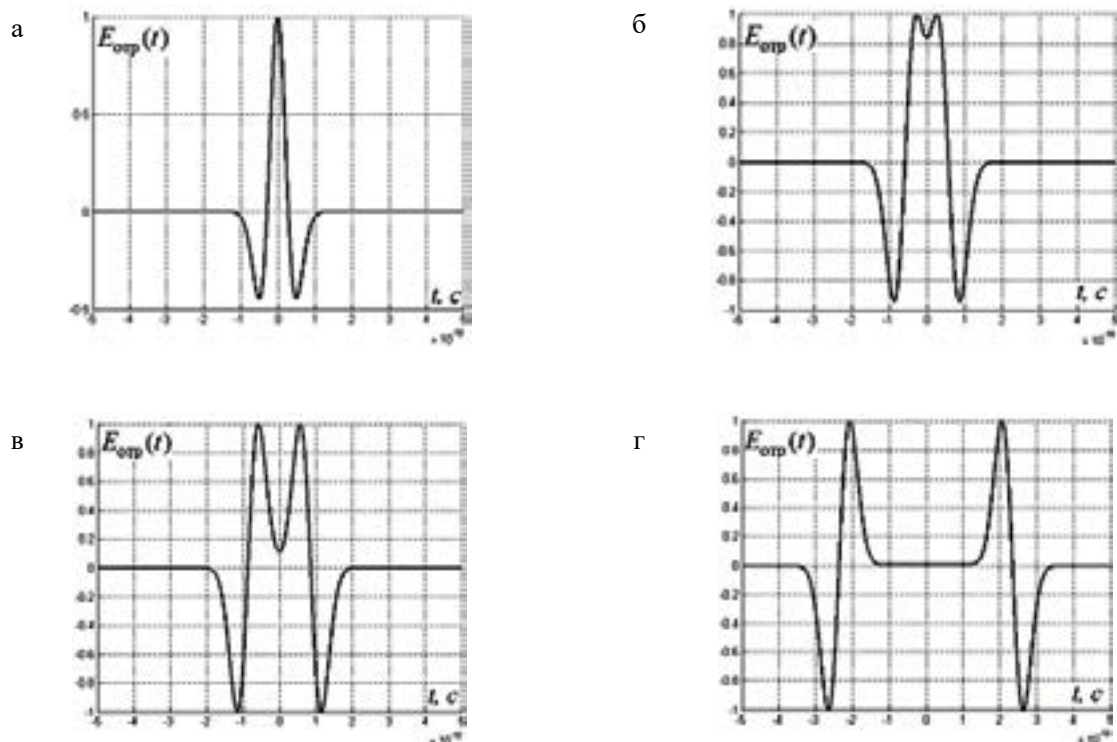


Рис. 2. Нормированные эпюры функции $E_{\text{отр}}(t)$ для СКИ длительностью 200 пс, $a_M = 20$ см при: а) $\theta_M = 0^\circ$; б) $\theta_M = 10^\circ$; в) $\theta_M = 15^\circ$; г) $\theta_M = 45^\circ$.

Учитывая формоизменение СКИ в момент приема при его прохождении через антенну, на входе приемного устройства для эпюр $E_{\text{отр}}(t)$ (рис. 2), соответственно, будем иметь радиоимпульсы третьего порядка $s^{(3)}(t)$ (рис. 3).

Подставляя в выражение (4) формулы (8) и (13) – максимальные значения электрических полей, получим выражение для ЭПР исследуемой пластины, расположенной перпендикулярно к линии визирования:

$$\sigma_{\text{ЭПР(СКИ)}} = \frac{2eS_M^2}{\pi(c\tau_s)^2}. \quad (14)$$

При этом выражение для ЭПР пластины, облучаемой узкополосным гармоническим сигналом с длиной волны λ , имеет вид [2]:

$$\sigma_{\text{ЭПР(УС)}} = \frac{4\pi S_M^2}{\lambda^2}. \quad (15)$$

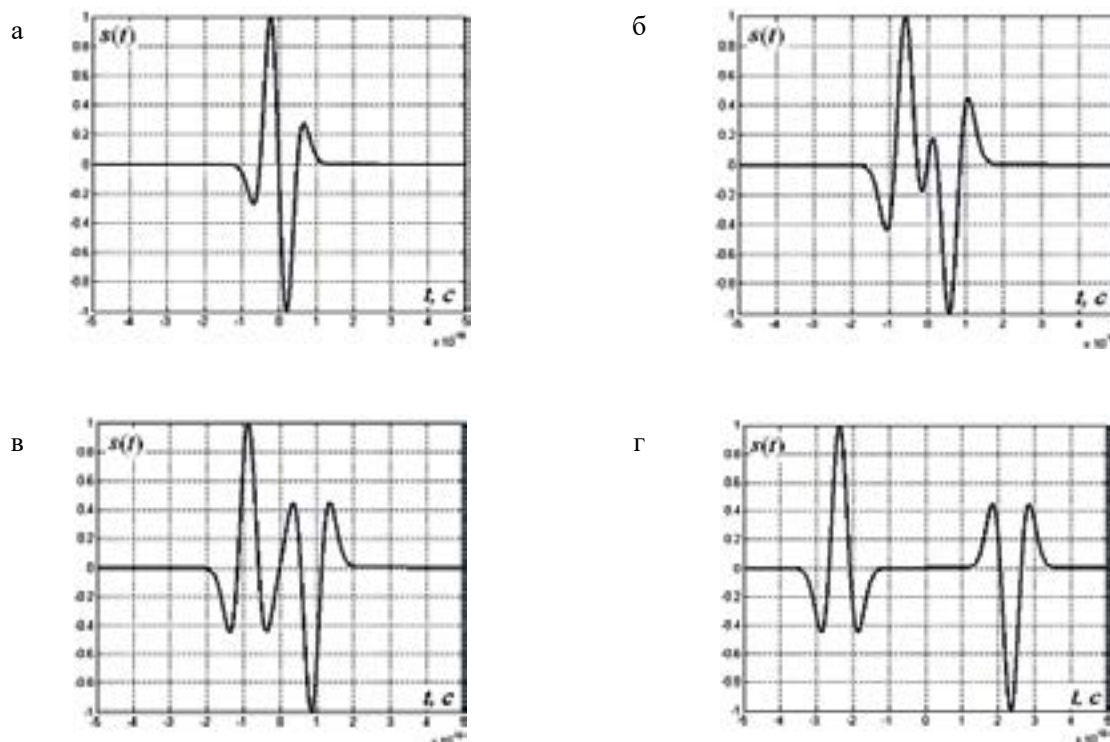


Рис. 3. Нормированные эпюры СКИ на входе приемника:

а) $\theta_M = 0^\circ$; б) $\theta_M = 10^\circ$; в) $\theta_M = 15^\circ$; г) $\theta_M = 45^\circ$.

Если сравнить выражения (14) и (15), то можно увидеть аналогию между длиной волны λ и пространственной длиной импульса $c\tau_s$ СКИ. Так, в случае равенства $c\tau_s = \lambda$, ЭПР пластины, облучаемой сверхкоротким радиоимпульсом, в 1.3 раза выше, чем в случае с гармоническим сигналом. Действительно, приравняв выражение (14) и (15), получаем соотношение между СКИ и гармоническим сигналом $c\tau_s = 1,3\lambda$.

Следовательно, изменение угла наклона θ_M плоской отражающей поверхности влияет на ЭПР, а, следовательно, и на перераспределение напряженности электрического поля отраженной волны субнаносекундного колебания.

2. Исследование влияния диэлектрических потерь на перераспределение напряженности электрической компоненты поля СКИ

Будем полагать, что облучающее диэлектрическое препятствие электромагнитное поле имеет вид плоской волны, нормально падающей на полупространство препятствия с диэлектрической проницаемостью ϵ_r и толщиной d (рис. 4). Как известно [2, 4], коэффициент прохождения t в этом случае выражается через соответствующие импедансы и волновые числа:

$$t = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} = \frac{2k_0}{k_0 + k_1}, \quad \text{где } Z_1 = \frac{E_{\text{пад}}}{H_{\text{пад}}}; \quad Z_2 = \frac{E_{\text{пр}}}{H_{\text{пр}}} \quad (16)$$

где $k_0 = 2\pi / \lambda = 2\pi f / c$, $k_1 = k_0 \sqrt{\varepsilon_r}$ – волновые числа в свободном пространстве и диэлектрической среде, соответственно.

При этом коэффициент отражения r от зондируемой поверхности диэлектрика равен [2, 4]:

$$r = \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{k_0 - k_1}{k_0 + k_1}. \quad (17)$$

Для каждой гармоники в спектре СКИ коэффициенты прохождения будут иметь свои значения.

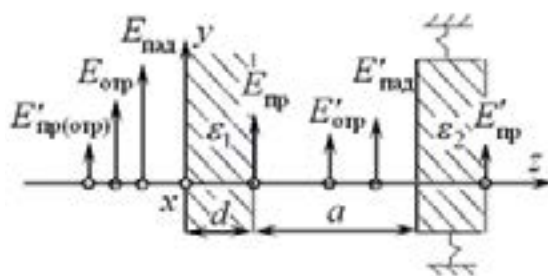


Рис. 4. Характер прохождения СКИ через диэлектрик толщиной d (магнитные составляющие поля не показаны). $E'_{\text{пр(отр)}}$ – напряженность электрического поля волны, отраженной от зондируемой поверхности и прошедшей через диэлектрическое препятствие в обратном направлении.

Из граничных условий для схемы, приведенной на рис. 4, в общем случае известно решение результирующего коэффициента отражения [2]:

$$R(f) = \frac{E'_{\text{пр(отр)}}}{E_{\text{пад}}} = K^{-1} \left\{ (r_2 + r_3 e^{j2k_0 a}) e^{j2k_1 d} + r_1 (1 + r_2 r_3 e^{j2k_0 a}) \right\}, \quad (18)$$

где $K = 1 + r_2 r_3 e^{j2k_0 a} + r_1 (r_2 + r_3 e^{j2k_0 a}) e^{j2k_1 d}$;

d – толщина диэлектрического препятствия;

a – расстояние между препятствием и колебательной поверхностью;

r_i – коэффициенты отражения.

Заметим, что при подповерхностном облучении через диэлектрик идеально проводящей металлической поверхности $r_3 = 1$.

Исследуем влияние экранирующего диэлектрического слоя ε_1 на формоизменение профиля прошедшего СКИ. Для этого удобно выразить коэффициент прохождения через стационарную передаточную функцию и рассматривать его в спектральной области как частотно зависимый коэффициент передачи, который можно аппроксимировать функцией вида [2]:

$$K_t(d, \omega) = \exp(-\alpha \omega d), \quad (19)$$

где α – табличный коэффициент затухания в диэлектрике.

Амплитудный спектр прошедшего СКИ $S_{\text{пр}}(\omega)$ определяется как результат прохождения зондирующего сигнала со спектром $S_{\text{пад}}(\omega)$ через диэлектрик:

$$S_{\text{пр}}(\omega) = K(d, \omega) S_{\text{пад}}(\omega). \quad (20)$$

В случае подповерхностного облучения металлизированной поверхности через диэлектрик амплитудный спектр обратного прохождения $S'_{\text{пр}}(\omega) = K^2(d, \omega) S_{\text{пад}}(\omega)$. Отсюда можно заключить, что, как и для отражения СКИ-сигнала от проводящей пластины, прохождение субнаносекундного радиоимпульса через однородные диэлектрические среды приводит к перераспределению напряженности электрического поля. Это объясняется тем, что спектр зондирующих импульсов расположен в высокочастотной области, в которой имеет место сильное поглощение спектральных составляющих высших гармоник, и коэффициент прохождения для них мал. Вследствие квадратичной зависимости затухания волны в прямом и обратном прохождении при значительной толщине диэлектрика и величине диэлектрических потерь формоизменения СКИ становятся значительными [2].

На рис. 5 приведены результаты моделирования, отражающие качественный характер влияния спектропоглощения диэлектриком ($\epsilon_r = 10$, $\alpha = 10$ дБ/(м · МГц), $d = 100$ см) на формоизменение временных характеристик для двух аналитических моделей СКИ:

- с несущим частотным заполнением на частоте f_H (гауссиана) [2]:

$$s_1(t) = A_1 \exp(-\pi t^2 / \sigma_s^2) \cos(2\pi f t) \quad (21)$$

- без несущего частотного заполнения:

$$s_2(t) = A_2 t \exp(-t^2 / \sigma_s^2). \quad (22)$$

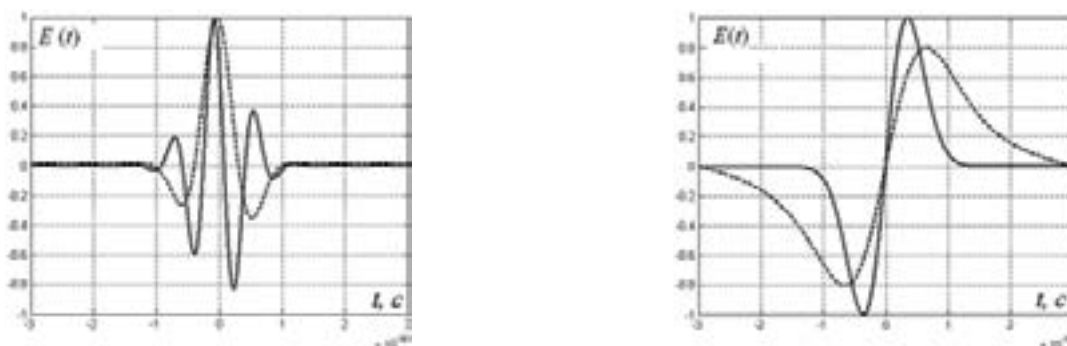


Рис. 5. Нормированные эпюры распределения напряженности электрического поля СКИ падающего (сплошная кривая) и прошедшего через диэлектрик (пунктирная кривая): слева – модель СКИ вида (21); справа – модель СКИ вида (22).

По результатам численного моделирования, проведенного на базе программной модели, реализующей принцип высокоскоростной атактовой оцифровки СКИ, из рис. 5 следует, что гауссовский СКИ без несущего частотного заполнения, в отличие от гауссиана с частотным заполнением, претерпевает незначительные изменения профиля поля при прохождении через диэлектрическое препятствие. Это обусловлено тем, что спектр используемой в работе модели СКИ расположен вблизи нулевого отсчета оси частот, в то время как спектры вещественных моделей типа гауссиан сдвинуты в верхнюю область на несущую частоту f_n . Поскольку влияние диэлектрических потерь существенно в области верхних частот, боковые лепестки СКИ без несущего заполнения становятся более пологими.

3. Квазиоптимальное обнаружение субнаносекундных радиоимпульсов без несущего частотного заполнения

Из результатов программно-численных исследований особенностей изменения электродинамических характеристик субнаносекундных сигналов при их распространении в неоднородных средах – при отражении от идеально проводящей поверхности и распространении через диэлектрик, актуальной становится задача построения алгоритма квазиоптимального обнаружения таких сигналов. В реальных условиях радиоприема СКИ смешивается с шумами, в том числе собственными шумами устройств предварительного усиления, и помехами, вызванными многолучевым рассеянием от подстилающей поверхности и объектов среды. Отсюда система приема должна наилучшим образом производить пространственно-временную и частотную селекцию сигнала от зондируемой поверхности из смеси СКИ, шумов и активных помех. Таким образом, воспроизводимость СКИ напрямую зависит от алгоритма обнаружения, эффективность которого определяется из выбранного статистического критерия правдоподобия.

Важной частью априорной информации обнаружения, необходимой для его идентификации, являются сведения о форме сигнала. Именно это позволяет использовать для обработки узкополосных сигналов принципы согласованной фильтрации. Однако гауссовские СКИ без несущего частотного заполнения способны претерпевать неоднократное формоизменение профиля, как минимум, трехкратно. С учетом таких явлений, как дисперсия, многолучевое рассеяние, динамический эффект ЭПР и добавление помех, в приемную систему приходит также СКИ-сигнал, форма которого может существенно отличаться от формы излученного СКИ. Однако в этом изменении формы сигнала для решения задач радиовидения фактически содержатся специфические свойства отражающей поверхности, обуславливающие ее импульсную характеристику.

Отсутствие априорной информации о форме отраженного радиоимпульса не позволяет применить к нему классическую оптимальную обработку с помощью согласованной фильтрации. Кроме того, при согласованной фильтрации форма СКИ-сигнала преобразуется в форму своей автокорреляционной функции, что соответствует почти в два раза худшей разрешающей способности [2].

Для СКИ-сигналов с формонеустойчивой динамикой перераспределения напряженности электрической компоненты поля известны квазиоптимальные методы обработки: квадратичного суммирования импульсов во всех элементах разрешения строба

наблюдения и сравнения полученной суммы с порогом путем использования энергетического обнаружителя; последовательного сравнения с порогом в каждом элементе разрешения и объединения решений по схеме логического сложения с помощью дискретного обнаружителя; осуществления отбора заданного числа максимальных амплитуд сигнала в стробе наблюдения с последующим их суммированием с помощью рангового обнаружителя и другие численные алгоритмы [4–6]. Однако методы с использованием перечисленных обнаружителей дают большие потери в сравнении с оптимальной обработкой [7].

Решение статистической задачи механизм нахождения периодического радиоимпульсного сигнала неизвестной формы предполагает, что период следования отраженных радиоимпульсов T известен. Используя эти априорные сведения, синтезируем оптимальный алгоритм обнаружения СКИ неизвестной формы. Примем следующие условия: длительность СКИ τ_s – известная величина; на входе приемника действует аддитивная смесь отраженного СКИ-сигнала $s(t)$ с шумом $n(t)$: $u(t) = s(t) + n(t)$; шум – стационарный гауссовский процесс.

Рассмотрим статистическую задачу обнаружения для случая k -ой последовательности квазиподобных СКИ неизвестной формы длительностью τ_s , периодом повторения T и энергией каждого импульса E_s на фоне стационарного белого шума. Представим последовательность отраженных от цели импульсов в виде

$$s_{\Sigma}(t) = \sum_{n=0}^{k-1} s(t - nT). \quad (23)$$

Пусть длительность всей последовательности

$$T_{\Sigma} = (k-1)T + \tau_s. \quad (24)$$

Логарифм отношения функций правдоподобия для сигнала $u(t)$ имеет вид [2]:

$$\ln \Lambda = \ln \left[\frac{w(u(t)|\theta_1)}{w(u(t)|\theta_0)} \right] = \sum_{n=0}^{k-1} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t)s(t-nT)dt - \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{k-1} \sum_{m=0}^{k-1} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t-nT)s(t-mT)dt. \quad (25)$$

Здесь w – функция распределения плотности условной вероятности оценки неизвестного параметра сигнала $u(t)$.

Поскольку СКИ не перекрываются, выражение (25) преобразуется к виду

$$\ln \Lambda = \sum_{n=0}^{k-1} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t)s(t-nT)dt - \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{k-1} \int_{-\infty}^{+\infty} s^2(t-nT)dt. \quad (26)$$

Полагая $s(t)$ неслучайным, воспользуемся методом, в котором вместо неизвестных параметров подставляются их максимально правдоподобные оценки [2, 4]. Отсюда опти-

мальный алгоритм обнаружения (по критерию отношения правдоподобия) будет определяться логарифмом функционала правдоподобия:

$$\Phi = -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[u(t) - \sum_{n=0}^{k-1} s(t-nT) \right]^2 dt. \quad (27)$$

После ряда преобразований выражения (27) получим оптимальный критерий обнаружения:

$$\Phi = \int_0^T \left[\sum_{n=0}^{k-1} u(t+nT) \right]^2 dt \underset{<}{\overset{>}{\Lambda_0}}, \quad (28)$$

где Λ_0 – порог обнаружения, определяемый заданной вероятностью ложной тревоги по критерию Неймана – Пирсона [2, 4].

В результате алгоритм обнаружения периодического СКИ неизвестной формы сводится к суммированию отрезков принятой реализации длительностью T , вычислению энергии этой суммы и сравнению полученной энергии с установленным порогом.

Структурная схема оптимального обнаружения неизвестного СКИ-сигнала приведена на рис. 6, слева. Для случая $k=2$ на базе представленного оптимального обнаружителя можно построить квазиоптимальный обнаружитель (рис. 6, справа), состоящий из пары энергетических обнаружителей сигналов и корреляционного обнаружителя, где в качестве опорного используется сигнал, задержанный на период зондирования [1, 2].

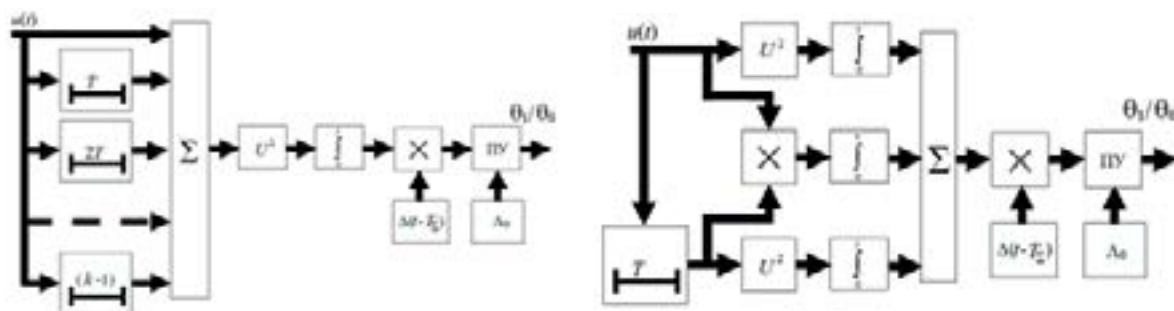


Рис. 6. Схемы обнаружителей СКИ: оптимального обнаружения СКИ-сигнала (слева); квазиоптимальный череспериодный корреляционный обнаружитель ЧПКО (справа).

В результате принятый сигнал сравнивается не с излучаемым сигналом, а с таким же сигналом, отраженным от зондируемой поверхности. Обнаружитель, использующий информацию о двух соседних импульсах, является череспериодным корреляционным обнаружителем (ЧПКО). Надежность обнаружения можно повысить, если использовать ЧПКО с накоплением k -импульсов. Отсюда параметром сигнала, определяющим эффективность ЧПКО, является его форма. При этом после объединения в корреляторе задержанных и текущих отсчетов напряжения из двух периодов повторения их дальнейшая обработка производится на одном временном интервале.

Для случая условно известной формы СКИ оптимальный обнаружитель, ЧПКО и энергетический обнаружитель, несомненно, проигрывают в эффективности обнаружения методом согласованной фильтрации. Однако безусловным преимуществом ЧПКО в сравнении с приведенными методами обнаружения является возможность квазиоптимального обнаружения СКИ, где в качестве опорного используется сигнал, полученный в предыдущем периоде наблюдения и задержанный на период радиоимпульсной последовательности [1, 2].

Заключение

Рассмотренный в работе ранее мало изученный механизм формовременной и спектральной трансформации распределения напряженности электрической компоненты поля гауссовских сверхкороткоимпульсных радиоимпульсов без несущего частотного заполнения при их распространении, отражении и поглощении в неоднородных средах позволяет судить не только об особенностях применения таких сигналов в сверхширокополосной радиосвязи, но и о возможности применения субнаносекундных радиоимпульсов в таких актуальных направлениях радиофизики, как радиовидение и радиофотонное сканирование. Проведенный анализ электродинамических явлений и процессов, влияющих на формоизменение СКИ в неоднородных средах, показал следующие результаты: изменение угла наклона плоской отражающей поверхности влияет на ЭПР, а, следовательно, и на перераспределение напряженности электрического поля отраженной волны субнаносекундного колебания. Установлено, что гауссовский СКИ, в отличие от гауссиана, спектр которого сдвинут на несущую частоту заполнения, при прохождении через диэлектрик претерпевает незначительные изменения профиля электрического поля, однако, ввиду существенного влияния диэлектрических потерь в области верхних частот, боковые лепестки распределения напряженности электрического поля гауссовского СКИ стремятся к более пологой форме. В качестве метода квазиоптимального обнаружения СКИ без несущего частотного заполнения предложен квазиоптимальный ЧПКО, позволяющий эффективно решать задачи обнаружения СКИ-сигналов с формонеустойчивой электродинамикой перераспределения напряженности электрической компоненты поля.

Литература:

1. Budagyan I.F., Kostin M.S. Methods applied to digital processing of ultrashort pulse signals upon estimating a small angular deviation of phase-distributed radio pulses in the radiosensory vibrometrological diagnostics system // J. Communications Technology and Electronics. 2015. V. 60. № 8. P. 871–879.
2. Будагян И.Ф., Костин М.С. Субнаносекундная радиоволновая виброметрия. Методы и технологии. Саарбрюккен, Германия: Palmarium Academic Publ., 2015. 107 с.
3. Костин М.С., Будагян И.Ф. Аналитическая модель сверхкороткоимпульсного радиосенсорного виброметрического локатора // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 11. С. 52–56.
4. Будагян И.Ф., Костин М.С. Численные методы обработки сверхкороткоимпульсных сигналов радиосенсорных систем // Радиоэлектронная техника: Межвуз. сб. научных трудов РАН / под ред. В.А. Сергеева. Ульяновск: УлГТУ, 2015. С. 104–110.

5. Budagyan I.F., Kostin M.S. Pseudocepstral methods the time-frequency localization ultrashort pulse signals in the radiowave systems of phase-deviametry assessment mechanical vibrations // European Science and Technology: Materials of the IX Int. Res. and Practice Conf., Munich. Germany: Vela Verlag Waldkraiburg, 2014. P. 295–302.
6. Костин М.С. Численные методы обработки сверхкороткоимпульсных сигналов радиосенсорных виброметрических систем // Сб. докладов V науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы развития систем и средств ВКО», ГСКБ АЛМАЗ-АНТЕЙ. М.: ГСКБ АЛМАЗ-АНТЕЙ, 2014. Гл. 4 . С. 381–387.
7. Будагян И.Ф., Костин М.С. Атактовая оцифровка сверхкоротких импульсов в гибридных системах радиофотонного сканирования // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 3. [Электронный ресурс]. – URL: <http://jre.cplire.ru/mac/mar16/5/text.html> (дата обращения 20.03.2017).

УДК 621.37.037

СПЕЦПРОЕКТНЫЕ РЕИНЖИНИРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

М.С. Костин[@], к.т.н., доцент
Д.С. Воруничев, ст. преподаватель

Московский технологический университет (МИРЭА), Москва 119454, Россия
[@]Автор для переписки, e-mail: mihailkos@mail.ru

В связи с постоянной динамикой развития инженерных технологий радиоэлектронных изделий, развитием элементной компонентной базы и материально-технической базы современных электронных средств ранее применяемые методы обратного инжиниринга становятся малоэффективными, а, следовательно, знания о них не позволяют сформировать новую стратегию реализации реверсного противодействия. Вместе с тем анализ современных решений и средств прототипирования позволяет разработать комплекс технических мер противодействия спецпроектным исследованиям, обеспечивающих оригинальность и неповторимость отечественных изделий, что является актуальным в целях обеспечения экономической безопасности в сфере ОПК. В работе рассмотрены методы и средства спецпроектного реинжиниринга топологии многослойных печатных плат и интегральных микросхем. Сформулирован концептуальный подход реинжиниринговой модернизации радиоэлектронных изделий. Представлены базисные технологические процессы реинжиниринга схмотехнической конфигурации радиоэлектронных средств, основанные на принципах разрушающего и неразрушающего спецпроектного исследования: механообработка и химическое травление, оптическое сканирование, радиовидение, рентгенографический анализ. Впервые предложен метод тепловизионного электроиндукционного анализа печатных плат. Показано, что реинжиниринг может быть использован не только в целях модификации изделия, но и позволяет воссоздать весь технологический цикл производства по исследуемому образцу.

Ключевые слова: спецпроектный реинжиниринг, прототипирование, техническое противодействие, печатный модуль, интегральная микросхема.

THE SPECIAL PROJECT REVERSE ENGINEERING STUDY OF RADIOELECTRONIC PRODUCTS

M.S. Kostin[@],
D.S. Vorunichev

Moscow Technological University (MIREA), Moscow 119454, Russia
[@]Corresponding author e-mail: mihailkos@mail.ru

With the constant dynamics of the complicated development of the designs of radio electronic products, the development of the ECB, the material and technical and production base of modern radioelectronic facilities, the previously applied reverse engineering methods and technologists become ineffective, and therefore knowledge of them can not fully form the New Implementation Strategy Reverse reaction. While the study and analysis of modern methods and means of prototyping of the Defense industrial complex.

In this work, methods and means of special design reverse engineering of the topology of multi-layer printed circuit boards and case integrated circuits are considered. The concept of reengineering repair of radioelectronic equipment in security and video surveillance is formulated. The presented basic technological processes of reverse engineering of the circuit configuration of printed-film radio electronic products based on various physical principles of destructive and non-destructive special design research: machining and chemical etching, optical scanning, radio vision, X-ray analysis. For the first time, a method of thermal imaging (electro-induction) analysis of printed circuit boards with multilayer topology is proposed. It is shown that reverse engineering allows not only to repeat the design in the form of a modification, but also completely to completely recreate the whole technological production cycle for the sample under study.

Keywords: special project reengineering, prototyping, technical counteraction, printing module, integrated microcircuit.

В связи с активным развитием Государственной целевой программы по импорто-замещению чрезвычайно важной стратегической задачей становится рациональная модернизация и активный контроль экономической безопасности ключевых секторов отечественной промышленности. В ней особая роль отводится развитию современных радиоэлектронных средств, технологиям их производства и противодействию спецпроектным реинжиниринговым исследованиям оригинальных изделий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), в том числе, поставляемых под экспортные заказы либо частично изготавливаемых импортным высокотехнологичным производством на базе российской технической документации, в исключительных случаях – по внешнеэкономической кооперации.

В то же время, принимая во внимание объем морально устаревшего радиоэлектронного оборудования и элементной компонентной базы (ЭКБ), находящихся в режиме долгосрочной эксплуатации, и ограниченного перечня импортной ЭКБ, допущенной ОПК, возрастает необходимость активной модернизации и, если потребуется, продления жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры. Это требует подготовки квалифицированных специалистов, умеющих модернизировать существующее радиоэлектронное оборудование, в том числе специального назначения (особенно в тех случаях, когда конструкторская документация утрачена или недоступна), и создания высокотехнологичных реинжиниринговых центров, оснащенных современными лабораториями с высокоточным оборудованием системного анализа, диагностики и прототипирования.

Продление жизненного цикла изделий представляет собой системный порядок действий и инструкций по разработке и внедрению методов и технологий, позволяющих в кратчайшие сроки:

- локализовать неисправность устройства;
- провести функциональное тестирование;
- определить надежность изделия;
- подобрать замены неисправным элементам на современном технологическом уровне;
- устранить отказ изделия;
- создать его усовершенствованный аналог-прототип даже в случае отсутствия рабочей документации;
- разработать и предусмотреть конструкторско-технологические меры на этапе проектирования и производства изделия по противодействию методам и средствам реверсного инжиниринга.

1. Концептуальный подход реинжиниринговой модернизации изделий в аспектах отраслевой экономической безопасности

В настоящее время при модернизации радиоэлектронного производства в условиях ускоренного инновационного развития возникает спрос на реинжиниринговые услуги по оригинальному проектированию и созданию изделий и технологий их производства, а также усовершенствованию производственных линий на базе отечественных и зарубежных технических решений. Технологии высокоточного производства усложняются, приобретая комплексный характер, что, в свою очередь, усиливает спрос на специфическую деятельность, связанную с развитием процесса разработки новых методов экспертного реинжиниринга.

Перспектива полной технологической независимости от зарубежных поставщиков еще трудно реализуема, так как импортные инновационные технологии являются мощным ресурсным объектом закрытой интеллектуальной собственности и защищены проектно-техническими приемами реверсного противодействия, в том числе, исключающего возможность легкодоступного прототипирования: известно, что реинжиниринг способен не только повторить конструкцию изделия, но и даже полностью воссоздать весь технологический цикл производства по исследуемому образцу.

Чтобы усилить конкурентные позиции отечественных производителей, особенно в части ОПК, необходимо обеспечить также внедрение и эффективную защиту оригинальных инженерных решений и технологий, составляющих объект не только интеллектуальной собственности, полагая, что «*know-how*», воплощенное в изделие, можно защитить через спецпроектные концептуальные решения реинжинирингового противодействия. Это обуславливает необходимость разработки научного подхода в области методов и средств реинжиниринговых исследований.

Определение уровня развития радиоэлектронной промышленности в части запатентованных решений может осуществляться посредством изучения документов международных патентных архивов. Однако опыт целого ряда технических решений, по какой-либо причине недоступных или мало изученных, можно свободно позаимствовать за счет применения реверсного инжиниринга образца изделия, приобретенного на абсолютно правовых основаниях. Важно отметить, что с точки зрения защиты интеллектуальной собственности реверсный инжиниринг является спорным предметом правового поля, так

как воссоздание точной копии изделия явным образом нарушает авторское право. Однако безлицензионные реверсинжиниринговые специсследования в части анализа продукции, в том числе импортного производства, с последующим созданием нового модернизированного изделия, не повторяющего в точной копии оригинал исследуемого образца, а лишь учитывающий детали и взаимосвязи в нем, не является нарушением прав интеллектуальной собственности. Напротив, они активно влияют на стимулирование рационализаторских конструкторско-технологических решений, развитие новых методов проектирования и технологий в производстве, в понимании методов спецпроектного анализа. Они позволяют строить собственную отечественную модель противодействия реверсному инжинирингу, тем самым сохраняя недоступным воссоздание функциональных изделий, не говоря уже о технологиях, реализующих их оригинальное исполнение.

Концептуальный подход спецпроектного реинжиниринга начинается с экспертного технического исследования образца готового изделия либо системного процесса и разворачивается обратным ходом в логическом порядке для выявления производственных технологий. Он представляет собой процесс модернизационного прототипирования изделия по функционально-логическим, физическим и объемно-топологическим характеристикам путем многопараметрического исследования, измерения и системно-целевой диагностики конструктивных элементов для разработки технических данных в зависимости от условий эксплуатации и новых требований к прототипному выпуску.

Таким образом, концептуальная стратегия спецпроектных исследований нацелена на создание нового усовершенствованного прототипного изделия, его параметрическое исследование и диагностику, обеспечивающих повышение надежности, развитие новых технических решений и технологий. Она не противоречит нарушению прав патентообладателей и не преследует цель копирования изучаемого образца. В то же время исследования в области реинжиниринга и спецпроектной диагностики играют ключевую роль в обеспечении информационно-технической безопасности радиоэлектронной аппаратуры [1], реализуемой на базе импортной ЭКБ, в том числе военного назначения. Они преследуют цель идентификации элементов и электрических цепей, реализующих программно-аппаратные решения закладных средств радиотехнической разведки (РТР) и внутри-системной радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

2. Реинжиниринг радиоэлектронных изделий с многослойной печатной топологией

Характер, сложность многослойного топологического исполнения изделий печатных плат и необходимость в нем определяются выбором способа обработки сигналов, типом конструкции и интеграцией ЭКБ, рядом массогабаритных, теплофизических и радиочастотных параметров схемотехнической архитектуры радиоэлектронного устройства.

Хорошо известно, что в радиоэлектронике разделяют три подхода в решении задач обработки сигналов: аналоговая, цифровая и аналого-цифровая обработка. При этом аналоговая обработка является исключительно аппаратным способом, состоящим в применении радиоэлектронных элементов и устройств, использующих различные физические принципы, явления и свойства материалов, в то время как цифровая обработка реализуется посредством универсальной программно-аппаратной алгоритмизации, динамично

осваивающей более высокочастотную область радиочастотного спектра. Такой подход в области активного применения средств цифровой обработки сигналов приводит к миниатюризации и типизации создания ЭКБ на базе ТТЛ- и КМОП-логики: микропроцессоров, контроллеров и ПЛИС. Это, безусловно, положительно влияет на унификацию технологии процессов от серийного до массового производства, с одной стороны, но является негативным фактором в развитии обеспечения технического противодействия реинжиниринговым исследованиям печатных модулей - с другой [2]. Данный фактор мотивируется тем, что экспертный реинжиниринг многослойных печатных плат (МПП) способен не только послойно повторить оригинальность топологии рисунка, но и – с высокой степенью вероятности – полностью воссоздать принципиальную схему радиоэлектронного узла. При этом наличие печатной платы в сборе с электроэлементной базой является не обязательным условием, поскольку типизация посадочных мест ЭКБ с определяемым числом выводов, топологией цепей обвязки по питанию, сигнальных шин, посадочных мест под дискретные элементы позволяют практически безошибочно идентифицировать и констатировать принадлежность печатного узла к конкретному функциональному типу изделия по разводке МПП. Важно отметить, что функциональная идентификация печатных модулей по топологии является ключевым моментом в обеспечении технических мер противодействия при их изготовлении в условиях зарубежного высокотехнологичного производства в любом формате внешнеэкономической кооперации.

Разделяют следующие методы спецпроектного реинжиниринга многослойных печатных модулей: разрушающие и неразрушающие.

К разрушающим методам реинжиниринга МПП относится послойная механообработка образца шлифованием (рис. 1). Технология полного разрушающего реинжиниринга не гарантирует отсутствия повреждений топологии МПП при плотной разводке, потому не является прогрессивной и применяется только в особых случаях, когда исключается эффективность применения методов неразрушающего спецпроектного реинжиниринга, позволяющего восстанавливать топологию с применением косвенных методов экспертного анализа: оптического сканирования, тепловизионный (электроиндукционный), радиоволновый, рентгеновский [3].

Метод оптического сканирования является эффективным методом восстановления топологии печатного рисунка при помощи светового сканера, однако ограничивается применением только на двухсторонние печатные платы и чаще применяется в сочетании с методом механического шлифования для МПП. Восстановленный при помощи ПО Mentor Graphics прототип образца четырехслойной платы (см. рис. 1) представлен на рис. 2.

Тепловизионный метод реинжиниринга МПП отличается простотой реализации и заключается в электроиндукционном нагревании МПП высокочастотным током малой мощности до 30 МГц ближним полем плоского электромагнитного индуктора. По сравнению с индукционным нагревом, применяемым для разогрева электропроводящих материалов (медных проводников) переменным током частотой не более 30 МГц, диэлектрический нагрев проводится обычно с использованием более высоких частот, свыше 100 МГц. Поэтому топология МПП, идентифицируемая графическим тепловизором, имеет четко очерченные контуры печатного рисунка в каждом слое и в явном виде выделяется на фоне диэлектрического основания (рис. 3). Кроме того, в отдельных случаях, в качестве деталь-

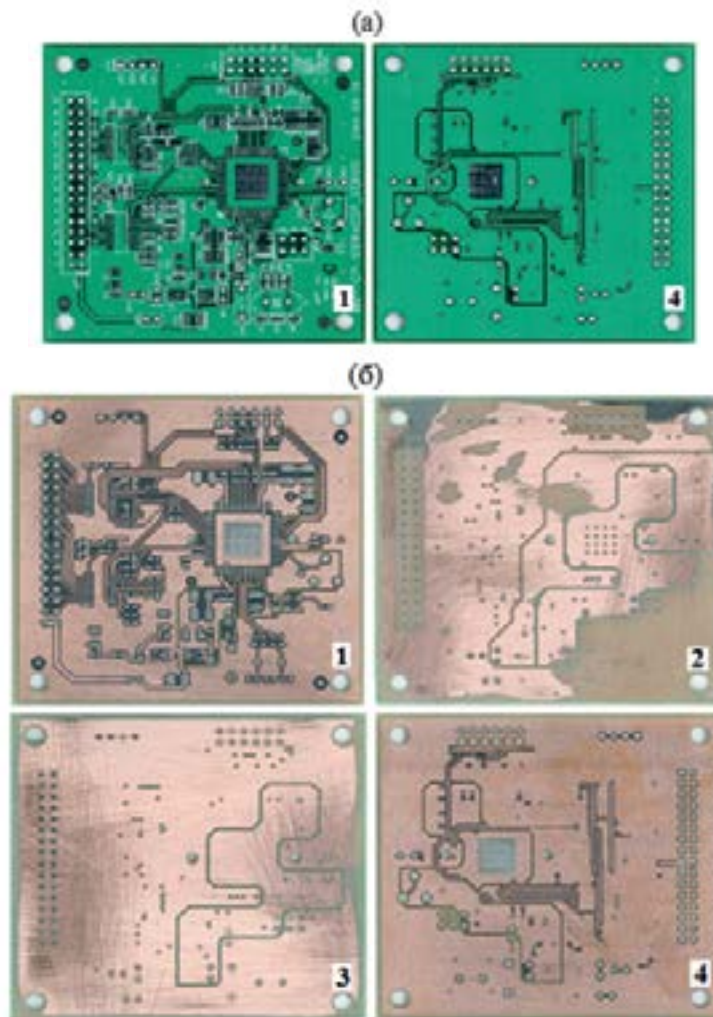


Рис. 1. Реинжиниринг четырехслойной МПП методом послойной механообработки образца печатной платы шлифованием:
а – образец МПП; б – оттиски топологии печатных слоев.

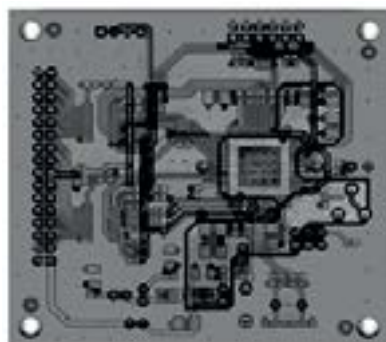


Рис. 2. Послойный прототип топологии образца МПП.

ного рассмотрения фрагментарных элементов топологии может быть использован метод нагревания печатных проводников постоянным током малой мощности.

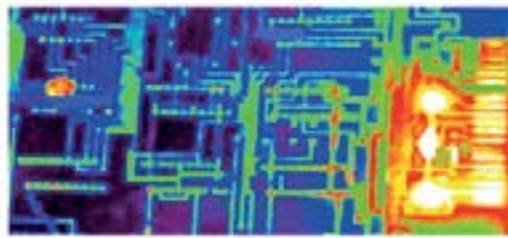


Рис. 3. Тепловизионный портрет печатной топологии образца МПП.

Радиоволновый и рентгеновский методы так же, как и тепловизионный, относят к прогрессивным реинжиниринговым методам неразрушающего прототипирования топологии печатного рисунка МПП. Радиоволновый метод основан на принципах регистрации распределения электромагнитного поля в ближней зоне Френеля при помощи средств графической радиовизуализации (радиовидения) при возбуждении элементов печатной топологии электромагнитным полем сверхвысокочастотного диапазона. Рентгеновский метод является самым точным и обеспечивает послойную регистрацию МПП в двух координатных плоскостях с управляемой глубиной облучения (рис. 4).

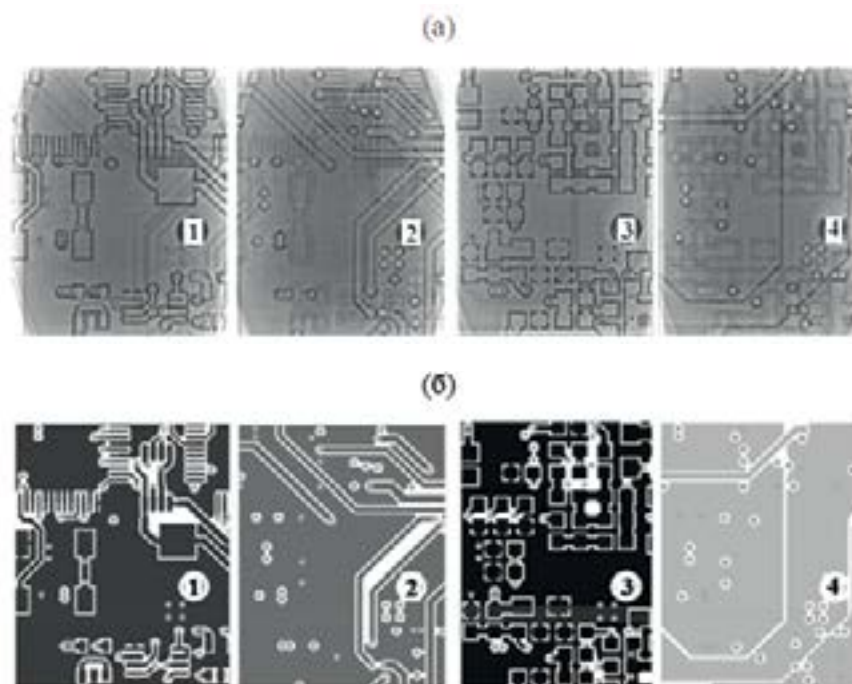


Рис. 4. Рентгенографический анализ фрагментарного образца четырехслойной печатной платы: а – послойные рентгенограммы МПП; б – восстановленная топология в ПО Mentor Graphics.

3. Реинжиниринг корпусных пленочных интегральных микросборок

Реинжиниринг интегральных микросхем (ИМС), как и в случае с реинжинирингом МПП, заключается в воссоздании печатной топологии электрической схемы ИМС. Прототипирование топологии сложной микросхемы ускоряет процесс разработки нового интегрального изделия с улучшенными характеристиками по времени на порядки ввиду уменьшения затрат на создание нового электронного устройства. Так, реинжиниринг

корпусных ИМС с технологией по разрешению не менее 1 мкм и числом эквивалентных вентилях на кристалле до 3000 позволяет менее, чем за полгода полностью воссоздать не только топологию ИМС, но и ее электрическую принципиальную схему. Последняя отличается рядом улучшенных характеристик, например, по мощности и надежности выходных каскадов в более жестком климатическом исполнении и т.д. [4].

Прототипирование принципиальной схемы осуществляется путем исследования и сопоставления кристаллографических изображений с типовыми решениями изготовления элементов на подложке ИМС при последовательном травлении слоев металлизации. В качестве слоя металлизации может выступать, например, алюминий, каждый слой которого разделяется диоксидом кремния. Если топология и структура транзисторов в пленочном исполнении при микровизионном исследовании не очевидна, на кристалле подложки ИМС производится дополнительно поперечный срез.

В отличие от реинжиниринга МПП, где существует возможность применения неразрушающих методов исследования макротопологии, спецпроектный реинжиниринг макротопологии изделий корпусных ИМС осуществляется только при помощи разрушающих методов: механического фрезерования и послойного химического травления, шлифования и послойного химического травления. По существу, выбор метода деконструкции ИМС определяется типом материала, из которого состоит ее корпус: пластиковый (полимерный), керамический (металлокерамический) или металlostеклянный.

Процесс механообработки корпусных ИМС служит в качестве подготовительной операции технологического процесса травления, обеспечивая предварительное истончение активной зоны травления, а для составных шовных корпусов из полимеров является единственным шагом к началу проведения микровизионного исследования топологии.

Технологический процесс послойного химического травления заключается в удалении части материала корпуса при помощи концентрированного раствора серной и азотной кислот при температуре около +100 °С, потому требует соблюдения всех норм обеспечения техники безопасности. При этом серная кислота участвует в основном процессе травления, а азотная – только подтравливает побочный продукт образования углеродистых масс от реакции материала корпуса ИМС с серной кислотой (рис. 5).



Рис. 5. Реинжиниринг макротопологии изделий корпусных ИМС:
а – механообработка корпуса; б – химическое травление корпуса.

На рис. 6 приведены фотографические материалы микровизионного исследования образцов ИМС методом фрезерования и послойного химического травления. На фотографических снимках можно четко увидеть очерченные контуры типовых решений тонкопленочного формирования эквивалентных вентилях и цепей периферической обвязки на базе КМОП-логики.

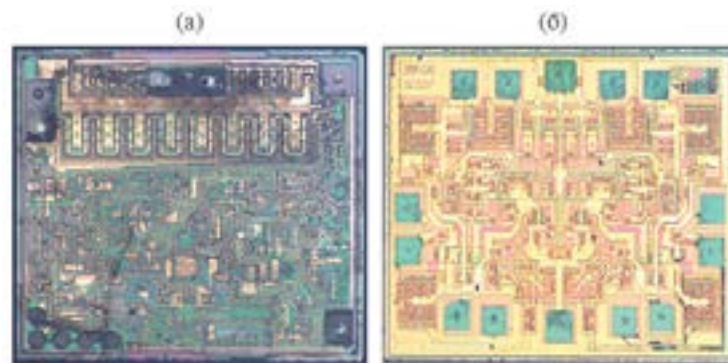


Рис. 6. Микротопологии образцов изделий корпусных ИМС:
а – восьмиразрядный сдвиговый регистр; б – микроконтроллер.

Заключение

Нынешние технологии производства печатных плат и интегральных микросхем усложняются, приобретая комплексную и регулярную микроминиатюризационную направленность, что, в свою очередь, усиливает спрос на специфическую деятельность, связанную с развитием процесса разработки новых способов экспертного реинжиниринга – параметрического прототипирования. Действительно, концептуальная стратегия спецпроектных реинжиниринговых исследований направлена на создание нового усовершенствованного прототипного изделия, а также параметрическое исследование и диагностику с целью повышения его надежности и т.д. Однако проводимые исследования в области реинжиниринга и спецпроектной диагностики играют не менее важную ключевую роль в обеспечении информационно-технической безопасности радиоэлектронной аппаратуры, поскольку без знания способов обратного инжиниринга невозможна эффективная организация его активному противодействию.

Отсюда анализ современных методов и средств спецпроектного прототипирования конструкций радиоэлектронных изделий, рассмотренных в работе, а также идентификация особенностей технологии их производства и номенклатуры ЭКБ позволяют выработать комплекс технических мер противодействия спецпроектным исследованиям, исключая преднамеренное копирование и, тем самым, обеспечивая подлинную оригинальность изделий, выпускаемых радиоэлектронной промышленностью в составе ОПК.

Литература:

1. Магомедов Ш.Г. Оценка степени влияния сопутствующих факторов на показатели информационной безопасности // Российский технологический журнал. 2017. Т. 5. № 2. С. 47–56. [Электронный ресурс]. – URL: https://rtj.mirea.ru/upload/medialibrary/641/rtzh_2_2017_47_56.pdf.
2. Keng Tiong Ng. The art of PCB reverse engineering (standard edition): Unravelling the beauty of the original design. USA: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015. 372 p.
3. Guo Z., Tehranipoor M., Forte D., Di J. Investigation of obfuscation-based anti-reverse engineering for printed circuit boards // Proceed. of the 52nd Annual Design Automation Conf. (DAC). San Francisco, CA, USA. June 8–12, 2015. N.Y.: IEEE, 2015. P. 93–98.
4. Torrance R., James D. The state-of-the-art in IC reverse engineering // Cryptographic Hardware and Embedded Systems (CHES). Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. V. 5747. P. 363–381.

УДК 678.4 + 004.9

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И.В. Веселов, профессор

Ю.А. Гамлицкий, доцент

*Кафедра химии и технологии переработки эластомеров им. Ф.Ф. Кошелева,
Московский технологический университет (Институт тонких химических технологий
им. М.В. Ломоносова), Москва 119571, Россия,
ООО НПКЦ ВЕСКОМ, Москва 105118, Россия*

@Автор для переписки, e-mail: gamlit48@mail.ru

В предлагаемой работе изложен инженерный метод моделирования и оптимизации на примере технологического процесса (ТП) создания шин. Предлагается новый вид целевой функции, который позволяет практически полностью определять оптимальные параметры ТП. Связь каждой выходной характеристики готового изделия с параметрами ТП записывается в виде полного уравнения регрессии второй степени. Все выходные характеристики делятся на три группы: 1) ограниченные снизу; 2) ограниченные сверху; 3) ограниченные сверху и снизу. Для каждой группы записано выражение, которое стремится к нулю при улучшении значения данной выходной характеристики. Сумма этих трех выражений представляет собой значение целевой функции, которая тем меньше, чем в большей степени удовлетворяются пожелания заказчика продукции. В случае большого числа показателей используют численные алгоритмы нахождения минимума функции многих переменных (покоординатный спуск, градиентный спуск, скорейший спуск и др.), которые реализуются с использованием ЭВМ. Изложенный подход апробирован на опытном шинном заводе НИИШП. Осуществлен отбор наиболее важных показателей, характеризующих ТП шинного производства; составлены программы для ЭВМ. С целью отработки и апробации изложенного подхода, контроля и управления технологическим качеством проведены исследования на участке, включающем процесс заготовки деталей, сборки шин и их вулканизации. Выполнены измерения показателей ТП и выходных характеристик для партии из двухсот шин. Обработка полученных данных подтвердила работоспособность изложенной методологии.

Ключевые слова: моделирование, оптимизация, уравнения регрессии, целевая функция, технологический процесс, шинное производство.

ENGINEERING METHOD OF MODELING AND OPTIMIZATION OF CHEMICAL-TECHNOLOGICAL PROCESSES

**I.V. Veselov,
Y.A. Gamlitskiy**

*Moscow Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies),
Moscow 119571, Russia,*

Research and Production Commercial Centre VESKOM, Moscow 105118, Russia

@Corresponding author e-mail: gamlit48@mail.ru

In the proposed work, the engineering method of modeling and optimization will be described using the example of tire development and rubber products. A new kind of objective function is proposed that allows to determine almost completely optimal technological process parameters (including properties of raw materials and raw materials) taking into account the robustness. Examples of application of the proposed method are given.

Keywords: modeling, optimization, regression equations, objective function, technological process, tire production.

Общая постановка проблемы оптимизации достаточно детально описана в литературе [1 – 4]. Об оптимизации в механике шин говорится в монографии [5], где имеется краткий раздел «Модели оптимального проектирования пневматической шины».

С точки зрения технологии производства, качество продукции будет обеспечено, если: 1) все параметры, существенно влияющие на качество продукции, включены в перечень контролируемых параметров; 2) контролируемые параметры находятся в требуемых пределах.

В качестве важного критерия, который следует учитывать при оценке оптимальности технологического процесса (ТП), является его робастность [6]. Это понятие, введенное Тагути, характеризует устойчивость уровня выходных характеристик к отклонениям от оптимума параметров ТП, свойств материала, размеров деталей и их положений в готовом изделии и т.д. Количественно робастность связана с отношением «сигнал/шум», максимизация которого при достижении номинального значения параметра качества и называется робастным режимом. Использование критерия робастности неотрывно связано с общей статистической системой обеспечения качества [7].

В предлагаемой работе инженерный метод моделирования и оптимизации будет изложен на примере разработки шин и РТИ. Предлагается новый вид целевой функции, который позволяет практически полностью определять оптимальные параметры ТП (включая свойства исходного сырья и материалов) с учетом робастности.

Для такого сложного в технологическом и конструктивном плане изделия, как шина, процесс производства которого начинается с обработки разнородного сырья и материалов (каучук, технический углерод и другие наполнители, химикаты более чем 20 наименований, корд, бортовая проволока и др.) и включает в себя множество переделов (смешение материалов с целью изготовления сырой резины, пропитка и обрезинивание корда, заготовка деталей шины, многостадийный процесс сборки шины, формование, вулканизация и др.), количество контролируемых и регулируемых параметров N измеряется сотнями.

Для каждого из них установлены нормы A_i ($i = 1, 2 \dots, N$) и допустимые отклонения от норм – допуски ΔA_i . Как правило, значения A_i и ΔA_i устанавливаются эмпирически.

Число показателей M , характеризующих качество готового изделия, существенно меньше около 10. Сюда входят показатели B_j ($j = 1, \dots, M$) – масса шины, габариты, жесткостные характеристики, значения максимальной нагрузки на шину и максимальной скорости, сцепные свойства, потери на качение, гарантийный пробег, показатели шума, силовой и геометрической однородности, комфортности и проч. Допуски на эти показатели ΔB_j определяются требованиями заказчика, конъюнктурой рынка и существенно влияют на конкурентоспособность изделия.

Очевидно, что не все из N показателей A_i , характеризующих ТП изготовления шин, одинаково существенно влияют на M показателей B_j , характеризующих качество готового изделия. Встает задача выбора из N показателей N^* , наиболее важных для получения качественного изделия. Эту задачу можно решить тремя способами [8].

Первый способ – метод экспертных оценок. Он состоит в том, что наиболее квалифицированные специалисты в данной области знаний, основываясь на своем опыте, объявляют некоторые показатели из всех имеющихся наиболее важными, считая при этом, что остальные показатели могут рассматриваться как фоновые, шумовые, влияние которых на качество продукции не превышает некоторого допустимого значения.

Второй способ можно назвать «из первых принципов». Здесь используются результаты фундаментальных исследований (теоретических, экспериментальных, компьютерных), позволяющие получать аналитические соотношения между параметрами ТП, включая свойства сырья, материалов и полуфабрикатов, образующихся в процессе производства, и показателями, характеризующими качество готовой продукции – шины. Из анализа этих соотношений нетрудно определить наиболее значимые параметры.

Наконец, третий способ отбора N^* наиболее значимых показателей из общего их числа N состоит в применении статистических методов [9, 10]. Если для достаточно большого числа однородной продукции (шин одного размера и модели, с использованием одинаковых материалов и технологии изготовления) измерить значения A_i всех N показателей, то известные математические и статистические приемы позволят определить наличие корреляции между конкретными показателями ТП и параметрами качества шин, степень этой корреляции. Кроме этого, статистические методы позволяют проследивать стабильность работы оборудования, величину разброса измеряемых показателей в зависимости от различных факторов: объективных (качество сырья, температура и давление пара, степень изношенности оборудования и др.), и субъективных (мастерство сборщиков шин, аккуратность наладчиков оборудования и др.).

Все три описанных способа определения наиболее значимых показателей рекомендуется применять в комплексе. Вначале эксперты устанавливают предварительный перечень показателей, используя рекомендации, разработанные в результате проведенных научных исследований. Для этого предварительного перечня применяют статистические методы, в результате чего выявляется избыточность или недостаточность использованных показателей. При избыточности числа показателей отбрасывают наименее значимые. При недостаточности вновь собирают экспертов, которые решают, какие неучтенные ранее показатели ввести в рассмотрение. Таким образом, процесс повторяется до достижения оптимума.

Как уже отмечалось выше, оптимум может определяться разумным соотношением доли неучтенных (фоновых) факторов и сложностью организации автоматизированного измерения контролируемых параметров. (Безусловно, контроль всех N возможных параметров был бы идеальным решением проблемы, но, очевидно, это дорого).

Изложим кратко некоторые математические соотношения, позволяющие установить количественную связь между критериями качества шин и параметрами ТП.

Проблема выбора адекватной регрессионной модели ТП достаточно подробно описана в литературе [11, 12]. Отметим лишь, что наиболее часто используют степенные зависимости, начиная с наиболее простой линейной модели без учета взаимодействия параметров. Это во многих случаях оказывается оправданным, если колебания ΔA_i малы по сравнению с величинами A_i .

Однако для решения статистическими методами задач оптимизации уравнения регрессии должны содержать не только линейные члены. Это требование обусловлено следующими очевидными соображениями. Многие показатели качества шины имеют экстремальный характер. Например, дисбаланс шины ухудшается при отклонениях длины протектора от оптимального значения как в одну, так и в другую сторону. Следовательно, указанная зависимость не может быть линейной. Для ее описания требуется полином не менее, чем второй степени. Если, кроме того, имеется влияние какого-либо параметра на показатели качества других параметров, то следует использовать члены с произведениями взаимосвязанных параметров.

Запишем уравнения для полиномиальной модели с учетом парных корреляций второй степени:

$$B_j = C_0 + \sum_{i=1}^{N^*} C_{ij} \cdot A_i + \sum_{i=N^*+1}^{2N^*} C_{ij} \cdot A_{i-N^*}^2 + \sum_{\substack{i=2N^*+1 \\ 0 < (p,q) \leq N^* \\ p < q}}^{N_r} C_{ij} (A_p \cdot A_q) \quad (1)$$

($j = 1, 2, \dots, M$),

C_{ij} – численные коэффициенты, подлежащие определению.

Нетрудно показать, что соотношение для числа коэффициентов N_c имеет вид:

$$N_r = N_c - 1 = N^* \left(2 + \frac{N^* - 1}{2} \right) \quad (2)$$

Чтобы решить каждое из M уравнений (1), т.е. найти коэффициенты C_{ij} , поступают следующим образом. Для L испытываемых изделий (в нашем примере шин) определяют показатели A_i ($i=1, \dots, N^*$) и B_j ($j=1, \dots, M$) и для каждой шины под номером s ($s=1, \dots, L$) записывают систему уравнений, линейных относительно C_{ij} :

$$B_j^{(s)} = C_0 + \sum_{i=1}^{N^*} C_{ij} A_i^{(s)} + \sum_{\substack{i=N^*+1 \\ 0 < p \leq N^*}} C_{ij} A_p^{(s)2} + \sum_{\substack{i=2N^*+1 \\ 0 < (p,q) \leq N^* \\ p < q}}^{N_r} C_{ij} A_p^{(s)} A_q^{(s)} \quad (3)$$

($s=1, \dots, L$).

Общее число испытанных шин L должно удовлетворять двум условиям:

1) L должно представлять существенную выборку (напомним, что существенной, или репрезентативной, считается такая выборка, все используемые моменты которой отличаются от моментов генеральной функции распределения не более, чем на некоторую допустимую величину [12]);

2) $L \gg N_c$.

Первое из указанных требований обусловлено необходимостью знания статистических характеристик (моментов) «случайных» величин A_i и B_j (среднее значение, дисперсия и т.д.), второе – необходимо для решения системы (3) с использованием метода наименьших квадратов [13].

Для определения C_{ij} требуется решить систему L линейных алгебраических уравнений. Так как L достаточно велико (до нескольких сотен), то необходимо использование компьютерных методов. На вычислительных подробностях здесь останавливаться не представляется возможным. Отметим лишь, что используемые методы в достаточной степени стандартны.

После определения коэффициентов C_{ij} осуществляется процедура контроля правильности их определения (достаточности показателей ТП, входящих в число N^*). При этом используются критерии экстремальности, симметрии и др. Например, если в соотношение (3) подставить «идеальные» значения показателей A_i , то соответствующая величина B_j должна стать экстремальной (если B_j – один из показателей силовой неоднородности шины, то $B_j \rightarrow 0$).

С помощью уравнений (3) может быть проведено сравнение теоретических предсказаний о степени и характере влияния тех или иных показателей ТП на качество шины с результатами статистического обобщения эксперимента. Могут быть определены пределы изменения A_i , при которых влияние A_i на B_j описывается линейной зависимостью. Те члены уравнения (3), которые имеют малые коэффициенты, могут в дальнейшем не учитываться, что упростит систему (3) за счет уменьшения числа членов.

Остановимся более подробно на практически важной проблеме установления допустимых значений ΔA_i колебаний параметров A_i , при которых колебания ΔB_j критериев выходного контроля качества B_j не будут выходить за пределы установленных норм.

В настоящее время существует и повсеместно используется система жестких норм контроля. Очевидно, что чем меньше разброс показателей ТП, тем более стабильными будут показатели, характеризующие качество готового изделия. Опыт показывает, что в рамках реального производственного процесса на шинных заводах редко можно обнаружить шину, в процессе изготовления которой не было нарушено ни одной нормы. Вместе с тем по результатам выходного контроля основная часть продукции удовлетворяет предъявленным требованиям. Это свидетельствует о том, что система жестких допусков (СЖД) не всегда адекватна качеству изделия.

Приведем наглядный пример. Допустим, масса заготовки протектора несколько ниже допустимого значения. Однако общая масса шины осталась в требуемых пределах за счет увеличения калибра обрешиненного металлокордного полотна и увеличения массы других деталей конструкции шины в допустимых пределах.

Пример иллюстрирует важность использования не жестких отдельных критериев и

их допусков, а системы связанных допусков (ССД), обеспечивающих требуемое качество изделия в целом. Использование ССД потребует в рамках автоматизированного шинного производства осуществление контроля не только «внешних» параметров (давление, температура, калибры и т.п.), но и свойств материалов-полуфабрикатов. Для приведенного выше примера о компенсации массы шины это означает, что потребуются показатели, характеризующие, например, зависимость вероятности отслоения протектора от брекера от колебаний размеров последних при эксплуатации шины.

Использование ССД имеет еще одно важное преимущество перед СЖД. Если в СЖД нарушение одного из допусков в процессе производства автоматически приводит к отбраковке данного изделия, то в ССД остается возможность оперативного вмешательства в дальнейший ТП с целью исправления (компенсации) создавшегося положения. Такая компенсация возможна исключительно на основе высокоавтоматизированного производства с компьютеризацией на всех уровнях, причем выработка управляющего сигнала (рекомендации) должна осуществляться быстро, в масштабах реального времени.

Вернемся к соотношениям (1) и посмотрим, как на их основе создать ССД. После определения коэффициентов C_{ij} будем считать переменными величинами A_i . Используем то обстоятельство, что величины B_j имеют экстремальный характер. Тогда задача подбора величин A_i сводится математически к решению системы уравнений для частных производных B_j по A_i :

$$\frac{\partial B_j}{\partial A_i} = 0, \quad (i = 1, \dots, N^*; \quad j = 1, \dots, M) \quad (4)$$

Из уравнений (4) определяются оптимальные значения $A_{i \text{ opt}}$, при которых критерии качества B_j являются наилучшими – $B_{j \text{ opt}}$ (Мы здесь опускаем вопрос о возможности существования нескольких экстремумов при близких значениях A_i). Подчеркнем, что найденные решения уравнений (4) можно назвать оптимальными только для данного показателя B_j . Это не значит, что при решении комплексной задачи оптимизации всего ТП значения $A_{i \text{ opt}}$ не изменятся. Полное решение задачи оптимизации приведено ниже.

Понятно, что отклонение ΔA_i от $A_{i \text{ opt}}$ приведет к изменению B_j на ΔB_j . Максимально допустимые отклонения показателей, характеризующих качество шины, $\Delta B_{j \text{ max}}^1$ будем считать заданными. Возникает вопрос: каково максимальное значение $\Delta A_{i \text{ max}}$, при котором оптимальное значение $B_{j \text{ opt}}$ изменится на величину, не превышающую $\Delta B_{j \text{ max}}$?

Ответ можно получить, воспользовавшись уравнениями (1). Будем считать переменными все A_i , кроме одной с номером q , для которой зададим некоторое значение $A_q = A_{q \text{ opt}} + \Delta A_q$. Далее, как и прежде, решим систему уравнений для производных, аналогичную системе (4) и найдем все значения $A_{i \text{ opt}} (i \neq q)$, удовлетворяющие условию экстремальности B_j при некотором фиксированном значении A_q . Повторив описанную процедуру для разных значений A_q , получим ряд значений B_j . Из обработки полученных данных методом интерполяции нетрудно найти $\Delta A_{q \text{ max}}$, при котором $\Delta B_j = \Delta B_{j \text{ max}}$.

¹При использовании термина «максимальный» имеется в виду, что отклонения могут быть как со знаком «+», так и со знаком «-».

Поступив подобным образом для всех N^* показателей A_i , найдем для каждого из них максимально допустимые отклонения, при которых качество изделия останется в допустимых пределах.

Приведенные рассуждения можно повторить не для одного, а для зафиксированных значений двух, трех, и т. д. показателей A_i . При этом можно рассчитать требуемые значения остальных A_i , при которых качество шины будет наилучшим.

Смысл изложенного следующий. На основе приведенных уравнений можно рассчитать $A_{i\text{opt}}$ и $\Delta A_{i\text{max}}$, удовлетворяющие требованиям качества готового изделия. После прохождения того этапа ТП, где контролируются A_i , мы имеем реальное значение A_i . Зная это реальное значение, рассчитывается допустимое отклонение $\Delta A_{2\text{max}}$ на втором этапе, которое зависит от A_i . После прохождения второго этапа рассчитывается допустимое отклонение $\Delta A_{3\text{max}}$ при фиксированных A_2 и A_3 и т. д. В этом и состоит смысл системы связанных допусков.

Отметим еще раз, что применение ССД возможно только в условиях автоматизированного производства при наличии системы измерения A_i и передачи данных в компьютерную сеть. При наличии обратной связи (регулирование параметров ТП A_i по командам управляющего компьютера) ССД позволяет контролировать качество и управлять им не только для партии шин, но и для каждой отдельной шины.

Теперь обратим внимание на важную специфику шинного производства. Весь ТП условно можно разделить на две части. Первая – изготовление материала (резина и резинокордное полотно), вторая – заготовка деталей, сборка и вулканизация изделия. Преимущество такого разделения в том, что при удовлетворительных значениях показателей свойств материалов можно сделать вывод об общем удовлетворительном состоянии всего ТП до стадии заготовки деталей и сборки. Такой прием называется декомпозицией [5].

Еще одно преимущество декомпозиции заключается в возможности введения промежуточных критериев качества, характеризующих свойства материалов, идущих на изготовление шин. Общая задача сквозного учета влияния всех контролируемых параметров на качество шины делится на две математически сходные, но по числу параметров (и, соответственно, уравнений) существенно более компактные подзадачи, требующие меньшего времени на их решение.

Эти две подзадачи, сходные по методам их решения, различаются по набору контролируемых параметров A_i . На втором этапе практически весь контроль сводится к определению геометрических размеров. На первом же этапе необходимо контролировать свойства материалов.

Перейдем к описанию процедуры оптимизации всего ТП. Работа над новым изделием начинается с определения его целевой функции (или функционала) R . Показателями B_i ($i = 1, \dots, M$), от которых зависит R , являются выходные характеристики – масса шины, габариты, жесткостные характеристики, значения максимальной нагрузки на шину и максимальной скорости, сцепные свойства, потери на качение, гарантийный пробег, показатели шума, силовой и геометрической однородности, комфортности и проч. Сюда же входит и цена шины.

Показатели B_i зависят от переменных A_j ($j = 1, \dots, N$), которыми являются варьируемые параметры, характеризующие конструкцию шины и свойства ее материалов.

Задача состоит в нахождении величин A_j , обеспечивающих оптимальные значения величин B_i . В качестве критерия оптимизации предлагается функционал следующего вида:

$$R = \sum_{i=1}^{m_1} \left(\frac{B_i^{\text{расч}} - B_i^{\text{треб}}}{\Delta B_i} \right)^{n_i} + \sum_{i=m_1+1}^{m_2} \left(\frac{B_i^{\text{min}}}{B_i^{\text{расч}}} \right)^{n_i} + \sum_{i=m_2+1}^{m_3} \left(\frac{B_i^{\text{расч}}}{B_i^{\text{max}}} \right)^{n_i} \quad (5)$$

Здесь:

m_3 – общее число показателей оптимизации,

m_1 – число показателей, входящих в m_3 и ограниченных сверху и снизу,

$m_2 - m_1$ – число показателей, входящих в m_3 и ограниченных снизу,

$m_3 - m_2$ – число показателей, входящих в m_3 и ограниченных сверху,

$B_i^{\text{треб}}$ – середина интервала требуемых значений i -го показателя,

B_i^{max} – максимальное значение i -го показателя,

B_i^{min} – минимальное значение i -го показателя

ΔB_i – полуширина интервала требуемых значений i -го показателя,

n_i – чётные числа, определяющие форму области допустимых значений показателей B_i .

Выражение (5) отличается от большинства известных тем, что он имеет аналитический вид, не требующий применения дополнительных ограничений. Первый член выражения (5) описывает показатели, ограниченные и сверху, и снизу. Например, длина заготовки протектора, ширина брекера и другие геометрические размеры. Второй член описывает показатели, ограниченные снизу. К ним относятся: число километров до разрушения каждой детали (это могут быть разные величины с учетом, например, многократного восстановления протектора), сцепные свойства. Третий член описывает показатели, ограниченные сверху. Например: потери на качение, силовая и геометрическая неоднородность, масса, шумообразование, вибрация.

Кроме указанных, могут быть показатели, не имеющие количественного выражения. Например: внешний вид, комфортность при езде, экологическая безопасность, способность к утилизации. Для них может быть использована балльная оценка, сводящая данные показатели к описанным трем типам.

Задача оптимизации будет решенной, если будут выполнены неравенства

$$\begin{aligned} \frac{B_i^{\text{расч}} - B_i^{\text{треб}}}{\Delta B_i} &\leq 1 \quad (i = 1, \dots, m_1) \\ \frac{B_i^{\text{min}}}{B_i^{\text{расч}}} &\leq 1 \quad (i = m_1 + 1, \dots, m_2) \\ \frac{B_i^{\text{расч}}}{B_i^{\text{max}}} &\leq 1 \quad (i = m_2 + 1, \dots, m_3) \end{aligned} \quad (6)$$

Существенно, что условия (6), как правило, выполняются автоматически при надлежащем выборе n_i , а также допустимых отклонений ΔB_i и ограничений B_i^{max} , B_i^{min} . Чем больше n_i , тем ближе R к нулю внутри области допустимых значений и тем быстрее возрастает за границами этой области.

Для небольших значений m_3 минимум R находится простым перебором всех возможных вариантов с определенным шагом, не превышающим точность измерения соответствующих показателей. Для числа факторов $m_3 > 5$ используют различные алгоритмы нахождения минимума функции многих переменных (см., напр., [1, 2]).

Изложенный подход был апробирован на опытном шинном заводе НИИШП [14]. На основе экспертных оценок проведен отбор наиболее важных показателей, характеризующих ТП шинного производства, в том числе показателей, характеризующих свойства резин и резинокордных деталей конструкции шины. Разработаны регрессионные модели, составлены программы для ЭВМ. Для отработки и практической проверки изложенного подхода к контролю и управлению технологическим качеством в рамках автоматизированного шинного производства проведены исследования на участке, включающем процесс заготовки деталей, сборки шин, их вулканизации. Для партии около двухсот шин проведены измерения как показателей ТП, так и критериев их качества. Обработка данных показала, что изложенная методология работоспособна. Выявлены показатели, наиболее сильно влияющие на качество шин. Показана возможность оценки стабильности работы заготовительного и сборочного оборудования. Указаны «узкие» места и пути совершенствования производства с целью управления качеством.

С использованием изложенного метода были решены и другие практические задачи оптимизации, представляющие собой информацию для служебного пользования.

Литература:

1. Гончаров В.А. Методы оптимизации. М.: Высшее образование, 2009. 191 с.
2. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. Учебное пособие. 2-е изд. М.: Физматлит, 2005. 368 с.
3. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ., Л.: Судостроение, 1980. 384 с.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
5. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. М.: Химия, 1988. 224 с.
6. Barker B. Quality engineering by design Taguchi's philosophy // Quality Progress. – 1986. December. P. 32–49
7. Калита П.Я. Технология обеспечения качества по обратным связям // Стандарты и качество. 1989. № 1. С. 56–58.
8. ИСО 9000. Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества. 1987.
9. Соколовская Ф.М., Яшунская Ф.И. Управление качеством продукции резиновой промышленности. М.: Химия, 1982. 156 с.
10. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
11. Дрейлер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Зарубежные статистические исследования. М.: Статистика, 1973. 392 с.
12. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 232 с.

13. Демидович В.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы. 1969. 660 с.

14. Швачич М.В., Мудрук В.И., Попов В.Ф., Гамлицкий Ю.А., Басс Ю.П. Статистический анализ формирования силовой неоднородности шин // В кн.: Проблемы шин и резинордных композитов. Тринадцатый симпозиум. Т. 2. М., 14–18 окт. 2002 г., с. 141–147.

УДК 172

**ВЛИЯНИЕ НАВРСТВЕННЫХ ЦЕННОСТЕЙ НА УСПЕШНОСТЬ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ
XIX–XX вв.)**

Е.В. Гладышева, к. филос. н., доцент

Московский технологический университет, Москва 119454, Россия

@Автор для переписки, e-mail: evgladysheva@mail.ru

Работа посвящена проблеме влияния нравственных ценностей на успешность экономической деятельности. Показана актуальность данной темы в современном российском обществе, стремящемся к инновационному развитию. Ее практическое применение проиллюстрировано примерами из педагогической и воспитательной работы преподавателей кафедры философии, социологии и политологии со студентами Московского технологического университета. Рассмотрена деятельность крупных российских предпринимателей XIX–XX вв. в сочетании с их нравственными ценностями и социальной ответственностью. Показана зависимость успешных экономических инноваций от нравственных принципов. Подчеркивается, что духовно-нравственные основания отечественных предпринимателей помогали не только процветанию их собственного дела, но и развитию отечественной науки и техники, искусства, социальной сферы. Российские купцы являлись творческими личностями, создававшими новое. Владение твердыми нравственными ценностями, воспитываемыми христианской культурой, несомненно, помогало продуктивному творческому (инновационному для того времени) созиданию. Автором сделан вывод, что такие качества российских купцов XIX–XX вв., как честь и честность, трудолюбие, бережливость, терпение, стремление к саморазвитию и ученичеству, взаимопомощь, сосредоточенность, на деле востребованы современным обществом. Это тот положительный опыт, который необходим нам сегодня, если мы действительно хотим стать инновационной страной. Нравственность, этика – основа успешного созидания. Продemonстрировано развитие рассматриваемой темы в современном социальном предпринимательстве как новейшем векторе отечественной экономики.

Ключевые слова: нравственные ценности, экономическая деятельность, отечественные предприниматели, благотворительность, меценатство, социальное предпринимательство.

**INFLUENCE OF MORAL VALUES ON THE SUCCESS
OF ECONOMIC ACTIVITY (ON THE EXAMPLE OF DOMESTIC
ENTREPRENEURS OF THE XIX–XX CENTURIES)**

E.V. Gladysheva

Moscow Technological University, Moscow 119454, Russia

@Corresponding author e-mail: evgladysheva@mail.ru

The article deals with the problem of combining economic activity and moral principles. Today students often believe that the market economy is incompatible with the morality, the topicality of this topic is grounded in the pedagogical and educational activity of teachers. The steps in this direction are indicated by Moscow Technological University, G.V. Plekhanov Russian Economic University. An article by O.A. Volnyakova on this topic is analyzed. The author of the article analyzes the moral qualities of the native entrepreneurs of the 19th-20th centuries, which contributed to their successful economic activity. It is concluded that the economic success of native entrepreneurs was largely related to such qualities as honesty, diligence, patience, thrift, striving for learning, innovation, philanthropy and charity. The article points out that Russian merchants aspired not only to economic gain, but also to spiritual values. The author of the article shows the modern development of this topic in social entrepreneurship, which only starts developing in our country. The author of the article tells how the theme of the moral dimension of the economy is used by the staff of the Department of Philosophy, Sociology and Political Science of MTU in their pedagogical and educational work with students. This topic can be used by other employees of the Moscow Technological University.

Keywords: moral values, economic activity, domestic entrepreneurs, charity, patronage, social entrepreneurship.

Тема влияния нравственных ценностей на успешность экономической деятельности представляется чрезвычайно актуальной в современном мире, особенно, когда наша страна стремится к инновационному развитию. Эта тема является важной и в педагогической деятельности современных преподавателей. Студенты часто высказывают мнение, что нравственные принципы и рыночная экономика несовместимы. В связи с этим интересна статья кандидата философских наук О.А. Вольняковой «Рассмотрение экономического вопроса с нравственной точки зрения» в Российском технологическом журнале [1]. В ней рассматриваются позиции двух выдающихся отечественных философов В.С. Соловьёва и С.Н. Булгакова по вопросу о соединении нравственности и экономики. Оба философа считали, что современные им «экономические теории абсолютизируют только материальную сторону деятельности человека и упускают из виду духовную составляющую его сущности» [Цит. по: 1, с. 101]. С.Н. Булгаков в прочитанной им лекции в 1903 г. призывал «обратиться к социальному идеалу и поднять вопрос о богатстве с точки зрения общечеловеческих ценностей и этической науки» [Цит. по: 1, с. 103]. В.С. Соловьёв в своей работе «Оправдание добра», в которой одну из глав посвятил рассмотрению экономического вопроса с нравственной точки зрения, указывал, что «признавать в человеке только деятеля экономического – производителя, собственника и потребителя вещественных благ – есть точка зрения ложная и безнравственная» [Цит. по: 1, с. 104]. Автор статьи [1] делает вывод, что нравственное упорядочение экономических отношений способствует вместе с тем и экономическому прогрессу.

Представляется ценным опыт преподавателей Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, где в последние три года проводится одна из секций Международных Рождественских образовательных чтений. В 2015 г. в рамках XXIII Международных чтений в РЭУ им. Г.В. Плеханова секция называлась «Православие и духовно-нравственные основы в экономике, предпринимательстве, торговле, политике и культуре России». Ректор РЭУ им. Г.В. Плеханова, доктор экономических наук В.И. Гришин в своем выступлении подчеркнул ошибочность представления, согласно которо-

му на первое место в иерархии ценностей ставится экономика, а на второе – духовность: «там, где экономика, в первую очередь должна быть духовность; если нет стремления к добру, происходит разложение человека. Нужны духовные скрепы, чтобы деньги работали на благо людей и страны». РЭУ им. Г.В. Плеханова позиционирует себя как высшее учебное заведение, где бережно сохраняются отечественные традиции и активно внедряются инновации. В холле 1-го Исторического корпуса висит большой портрет Алексея Семеновича Вишнякова (1859–1919) – российского предпринимателя, финансиста, основателя Московского коммерческого института (ныне РЭУ им. Г.В. Плеханова). В музее, рассказывающем об истории этого учебного заведения, на стендах можно прочитать, что все затраты, связанные с организацией и содержанием коммерческого института, покрывались за счет частных пожертвований. Приведено высказывание А.С. Вишнякова: «Создавая коммерческие учебные заведения, я делаю огромное дело. Сознаешь, что не даром прожил свою жизнь». Основная мысль, звучащая на конференции в РЭУ им. Г.В. Плеханова: успешная инновационная экономика невозможна без твердых нравственных принципов [2]. 26 января 2017 г. в рамках XXV Чтений в том же вузе проводилась конференция на тему «Духовно-нравственное воспитание личности в системе образования: традиции и современность». В выступлении ректора на конференции говорилось о том, что православие – духовный код, неотъемлемая часть нашего менталитета, и образование не должно осуществляться в отрыве от воспитания. Он призвал преподавателей так обучать своих студентов, чтобы доброта и сила духа стали притягательны для молодежи [2].

Тема соединения нравственных принципов и успешной экономической деятельности на примере отечественных предпринимателей XIX–XX вв. является одним из направлений педагогической и воспитательной работы со студентами на кафедре философии, социологии и политологии Московского технологического университета [3, 4]. На протяжении многих лет организуются экскурсии в Московский музей предпринимателей, меценатов и благотворителей (Донская ул., 9), где студентам в интерактивной форме экскурсовод Елена Ивановна Калмыкова рассказывает о нравственных качествах, позволивших отечественным предпринимателям XIX–XX вв. не только создать новую промышленную экономику, но и внести очень большой вклад в культуру. Студенты делают презентации, пишут отзывы о посещении музея, которые размещаются на сайте кафедры [5]; выступают с докладами на эту тему на конференциях. Так, на конференции «Студенческая наука–2016» доклад К.Л. Стрельцовой назывался «Нравственные качества предпринимателей XIX–XX вв. и современность»; С.В. Леонтьев в докладе «Материалистичность нравов как следствие развития науки и техники. Поиск противовеса» рассказал о благотворительной деятельности известного российского фабриканта и мецената Саввы Ивановича Мамонтова. 17 мая 2017 г. на II научно-технической конференции Московского технологического университета студент Д.С. Литовченко выступил с докладом «Династия Рябушинских: актуальность традиции» [5]. Было опубликовано несколько статей студентов на эту тему [6, 7].

Отношение к отечественным предпринимателям XIX–XX вв. в российском обществе неоднозначное. Русская публицистика сформировала в нашем представлении образ купца, как ленивого, недалекого и корыстного человека. Антоша Чехонте любил посмеяться над этим сословием в своих журнальных статьях. В фельетоне «Осколки москов-

ской жизни» А.П. Чехов писал: «Купца Найдёнова посетила муза истории и показала ему кукиш». Насмехался Чехов и над купцом и меценатом К.Т. Солдатёнковым, в усадьбе которого в Кунцево часто гостил сам и где также подолгу жили В.Г. Белинский, А.Ф. Писемский, Н.А. Некрасов, даже граф Л.Н. Толстой приезжал в гости. По определению В.Ю. Чумакова, «русский купец был смелым, энергичным, умным» [8, с. 8].

Время конца XIX – начала XX веков в исследовательской литературе получило название «русского экономического чуда». Деятельность купцов того времени можно назвать инновационной. Именно тогда во всю мощь проявились творческие, научные, изобретательские таланты русского человека. Среди представителей отечественных предпринимателей можно вспомнить таких основоположников купеческих родов, как Третьяковы (льняная мануфактура), Морозовы (текстиль), Мамонтовы (нефть, железные дороги), Солдатёнковы («финансовая империя»), Демидовы (льняная мануфактура), Найдёновы (текстиль, торговля, финансы), Абрикосовы (кондитерское дело), Сорокоумовские (меховой бизнес), Рябушинские (хлопчатобумажная промышленность, банковское дело, льняная монополия), Бахрушины (кожевенное дело) и др. Отечественные предприниматели смогли за короткое время превратить нашу страну из отсталой в экономически лидирующую. Благодаря их деятельности, развивалась не только экономика, но и социальная сфера. Вокруг их фабрик и заводов создавались рабочие поселки, ставшие впоследствии городами: Орехово-Зуево, Иваново-Вознесенск и др. Наряду с необходимыми постройками (общежития для рабочих, столовые, ясли, больницы), российские предприниматели щедро занимались благотворительностью: строили школы, дома престарелых, церкви, дома для сирот и т.п. Увлекаясь искусством, они меценатствовали: материально поддерживали и вдохновляли ученых, художников, актеров, вообще творческих людей. Развитие русской культуры серебряного века неразрывно связано с Третьяковыми, Мамонтовыми, Бахрушиными, Алексеевыми, Леденцовым и др.

Представляется, что быстрое инновационное развитие России того времени было невозможно без твердых нравственных принципов (купеческое слово, взаимовыручка, благотворительность и др.) первых отечественных предпринимателей, которые в основном были выходцами из крестьянских слоев, выросшими в традиционной православной культуре. Духовные ценности, привитые им с детства, помогали в созидательном труде. Так, честность привела к хорошему качеству товаров, к их конкурентоспособности и, следовательно, прибыли; немаловажным являлось и «честное слово купца» для налаживания торговых связей. Востребованными явились и такие черты, как трудолюбие, бережливость, смекалка.

Какие нравственные характеристики и этические качества отечественных предпринимателей могут быть востребованы сегодня? Рассмотрим их подробнее.

Одним из важнейших качеств был «творческий ген» (по образному выражению Дмитрия Абрикосова, потомка династии Абрикосовых, создавших «сладкую империю» и построивших кондитерскую фабрику – ныне «Бабаевский концерн»). Он проявлялся в воспитываемой с детства родовой памяти, т.е. памяти о делах своих предков и понимании личной ответственности перед будущими поколениями своего рода. В советское время известную династию продолжили Алексей Иванович Абрикосов – врач-патологоанатом, академик АН СССР, автор нескольких учебников. Его сын, Алексей Алексеевич Абрикосов, стал

известным физиком-теоретиком, академиком, директором Института физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина. Дмитрий Иванович Абрикосов был послом в Японии. Андрей Львович Абрикосов стал знаменитым актером Вахтанговского театра, народным артистом СССР. Зрители знали его по фильмам «Тихий Дон», «Александр Невский», «Илья Муромец», «Иван Грозный» [8, с. 90]. Одним из потомков купцов Шустовых был прекрасный советский актер Зиновий Яковлевич Гердт [8, с. 130]. Правнучка купца Сорокоумовского, заслуженная артистка России Мария Александровна Сорокоумовская, арфистка, солистка государственной филармонии, сумела пронести через все трудные времена любовь к своему славному роду и сохранила в себе лучшие черты российского купечества [8, с. 6]. Возможно, память о своем роде помогла этим людям пережить годы репрессий и достигнуть больших успехов в жизни. Некоторые купцы отказывались от предлагаемого им за их заслуги перехода в дворянское сословие (например, Петр Павлович Сорокоумовский, Павел Михайлович Третьяков и др.). Пословица «дерево без корней – трава» не применима, как правило, к родам купцов и предпринимателей.

Особенность труда первых предпринимателей заключалась в том, что они создавали свое дело на века, для потомков, а не стремились к быстрой, но обманчивой выгоде. С этим связано «радение об имени». Например, перед смертью Николай Леонтьевич Шустов сказал своему сыну: «Самое главное, я оставил вам имя, которое стоит сейчас больше, чем вся наша фирма. В нашу фамилию я вложил свой труд... Это делать имя трудно, а испортить его ой как легко» [8, с. 121]. Действительно, русские коньяки Шустова получили более трех десятков медалей на выставках в Турине, Нью-Йорке, Милане, Лондоне, Бордо, Амстердаме и других городах мира [8, с. 127]. Московский торговый банк Найдёновых не считался крупным, зато слыл очень надежным. Когда в 1917 году большевики национализировали банк Александра Николаевича Найдёнова, он начал расплачиваться с кредиторами из собственных средств, находящихся на его личных счетах в зарубежных банках. Отдал все, что осталось, более 300 тысяч рублей. Такого в мировой финансовой практике еще не было [8, с. 154].

Все мы знаем о нерушимом «слове купца», не выполнить которое было немислимо. Отсюда пошла поговорка «стереть в порошок». Купцы записывали долги мелом на доске. Если долг не возвращался вовремя, купец несколько раз напоминал должнику, а потом стирал его фамилию из списка. Может показаться, что должник оказался в выигрыше, ведь он остался при деньгах. Однако с ним прекращались все деловые отношения, купец переставал с ним общаться на людях, это замечали и остальные, практически такой должник изгонялся из купеческой гильдии. Правдивость и честность считались обязательными качествами предпринимательства.

Из истории известно несколько примеров, когда именно честность приносила реальный доход. Например, крестьянин из деревни Кулаково Тюменского уезда Николай Мартемьянович Чукмалдин сделал себе состояние на честности. Обычно товары оценивали на глаз, первоначально могли запрашиваться тройные суммы, которые потом снижались. Н.М. Чукмалдин предложил продавать товар по твердой фиксированной цене, что сначала вызвало недоумение у покупателей. Они пытались торговаться, не понимали продавца, и первоначально купец терпел убытки. Но постепенно прибыли начали расти, а Николай Чукмалдин приобрел известность как честный торговец. Именно честность и смекал-

ка помогли бывшему крестьянину стать купцом-миллионером первой гильдии. Помогла также честность и доверие односельчан и Савве Васильевичу Морозову. Крестьяне давали ему деньги на хранение, что увеличивало его денежный оборот и помогало развитию его дела. Третьякову-сыну купцы после пожара 1812 года дали в Москве ткани в кредит, так как знали честность его отца. Москвичи также верили честности купца Сорокоумовского и были уверены, что в его меховых салонах на Кузнецком мосту и на Ильинке им продадут настоящий мех, а не подделку [8, с. 97]. «Прибыль дороже всего, но честь – дороже прибыли» – такая поговорка не зря сложилась в среде русского купечества.

Еще одной нравственной чертой купеческих семей являлось трудолюбие. К труду детей в семье приучали с раннего детства. В купеческой семье все трудились сообща, производство было семейным делом. Так, Павел и Сергей Третьяковы с детских лет постигали азы купеческого дела, работая в лавке отца «мальчиками»: убирали, подменяли приказчиков, помогали в ведении счетов [8, с. 34]. Братья Константин и Терентий Солдатёновы жили «общим хозяйством»: у Константина не было своих сыновей, но ему помогали племянники – сыновья Терентия. Иван и Козьма поочередно дежурили то в лавке отца, то в лавке дяди: мыли, убирали, чистили, учились вести хитрую купеческую бухгалтерию [8, с. 67]. На фамильном гербе Демидовых, который они получили вместе с дипломом о дворянстве за заслуги перед Отечеством, был девиз «Acta non verba» («Не словами, а делами») [8, с. 16].

Не только дети, но и жены были предпринимателям верными помощницами. Они помогали мужьям и бережливым ведением семейного хозяйства, и правильным воспитанием собственных детей, и советами по устройству быта рабочих, и участием в благотворительных делах. Так, жена Саввы Тимофеевича Морозова Зинаида Григорьевна помогала мужу в проектах строительства домов для рабочих. Дома в Орехово-Зуево строили красивыми, со многими удобствами и украшениями. Зинаида Григорьевна считала, что красивая обстановка будет воспитывать вкус рабочих, что отразится и на качестве производства. Для этой же цели строились и вечерние школы для рабочих – чтобы образовывать и воспитать бывших неграмотных крестьян, превратить их в культурных людей, понимающих красоту и умеющих работать на сложных станках. Агриппина Алексеевна Абрикосова также отвечала за всю семейную недвижимость. Все доходные дома были записаны на ее имя, перестраивались и оборудовались под ее контролем, она же ведала вопросами квартирантов [8, с. 85]. Абрикосовские рабочие жили в благоустроенных общежитиях, к их услугам были бесплатные больницы, столовые, библиотеки и школы, продукция фабрик продавалась им за 10% от себестоимости, к праздникам они получали подарки [8, с. 92].

Как правило, купеческие семьи были многодетными. Так, у купцов Простяковых было 23 ребенка, у Агриппины Абрикосовой родилось 22 малыша, у Александры Даниловны и Михаила Захаровича Третьяковых – 12 детей. Многодетность семей воспитывала ответственность родителей. Наверное, поэтому купцы стремились построить дело на века. В наши дни часто считается, что семья мешает работе, работа – личному досугу, семейные обязанности отнимают личное время и т.д. Индивидуализм затягивает человека в собственный кокон, который противопоставляется всему остальному. Не так было в купеческих семьях. Там, наоборот, все старались помочь друг другу; семья, работа и

личностное развитие не отделялись друг от друга. Для успеха дела крепкая семья должна быть первым помощником купцу. Именно поэтому среди купцов браки обычно заключались из своего сословия – купеческого [9]. Хочется также обратить внимание на сосредоточенность на своем деле, даже страстность, российских предпринимателей тех лет. Они не отделяли работы от всей своей жизни.

Среди предпринимателей нередко были случаи взаимопомощи. Как-то Рябушинские помогли банкиру Николаю Александровичу Найдёнову. Когда его Московскому торговому банку грозил кризис, они вложили все свои деньги в него из других банков. Информация об этом поступке быстро «просочилась» в газеты, и уже через день вся деловая Москва знала: никаких проблем с наличностью у Найдёнова нет, так как сами Рябушинские доверяют ему свои капиталы. Вкладчики банка успокоились, и кризис миновал [8, с. 152]. В память об умершем брате Иване Козьма Терентьевич Солдатёнков за 30000 рублей выкупил из долговой тюрьмы всех находившихся там московских неплательщиков [8, с. 70].

Еще одним качеством, особенно в начале создания своего дела, можно назвать бережливость и терпение. Бывшие крепостные крестьяне начинали свое дело с малого, следуя пословице «копейка рубль бережет». Например, будущий «шоколадный король России» Алексей Иванович Абrikосов ежедневно сам ездил на лошади на Болотный базар покупать свежие фрукты, не доверяя это ответственное дело никому из своих 24 помощников [8, с. 82]. Петр Елисеев начал свой капитал с продажи мешка апельсинов, которые охотно раскупили у него гуляющие по Невскому проспекту. Уже через несколько месяцев ему удалось собрать сумму, чтобы снять лавку для торговли «на скромных началах...сырыми фруктами жарких поясов Земли» [8, с. 132]. Третьяковы начали свой капитал с продажи пуговиц в Замоскворечье. Михаил Яковлевич Рябушинский сам лично скупал у окрестных крестьян ткань, наносил на нее орнамент, делал ситец и продавал его в собственной лавке в Холщовом ряду Гостиного двора [8, с. 53]. Трудолюбие, бережливость и терпение – качества, необходимые в деле предпринимательства.

Еще одна черта – стремление к саморазвитию, постоянное личное ученичество. Петр Павлович Сорокоумовский получил прекрасное европейское образование, свободно владел четырьмя языками, что помогло его товарам выйти на международную арену: ни одна Лейпцигская, Лондонская или Парижская меховые ярмарки не проходили без его участия [8, с. 99]. Николай Никитич Демидов ездил в Европу учиться металлургии и возил туда на обучение десятки своих наиболее одаренных рабочих. Это помогло ему оборудовать заводы по последнему слову техники, наладить торговые отношения с Англией, куда вскоре он начнет поставлять свое железо на купленном для этой цели в Италии корабле. Он построит в Таганроге собственную торговую флотилию для перевозки грузов по Черному и Средиземному морям [8, с. 24].

Важным качеством, ведущим к успеху, являлась дальновидность отечественных предпринимателей тех лет. Научившись новому, познакомившись с передовым опытом, они не боялись нововведений на своих предприятиях. Получив вольную в 1820 г. у помещика Рюмина, бывший крепостной крестьянин Савва Васильевич Морозов создает механическую Никольскую ткацкую фабрику, куда покупает новейшие прядильные станки, чем повышает эффективность производства. Продолжатель дела Савва Тимофеевич

Морозов в 1886 г. расширил производство, приобрел хлопковые поля в Туркестане и лесные угодья на Урале для производства химических реактивов и из них – красителей для мануфактуры. Морозовы, таким образом, создали то, что сейчас называют производством полного цикла. Чтобы иметь дешевое и качественное сырье, кондитер А.И. Абрикосов открыл в Крыму Симферопольский филиал, который скупал фрукты для переработки на пастилу и варенье. Он организовал круглогодичные поставки свежих фруктов в Москву. А.И. Абрикосов первым в России применил технологию консервирования, опередив соперников — кондитерские фирмы «Эйнем» (ныне «Красный Октябрь») и «А.Сиу» (сейчас «Большевик»). Постоянное стремление к развитию, желание учиться и совершенствоваться, несомненно, также способствовали процветанию купеческого дела.

Как уже отмечалось выше, отечественных предпринимателей отличало не только стремление к экономическому процветанию, но и к духовным ценностям. Целью Рябушинских, например, было «возрождение истинной, великой и могучей Российской державы», они стремились вывести Россию на «широкую дорогу национального расцвета и богатства» [8, с. 62]. Николай Александрович Найдёнов стал одним из первых московских краеведов. На свои деньги он организовал фотографирование всех московских храмов, торговых рядов и различных примечательных зданий, а затем оплатил издание нескольких фотоальбомов. Н.А. Найдёнов написал более 80 книг (которые и высмеивал Антоша Чехонте) об истории родного города и городского купечества. [8, с. 62–63]. Купцы Абрикосовы оборудовали специальный кинозал, где по выходным дням рабочим показывали кинофильмы [8, с. 92]. Савва Тимофеевич Морозов открыл сад отдыха, в котором для рабочих по вечерам играл специально нанятый оркестр, а по выходным – выступали приглашенные из столицы артисты (например, Федор Шаляпин). Савва Морозов был одним из первых, кто откликнулся на просьбу купца первой гильдии Алексеева, взявшего псевдоним Станиславский, и дворянина, театрального критика Немировича-Данченко помочь в создании первого в России общедоступного театра. За четыре года Савва Тимофеевич израсходовал на театр двести тысяч рублей. Он отремонтировал под его нужды театр «Эрмитаж», на сцене которого выступала труппа Художественного театра, покупал костюмы для спектаклей, а для пьесы «Снегурочка» даже снарядил экспедицию за костюмами на Север [9, с. 167–170]. В своем имении Абрамцево Савва Мамонтов создал кружок единомышленников – художников, артистов, писателей, поэтов. Там подолгу жили и создавали свои картины В.Д. Поленов, В.М. Васнецов, М.В. Нестеров, М.А. Врубель и др. В Абрамцево был создан музей русского промысла, мастерские по изготовлению изразцов, где работали не только сами хозяева усадьбы, но и окрестные крестьяне. Мамонтов хотел обучить их разным ремеслам, чтобы они могли начать свое собственное кустарное производство.

Деятельность промышленников поддерживала не только высокое, но и народное искусство, способствовала развитию культурной жизни народа. Поскольку с развитием рабочих поселков вокруг них стали строиться питейные заведения и публичные дома, предприниматели начали принимать меры, чтобы противостоять растлению рабочих. Так, Морозовы сначала ввели систему штрафов, но это вызвало возмущение рабочих. Тогда хозяева предприятий начали создавать рабочие клубы, народные театры, футбольные команды (например, в Орехово-Зуево был построен первый народный стадион и со-

здана футбольная команда, участвующая даже в международных соревнованиях), создавались народные хоры.

Вообще, страсть к благотворительности и меценатству не уступала, пожалуй, страсти предпринимательства этих людей. Благотворительность у российских купцов была не просто данью традиции, она считалась чем-то обязательным для их сословия. По суммам на благотворительность судили о состоятельности купца. На нужды благотворительности завещал после своей смерти двадцать миллионов рублей Гаврила Солодовников. Прокофий Демидов вложил один миллион сто семь тысяч рублей в строительство Воспитательного дома, который до Октябрьской революции был детским домом для бездомных детей, детей бедняков и незаконнорожденных. Там дети получали образование: мальчиков готовили для поступления на медицинский факультет университета, а девочек учили на акушеров и гувернанток. Кроме того, Прокофий Демидов в своем имении Нескучное создал ботанический сад, который был передан в дар Москве [8, с. 18–19]. Павел Николаевич Демидов явился учредителем Демидовской премии при Академии наук «дабы содействовать преуспеянию наук, словесности и промышленности в своем Отечестве», лауреатами которой в разное время стали Д.И. Менделеев, И.М. Сеченов, Н.И. Пирогов, И.Ф. Крузенштерн, П.Л. Чебышев и др. [8, с. 26–27]. Николай Никитич Демидов подарил Петербургу четыре чугунных моста, которые были построены на его деньги: Поцелуев, Красный, Семеновский и мост на Обводном канале [8, с. 25]. Известны имена Сергея Михайловича Третьякова: собрание западноевропейской живописи он завещал Москве, одна часть коллекции сейчас хранится в Эрмитаже, другая – в Музее изобразительных искусств; его брата Павла Михайловича Третьякова, подарившего Москве картинную галерею, в которой им собраны полотна отечественных художников, Козьмы Терентьевича Солдатёноква, устроившего в Москве бесплатную больницу для бедных – ныне больница им. С.П. Боткина, текстильное училище – ныне Текстильный университет, купцов Абрикосовых – ныне Городской родильный дом № 6 имени А.А. Абрикосовой и многих других.

Необходимо сказать и о поддержке купцами науки. Ближайшим другом и наставником купца Павла Павловича Сорокоумовского был Николай Николаевич Миклухо-Маклай. Павел Павлович вместе с известным путешественником побывал в Австралии, Индии, Сингапуре, несколько раз полностью профинансировал экспедиции великого ученого [8, с. 104]. Показателен также пример почетного гражданина Вологды, купца первой гильдии Христофора Леденцова (1842–1907), которого часто называют русским Нобелем. Христофор Семенович Леденцов организовал «Общество содействия успехам опытных наук», которое субсидировало физическую лабораторию профессора П.Н. Лебедева (будущий ФИАН), аэродинамическую лабораторию Н.Е. Жуковского в Высшем Техническом училище, лабораторию академика И.П. Павлова в Колтушах. Общество оказывало материальную поддержку Алексею Чичибабину в изучении отходов от переработки нефти, в частности, получении из них медицинских препаратов; химику-изобретателю московской фабрики «Богатырь» Ивану Остромысленскому, работавшему над проблемой получения каучука и превращения его в резину. С началом Первой мировой войны значительную часть средств общество Леденцова направило на исследование и приготовление остродефицитных медикаментов. Только за один 1915 год на территории России было

построено пять химических заводов. Субсидировались и проводимые в 1916–1917 гг. опыты по получению новокаина. В 1914 г. фонд профинансировал разработки ученых по созданию водохранилищ нашей страны. В результате этого грандиозного проекта реки должны были превратиться в источники электрической энергии. Эта идея потом очень понравилась большевикам и была реализована как всем известный план ГОЭЛРО [10, с. 379–381]. В 1904 г. Дмитрий Рябушинский вместе с известным ученым Николаем Егоровичем Жуковским основал под Москвой в принадлежащем семье имении Кучино первую в мире аэродинамическую лабораторию [8, с. 57].

Все перечисленные примеры свидетельствуют о том, как отечественные промышленники и меценаты материально поддерживали инновационное развитие России на рубеже XIX–XX вв. [11].

Тема взаимосвязи нравственности и экономической деятельности имеет реальное воплощение в теме социального предпринимательства, которое только начинает развиваться в нашей стране. 26 января 2017 г. в РЭУ им. Г.В. Плеханова выступил председатель Ассоциации социальных предпринимателей, директор по развитию Национальной юридической службы Л.Ю. Итальянцев с докладом «Морально-нравственные ориентиры российского предпринимательства: развитие социального предпринимательства в России». Он подчеркнул, что социальное предпринимательство – это новый вектор экономики, в котором моральная мотивация преобладает над коммерческой. Это новая экономическая реальность, которая находится в стадии развития. В частности, разрабатывается закон о социальном предпринимательстве, создается центр правовой поддержки начинающих социальных предпринимателей. Докладчик приглашал к сотрудничеству в этой сфере как преподавателей, так и студентов [2].

Тему социального предпринимательства рассматривают Е.Л. Зуева и С.Ю. Ховаев в статье «Возможности развития института социального предпринимательства в России» [12]. Социальное предпринимательство представляет собой новый подход, сочетающий политику экономической устойчивости с социальной направленностью. Под последней подразумевается, например, создание рабочих мест для незащищенных слоев населения, оказание услуг нуждающимся людям, решение экологических проблем, социализация выпускников детских домов, работа с детьми с ограниченными возможностями, досуговые услуги для больных детей и др. Авторы статьи пишут о новосибирском Центре социального предпринимательства, который создан при Институте дополнительного образования Новосибирского технического университета. Центр создал специализированный бизнес-инкубатор, помогающий реализовать идеи социального предпринимательства заинтересованным студентам. Существует частный фонд «Наше будущее», который создан в 2007 г. для поддержки социального предпринимательства в России. Фонд ставит перед собой следующие задачи: выявление социальных предпринимателей, предоставление им необходимой поддержки (финансовой и консультативной) и распространение идеи социального предпринимательства в обществе. За семь лет своей деятельности эта организация поддержала 108 проектов на территории 45 регионов России и выдала 231 млн. рублей в виде беспроцентных займов [12, с. 51]. Как считают авторы статьи, «социальный предприниматель должен быть настойчивым и трудолюбивым, так как в социальном предпринимательстве, как и в традиционном, успех не достигается быстро – необходимо

пройти через череду неудач» [12, с. 52]. Мы видим, что в современной экономике востребованы те же нравственные качества, которыми обладали отечественные предприниматели конца XIX – начала XX вв.

Подводя итог, важно еще раз подчеркнуть, что тема влияния нравственных ценностей на успешность экономической деятельности в условиях инновационного развития нашей страны может быть использована преподавателями Московского технологического университета в их преподавательской и воспитательной работе со студентами.

Литература:

1. Вольнякова О.А. Рассмотрение экономического вопроса с нравственной точки зрения // Российский технологический журнал. 2016. Т. 4. № 5. С. 101–107.
2. Сайт Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова – <http://www.rea.ru/ru/news/Pages/educational-christmas-readings.aspx>, дата обращения 24.02.2017.
3. Гладышева Е.В. Нравственное воспитание студентов на примере благотворительной деятельности отечественных предпринимателей // 2-ая Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем». Сб. науч. трудов. Часть 2: М.: МИРЭА, 2015. С. 338–342.
4. Гладышева С.Г. Музейно-экскурсионная деятельность как фактор воспитания и образования молодежи // Социальная инноватика – 2015. Материалы науч.-практ. конф. М.: МИРЭА, 2015. С. 251–258.
5. Сайт кафедры философии, социологии и политологии Московского технологического университета – <http://www.philosophy.mirea.ru>, дата обращения 26.02.2017.
6. Буянов А.С. Причины экономического успеха и благотворительности отечественных предпринимателей конца XIX – начала XX веков / Социальная инноватика – 2015. Материалы науч.-практ. конф. М.: МИРЭА, 2015. С. 246–249.
7. Хачатрян И.С. Предпринимательство и меценатство в России: история и современность // Труды Всерос. науч. конф. «Инновационные стратегии развития науки, техники и общества. Социальная инноватика – 2014». М.: ВНИИгеосистем, 2014. С. 209–212.
8. Чумаков В.Ю. Русский капитал. От Демидовых до Нобелей. М.: ЭНАС, 2008. 336 с.
9. Балашов С.С. Алексеевы. М.: Октопус, 2008. 256 с.
10. Шарапов С., Улыбышева М. Бедность и богатство. Православная этика предпринимательства. М.: Ковчег, 2013. 416 с.
11. Гладышева Е.В., Гладышева М.И. Феномен созидания в отечественной культуре // Ценности и смыслы. 2016. № 3 (43). С. 89–100.
12. Зуева Е.Л., Ховаев С.Ю. Возможности развития института социального предпринимательства в России [Электронный ресурс] – <http://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-razvitiya-instituta-sotsialnogo-predprinimatelstva-v-rossii> (Дата обращения 27.02.2017).

УДК 342.734.5

**ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ
У ВЫПУСКНИКОВ ВУЗА – БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ
И РУКОВОДИТЕЛЕЙ**

Е.И. Хабарова, к.х.н., доцент

С.В. Никитина[@], ст.преподаватель

Л.Л. Будаева, ассистент

*Кафедра экологической и промышленной безопасности,
Московский технологический университет (Институт тонких химических технологий
им. М.В. Ломоносова), Москва 119571, Россия*

[@]Автор для переписки, e-mail: nikitinasv@list.ru

При переходе к устойчивому развитию общества необходимы отказ от неустойчивых моделей производства и потребления, переориентация на бережное отношение к окружающей среде. Интересы рынка часто могут вступать в конфликт с гуманитарными интересами граждан в области социальной и экологической безопасности. Предприятия уже не могут обойтись без отображения своей экологической политики. Отношение к вопросам охраны природной среды превращается в постоянную составляющую системы менеджмента. Поскольку решать проблемы взаимодействия человека с окружающей средой невозможно без экологизации всего процесса социально-экономического и духовно-культурного развития общества, важно закладывать основы экологически устойчивых структур производства и потребления, в первую очередь, у молодых специалистов. Основой формирования экологически ориентированного мировоззрения людей может служить всеобщее и непрерывное экологическое образование. Профессиональная компетентность современного конкурентоспособного специалиста и руководителя предполагает наличие системных функциональных знаний экологических вопросов и сформированного экологического мышления.

Ключевые слова: экологическое образование, экологическое мышление, экологически устойчивое развитие.

FORMATION OF ECOLOGICAL THINKING AMONG THE UNIVERSITY GRADUATES, NAMELY FUTURE PROFESSIONALS AND LEADERS

E.I. Khabarova,
S.V. Nikitina[@],
L.L. Budaeva

*Moscow Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies),
Moscow 119571, Russia*

[@]Corresponding author e-mail: nikitinasv@list.ru

The transition to sustainable development requires rejecting unsustainable patterns of production and consumption, it demands that environmental protection policy should be raised to state level. One of the central causes of the ecological crisis is a consumer's attitude to nature. We now realize that market interests are often opposite to the humanitarian interests of citizens in social and environmental security. The attitude to the issues of environmental protection is becoming a permanent component of the management system. Even the ordinary staff of the enterprise has to realize fully the responsibility and obligations for preservation and protection of a favorable ecological situation. Thus, the correlation of economic and ecological interests, only a strictly scientific approach to the industrial technological development can be reached by environmental education of society and professionals. That is why the authors focus on the importance of Foundation of culture for environmentally sustainable production and consumption primarily for the future specialists. The basis for the formation of an ecologically oriented worldview of people can be laid by General and continuous ecological education. It is necessary to give an initial impulse and to teach "to catch up" with the student promptly "running away" technological organization of life. For training of new generation of engineers at leading universities of the world the new principle of the innovative educational environment is implemented: concept of CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate). Ecological education in Russia is a set of elements of education and training of all segments of the population today. As a result the following chain is built: ecological education, professional competence, ecological culture. Professional competence of the modern competitive specialist and the head of an enterprise suggests systemic functional knowledge on environmental issues and formed ecological thinking. The possibility of further existence of a civilization depends on competence of today's students.

Keywords: "space economy", environmental safety, industrial safety, system approach, the principle of co-evolution, natural sovereignty.

Цель развития цивилизации сегодня – достижение социально желательного, экономически жизнеспособного и экологически устойчивого развития общества, которое имеет возможность удовлетворять потребности настоящего времени и одновременно не ставить под угрозу способность будущих поколений удовлетворять их собственные потребности [1].

При переходе к устойчивому развитию принципиальное значение приобретает разрушение старых, укоренившихся в сознании людей стереотипов потребительского отноше-

ния к природным ресурсам. Необходимы отказ от неустойчивых моделей производства и потребления, переориентация на бережное отношение к окружающей среде, достижение взаимопонимания и социальной стабильности.

Положения некоторых концепций устойчивого развития общества предполагают исключение тех видов хозяйственной деятельности общества, которые не способствуют устойчивому развитию этой деятельности на всех уровнях. Однако подобное исключение весьма проблематично для национальных экономик. Оно создает существенные преграды для развития науки и новых отраслей экономики, а также делает экономику слаборазвитых стран зависимой от экономически развитых стран. Гражданское общество с его механизмами воздействия на государство и саморегулирования ориентировано на обеспечение прав всех его граждан. Интересы рынка часто могут вступать в конфликт с гуманитарными интересами граждан, например, в области социальной и экологической безопасности [2]. Однако как только состояние окружающей среды становится серьезной проблемой общественного развития, государства начинают формировать экологическую политику и на национальном уровне, и на уровне отдельных хозяйственных субъектов, особенно промышленных предприятий, вносящих основной вклад в загрязнение окружающей среды. Предприятия уже не могут обойтись без отображения своей экологической политики в долгосрочных планах после получения экологией доминирующего статуса в системе общественных ценностей. Отношение к вопросам охраны природной среды превращается в постоянную составляющую системы менеджмента.

Экологическая политика предприятия – система политических, экономических, юридических, образовательных и иных мер, принимаемых для управления экологической ситуацией и обеспечения рационального использования природных ресурсов на территории страны – разрабатывается и определяется с ведома высшего руководства. В то же время, даже рядовые сотрудники предприятия должны в полной мере осознавать свою ответственность и обязанности по сохранению и защите благоприятной экологической обстановки. За разработку, внедрение, модификацию и формулирование изменений несут ответственность руководители всех уровней и подразделений предприятия. Каждый сотрудник предприятия выполняет определенные обязанности в плане постоянного улучшения экологической обстановки и предотвращения загрязнения окружающей среды.

Поскольку решить проблемы взаимодействия человека с окружающей средой невозможно без экологизации всего процесса социально-экономического и духовно-культурного развития общества, важно закладывать основы экологически устойчивых структур производства и потребления, а также экологически обоснованной экономической политики и управления, в первую очередь, у молодых специалистов.

Основой формирования экологически ориентированного мировоззрения людей может служить всеобщее и непрерывное экологическое образование, охватывающее всю жизнь человека – от младенчества до старости.

Понимание необходимости увязывания вопросов обеспечения экологической безопасности отдельных стран и всего мира в целом с повышением уровня экологической грамотности населения и общественного экологического сознания датируют 3-ей декадой XX века. Экологическое образование трансформировалось в предпосылку познания мира и выживания человечества. Так, сегодня экологическое образование в России – это

совокупность элементов воспитания, обучения и просвещения всех слоев населения, т.е. учебная практика дошкольных, общеобразовательных, внешкольных, средних и высших профессиональных образовательных учреждений, институтов повышения квалификации и переподготовки кадров. Оно признается эффективным лишь в том случае, если все члены общества – учащиеся, студенты, трудящиеся, специалисты, работники системы управления и руководители – ориентированы, в меру своих возможностей, на решение конкретных проблем окружающей среды [3, 4].

От компетентности сегодняшних учащихся, в том числе экологической, в различных областях деятельности зависит возможность дальнейшего существования цивилизации. Формирование экологической компетентности предполагает переход образовательного процесса на качественно новый уровень, начиная с постановки новых целей и задач, определения инновационного содержания, использования современных образовательных технологий, разработки эффективных индикаторов оценивания результатов [5].

Существенно важным фактором решения проблем устойчивого развития является подготовка в высших учебных заведениях, на основе федеральных государственных образовательных стандартов, грамотных в вопросах экологии специалистов технологического профиля, специалистов экологического профиля и специалистов управленческого профиля.

Выпускник вуза – будущий специалист и руководитель должен обладать умением учитывать и предусматривать:

- 1) обеспечение экологической безопасности технологических процессов получения продукции, а также ее самой, основываясь на требованиях международных и отечественных стандартов;
- 2) состояние окружающей среды в регионе, оценивая относительный вклад предприятия в состояние окружающей среды, в том числе в результате прошлой деятельности;
- 3) интересы населения, общественности, акционеров, органов власти и других лиц в экологическом оздоровлении предприятия;
- 4) оценку необходимых ресурсов для реализации мер экологического оздоровления предприятия;
- 5) соотношение фактических показателей воздействия на окружающую среду с их значениями при оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) предполагаемой деятельности (продукции, услуг);
- 6) возможность пересмотра целей и задач экологической политики в соответствии с изменениями внешней ситуации;
- 7) порядок создания, документирования, внедрения и обеспечения функционирования системы экологического управления;
- 8) программно-целевое планирование деятельности по охране окружающей среды;
- 9) процедуры мониторинга и измерения на основе характеристик производственных процессов их экологических аспектов;
- 10) доступность и открытость информации об экологических аспектах деятельности предприятия, его продукции, услуг.

Иначе говоря, профессиональная компетентность современного конкурентоспособного специалиста и руководителя предполагает наличие системных функциональных

знаний экологических вопросов.

Следовательно, недостаточно дать студентам только информацию о существовании экологических проблем и путях их устранения. Главное заключается в выработке у специалиста внутренней потребности принимать адекватные экологически рациональные решения, то есть в формировании у них экологического мышления. Так как формирование экологического мышления предполагает достижение глубоких изменений в способе мировосприятия людей, их отношении к природному миру, образование должно быть не предметным, а проблемным [6]. Потребность внедрения такого подхода в процесс обучения обусловлена тем, что только решение студентами познавательных творческих задач будет содействовать развитию у них способности к творческому процессу постижения знаний, и вместе с тем формировать навыки самостоятельного мышления. Это согласуется с идеей компетентностного подхода и главным его тезисом «знать – уметь – владеть».

В Институте тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова (ИТХТ) Московского технологического университета уровень экологического образования и воспитания студентов химико-технологических специальностей рассматривается с учетом особенностей отрасли, в которую они будут направлены по окончании университета. От знания законов развития природы, основ экологии будет зависеть их профессиональное умение исключать негативное воздействие производств на окружающую среду. В процессе обучения студентам прививается идея непрерывного экологического образования, сущность которого выражается в единстве развития экологического мышления и сознания, экологической культуры личности и общества.

Важна здесь и эколого-экономическая составляющая. Исходя из необходимости взаимоадаптации работника и окружающей среды, при разработке и создании новой техники требуется тщательный учет текущих и отдаленных экологических последствий принимаемых технико-экономических мер, а при определении эффективности новых научно-технических решений должны также учитываться существенно растущие затраты на природоохранные мероприятия. Отметим, что работа профессорско-преподавательского состава ИТХТ, как, впрочем, и других вузов России, происходит в условиях, когда:

- главными неличностными элементами производительных сил выступают наука и новые технологии, т.е. во многих областях объем знаний удваивается каждые несколько лет;
- распространение беспроводных технологий в повседневной жизни (электронная сетевая среда) вызывает появление нового поколения студентов, ощущающих себя увереннее при общении через Facebook, чем лицом к лицу, т.е. охотнее использующих разные цифровые медиа- и электронные устройства для получения и оценки знаний как в реальном, так и в отсроченном времени, как в стенах учебного заведения, так и в режиме *on line*;
- российская экономика интегрируется в мировую экономику, где для всех участников действуют общие правила и нормы ВТО, в том числе учитывающие экологические аспекты при реализации экспортного потенциала предприятий и обеспечении конкурентоспособности продукции;
- практически каждый выпускник школы устремляется в вуз и считает наличие диплома о высшем образовании необходимым условием выхода на рынок труда, т.е. наблюдается «массовизация» высшего образования.

Следовательно, университетское образование теперь является лишь первой ступенькой в процессе образования в течение всей жизни. Целью образования становится выработка у обучающегося междисциплинарного критического мышления, приспособляющегося к требованиям научно-технического прогресса, задачей – «научить учиться» в течение всей жизни. Иначе говоря, необходимо дать начальный импульс и научить самого студента «догонять» стремительно «убегающую» технологическую организацию жизни. Эта идея является одним из главных приводных ремней в реформировании образовательных систем. Высшее образование перестает выполнять функцию «социального лифта» для какой-то части населения, а становится неперенным условием существования практически всех граждан при высокотехнологичном укладе жизни. Если для нормального функционирования индустриального общества было необходимо всеобщее среднее образование и массовая грамотность, сегодня в развитых странах для функционирования постиндустриального общества этого уже недостаточно: требуется массовое владение исследовательскими и проектными компетенциями» [7].

«Предусмотрительность предотвращает хлопоты», – говорят прагматичные немцы. И эта поговорка как нельзя лучше отражает кадровую политику тех компаний и корпораций, которые понимают: в современных условиях стремительного технического прогресса и жесткой конкуренции нет ничего более важного, чем грамотный и лояльный к работодателю и биосфере персонал [8].

В постиндустриальном обществе, основанном на знании, для подготовки нового поколения инженеров в ведущих университетах мира реализуется новый принцип инновационной образовательной среды: концепция CDIO (*Conceive, Design, Implement, Operate* / Придумывай – Разрабатывай – Внедряй – Управляй), созданная в Массачусетском технологическом институте (MIT) и направленная на разработку и создание новой техники и технологий, обеспечивающих новый социо-эколого-экономический эффект, а потому особо востребованных и конкурентоспособных [9].

В России для решения той же проблемы на федеральном уровне в учебных заведениях организовано по разным направлениям так называемое практико-ориентированное, или дуальное, обучение. Такая технология и методика подготовки специалистов позволяют студентам не только приобретать знания, но и осваивать избранную профессию непосредственно на производстве, а работодателям, в свою очередь, дают возможность получить опытного молодого специалиста, не тратя время на его переобучение [8]. Одной из возможных и перспективных форм реализации основных принципов дуального обучения является создание и функционирование корпоративных университетов [10].

Показательно, что массовое замещение выпускников-специалистов с инженерным дипломом бакалаврами свидетельствует о наличии в развитых странах и в России тенденции по выпуску так называемых «полуфабрикатов» в приложении к инженерному образованию с одновременным развитием индустрии по доводке этих «полуфабрикатов» до кондиций, позволяющих сформировать будущих специалистов с учетом корпоративной специфики, избегая издержек на переучивание [11].

Что касается экологических знаний, то в данном контексте обучающих траекторий (когда речь не идет о конкретных специалистах-экологах), им отводится сопутствующая роль практически во всех образовательных дисциплинах на трех уровнях: информацион-

но-познавательном, операционно-деятельностном и практико-ориентированном. Методически такой подход обозначается как экологизация учебных дисциплин. Информация по проблемам окружающей среды посредством алгоритма «знания плюс отношения» вводится в учебные курсы с учетом специфики каждого предмета в курсе лекций, на семинарских, лабораторных занятиях или по окончании изложения темы (раздела), в конце изучения всего теоретического курса. В итоге выстраивается следующая цепочка: экологическая грамотность → экологическая образованность → профессиональная компетентность в части ее экологической компоненты → экологическая культура, реализуемая в повседневной жизни и хозяйственной деятельности.

В ИТХТ им. М.В. Ломоносова Московского технологического университета фундаментом для решения задач создания глобально конкурентноспособной системы инженерно-технологического образования, обеспечивающей качество подготовки специалистов на уровне мировых экологоориентированных стандартов, служат сформировавшиеся за десятки предыдущих лет научные школы, обеспечивающие решение научных, инженерных и технологических проблем на стыке практических и научных сфер деятельности, широкого сотрудничества науки, образования и бизнеса [12–16], ориентирующиеся сегодня на международные научные и образовательные тренды.

Знаменательно, что благодаря экологической компоненте образования, цель которой состоит в формировании ноосферного мышления человека, способного жить в гармонии с собой и окружающим миром, студенты приобретают экологическое системное мышление. И сегодня термин «экологизация», понимаемый более широко, отражает триединую сущность человека, интегрирующую биологическое, духовное и социальное начала.

В итоге экологическое мировоззрение выражается в устойчивом познавательном интересе, во всестороннем интеллектуальном и личностном развитии, в изменении отношения к окружающему миру в целом, в формировании активной жизненной позиции и в проявлении общественно ценных черт.

Не случайными оказались темы инициативных и выпускных квалификационных работ, иллюстрирующие определенный социально значимый личный опыт действия и продиктованные желанием студентов внести свой вклад в развитие ИТХТ:

- «План озеленения территории МИТХТ им. М.В. Ломоносова» (2001 г.);
- «Эколого-экономическая целесообразность использования солнечных батарей в качестве альтернативного энергоснабжения МИТХТ им. М.В. Ломоносова» (2003 г.);
- «Социо-эколого-экономический эффект использования солнечных энергоустановок в жилищно-коммунальном секторе» (2008 г.) – о возможности использования солнечной энергии при эксплуатации общежития на Юго-Западе;
- «Ресурсо- и энергосберегающие биотехнологии по переработке органических отходов в экологически безопасные и эффективные биопродукты» (2017 г.) – о благоустройстве площадки перед главным входом ИТХТ путем обустройства трех клумб с добавлением в почву биогумуса и высадкой многолетних цветов.

Среди мероприятий по содействию решению местных экологических проблем, доступных для студентов ИТХТ и ими же организованных, можно выделить следующие: проведение экологического мониторинга, сбор макулатуры, организация раздельного сбора твердых бытовых отходов, участие в природоохранных акциях по очистке и благоустройству территорий.

Вовлеченность в перспективы улучшения окружающей среды, в которой предстоит жить – взгляд людей, которые своей деятельностью могут ее преобразовать.

Литература:

1. Наше общее будущее : Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР): пер. с англ. / Под ред. и с посл. С.А. Евтеева и Р.А. Перелета. М.: Прогресс, 1989. 376 с.
2. Реймерс Н.Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология. М., 1992. 250 с.
3. Игнатович И.В., Церцек Н.Ф., Сарьян А.В., Хабарова Е.И., Орлова И.Г. Профессиональное экологическое образование в России / Под ред. Е.Д. Самотесова, Н.Г. Рыбальского. М.: РЭФИА, 1997. 372 с.
4. Месхи Б.Ч., Пустовая Л.Е., Дымникова О.В. Организация многоуровневого непрерывного экологического образования // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 20–29.
5. Аргунова М.В., Плюснина Т.А. Реализация экологического образования в соответствии с требованиями ФГОС // На пути к устойчивому развитию России. 2013. № 64. С. 16–23.
6. Алексеев С.П. Опыт непрерывного экологического образования в Санкт-Петербурге // Экология и жизнь. 1999. № 3. С. 23–26.
7. Белоцерковский А.В. Российское высшее образование: о вызовах и рисках // Высшее образование в России. 2012. № 7. С. 3–9.
8. Михайличенко С.А. Кадры «под ключ» // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 83–88.
9. Инженерное образование: экспертная оценка, диагноз, перспективы (обзор) // Высшее образование в России. 2011. № 12. С. 65–76.
10. Газалиев А.М., Егоров В.В., Брейдо И.В. Дуальное обучение на базе корпоративного университета // Высшее образование в России. 2015. № 4. С. 44–50.
11. Иванов В.Г., Кондратьев В.В., Кайбияйнен А.А. Современные проблемы инженерного образования: итоги международных конференций и научной школы // Высшее образование в России. 2013. № 12. С. 66–77.
12. Береговых В.В., Быков В.А., Иванов В.Т., Миронов А.Ф., Овчинникова Т.В., Победимский Д.Г., Симонов-Емельянов И.Д., Соломонов В.А., Фролова А.К., Швеи В.И. Российский инновационный учебно-научный комплекс для подготовки кадров в области биотехнологии // Вестник МИТХТ. 2007. Т. 2. № 1. С. 34–39.
13. Хомутова Е.Г., Ткачевская Е.П., Соломонов В.А., Таран А.Л. Подготовка специалистов и магистров по метрологии, стандартизации и сертификации // Вестник МИТХТ. 2010. Т. 5. № 1. С. 118–119.
14. Иванов С.Ю., Иванова Д.В., Антонюк С.Н., Прокопов Н.И. Особенности профессиональной мобильности выпускников на рынке труда в условиях инновационного образования // Вестник МИТХТ. 2011. Т. 6. № 1. С. 90–94.
15. Пшеничникова А.Б., Швеи В.И. Подготовка кадров на кафедре биотехнологии и бионанотехнологии МИТХТ им. М.В. Ломоносова // Вестник МИТХТ. 2011. Т. 6. № 2. С. 8–14.
16. Третьяков В.Ф. Кафедра технологии нефтехимического синтеза и искусственного жидкого топлива имени А.Н.Башкирова // Вестник МИТХТ. 2013. Т. 8. № 6. С. 3–8.

Правила для авторов 2017

Рецензируемое периодическое сетевое научное издание Российский технологический журнал выходит 6 раз в год и публикует оригинальные экспериментальные и теоретические работы в виде полных статей, кратких сообщений, а также авторские обзоры и прогнозно-аналитические статьи по следующим разделам:

- Информационные системы. Информатика. Проблемы информационной безопасности.
- Роботизированные комплексы и системы. Технологии дистанционного зондирования неразрушающего контроля.
- Современные радиотехнические и телекоммуникационные системы.
- Микро- и нанoeлектроника. Физика конденсированного состояния.
- Аналитическое приборостроение и технологии.
- Математическое моделирование.
- Экономика наукоемких и высокотехнологичных предприятий и производств.
- Мировоззренческие основы технологии и общества.

Материалы могут представляться на русском или английском языках и издаются на языке оригинала. Все статьи принимаются к печати на основании результатов их рецензирования. Статьи, не соответствующие профилю журнала или не соответствующие его требованиям, отклоняются редколлегией без рецензирования.

Статьи представляются в виде файла формата MS-Word.

Рекомендуемый объем статьи – 10-15 страниц формата А4, обзора – 30-35 страниц формата А4, набранных шрифтом 12 Times New Roman через 1.5 интервала (вместе с таблицами и списком литературы).

В редакцию необходимо также представить:

- экспертное заключение;
- сопроводительное письмо от организации, в которой выполнена работа;
- авторы публикаций из Московского технологического университета должны представить выписку из протокола заседания кафедры с рекомендацией к опубликованию;
- заполненный договор о передаче права на использование произведения (два оригинальных экземпляра).

Текст необходимо набирать с полуторным межстрочным интервалом. Для основного текста **шрифт 12 Times New Roman**, поля по 2 см со всех сторон. Документ должен быть подготовлен в программе **Microsoft Word** и сохранен в формате **doc** или **rtf**. Нумерация страниц сквозная.

Первая страница статьи должна содержать (выравнивание по левому краю, шрифт Times New Roman):

- **УДК (шрифт 11);**
- **название статьи (шрифт 14, полужирный, прописными буквами);**
- **инициалы, фамилии авторов (шрифт 14, полужирный);**
- **полное наименование организации, где работают авторы (шрифт 11, курсив),** с указанием города, почтового индекса и страны. Если организаций две и более, необходимо цифровыми надстрочными индексами связать название учреждения и фамилии авторов, в нем работающих;

- e-mail автора, ведущего переписку (шрифт 10, курсив) (@Автор для переписки, e-mail);
- аннотацию (шрифт 9, курсив), которая должна адекватно представлять содержание и результаты статьи (объемом от 150 до 250 слов);
- ключевые слова (от 5 до 8 слов или сочетаний), которые характеризуют содержание статьи; ключевые слова приводятся в именительном падеже и печатаются строчными буквами, через запятые (шрифт 9, курсив).

Затем необходимо поместить на английском языке одним блоком (форматирование то же, что и в русском варианте):

- название статьи;
- инициалы и фамилии авторов;
- название организаций с указанием города, почтового индекса и страны;
- e-mail автора для переписки (@Corresponding author e-mail).
- аннотацию (объемом от 150 до 250 слов), (шрифт 9, Arial, курсив);
- ключевые слова (Keywords).

Авторам статей необходимо придерживаться следующей структуры текста статьи:

- краткое изложение состояния рассматриваемого вопроса и постановка задачи, решаемой в статье;
- метод решения задачи и принятые допущения;
- основное содержание статьи (например: описание сущности процессов и явлений; доказательства представленных в статье положений, исходные и конечные математические выражения; математические выкладки и преобразования; эксперименты и расчеты, примеры, иллюстрации);
- обсуждение полученных результатов и сопоставление с ранее известными;
- выводы и рекомендации.

Список литературы помещается в конце статьи и оформляется в соответствии с нижеприведенными требованиями. Цитируемая литература нумеруется в порядке упоминания в тексте, порядковый номер ссылки заключается в квадратные скобки. Список литературы должен быть сформирован вручную, без использования функции «Список».

В ссылках на цитируемую литературу следует указывать для журнала: фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том, номер, страницы от и до; для книги: фамилии и инициалы авторов, название, место издания (город), название издательства, год, общее число страниц; не рекомендуется ссылаться на авторефераты и диссертации.

Пример оформления ссылок:

1. Белкин М.Е., Сигов А.С. Новое направление фотоники – сверхвысококачественная оптоэлектроника // Радиотехника и электроника. 2009. Т. 54. № 8. С. 901–914.
2. Cosijns S.J.A.G. Displacement laser interferometry with sub-nanometer uncertainty. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2004. 189 p.

Помимо информации о литературных источниках статьи под названием «Список литературы» формируется блок «**References**» (см. пример). Для раздела «References» необ-

ходимо продублировать «Список литературы» с той же нумерацией, а ссылки на русскоязычные статьи представить в следующем виде: фамилии и инициалы авторов латинским шрифтом (транслитерация), название статьи на английском языке, транслитерация названия российского журнала и его перевод на английский язык, год, том (V. – volume), номер, страницы (P. – pages) от и до. Далее в скобках указать (in Russ.). Для книги: фамилии и инициалы авторов латинским шрифтом (транслитерация), название на английском языке, далее город по-английски, транслитерация наименования издательства с добавлением Publ. (Publisher).

Список литературы:

1. Мишина Е.Д., Шерстюк Н.Э., Зайцев А.А., Мухортов В.М., Сигов А.С. Переключаемый нелинейный двумерный сегнетоэлектрический фотонный кристалл // Изв. РАН. Сер. физическая. 2007. Т. 71. Вып. 10. С. 1424–1427.
2. Ковалев С.П., Китаева Г.Х., Ильин Н.А., Мишина Е.Д., Пенин А.Н., Сигов А.С. Нелинейно-оптическое детектирование терагерцевого излучения в периодически поляризованных кристаллах // Вестник МГУ. Сер. 3: Физика. Астрономия. 2011. № 1. С. 12–18.
3. Воротилов К.А., Мухортов В.М., Сигов А.С. Интегрированные сегнетоэлектрические устройства / Под ред. чл.-корр. РАН А.С. Сигова. М.: Энергоатомиздат, 2011. 174 с.
4. Socrates G. Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies. New York: John Wiley & Sons Ltd., 2001. 366 p.

References:

1. Mishina E.D., Sherstyuk N.E., Zaitsev A.A., Mukhortov V.M., Sigov A.S. Switchable nonlinear two-dimensional ferroelectric photonic crystal // Izv. RAN. Ser. phiz. (Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics). 2007. V. 71. Iss. 10. P. 1424–1427. (in Russ.).
2. Kovalev S.P., Kitaeva G.Kh., Il'in N.A., Mishina E.D., Penin A.N., Sigov A.S. Nonlinear optical detection of terahertz-frequency radiation in crystals with periodic domain structure// Vestnik MGU. Ser. 3. Phizika. Astronomiya. (Moscow University Physics Bulletin). 2011. № 1. P. 12–18. (in Russ.).
3. Vorotilov K.A., Mukhortov V.M., Sigov A.S. Integrated ferroelectric devices / Ed. A.S. Sigov. Moscow: Energoatomizdat Publ., 2011. 174 p. (in Russ.).
4. Socrates G. Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies. New York: John Wiley & Sons Ltd., 2001. 366 p.

По возможности, следует свести к минимуму цитирование источников, недоступных англоязычному читателю, а также не злоупотреблять самоцитированием, которое не должно превышать 30%. Все ссылки должны быть тщательно выверены.

В самом конце статьи необходимо привести сведения обо всех авторах по прилагаемому образцу.

Об авторах:

Битюков Владимир Ксенофонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической радиотехники и радиофизики Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Белянин Алексей Федорович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела АО ЦНИТИ «Техномаш» (121108, Россия, Москва, ул. Ивана Франко, д. 4).

Лавров Сергей Дмитриевич, аспирант кафедры нанoeлектроники Физико-технологического института ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Брук Лев Григорьевич, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химической технологии Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86).

About authors:

Vladimir K. Bityukov, Dr.Sc. (Engineering), Professor, Head of Chair of Theoretical Radio Engineering and Radio Physics, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

Alexey F. Belyanin, Dr.Sc. (Engineering), Professor, Head of Department, JSC TsNIITI "Technomash" (Central Scientific Research Technological Institute "Technomash") (4, Ivan Franko St., Moscow 121108, Russia).

Sergey D. Lavrov, Postgraduate Student, Chair of Nanoelectronics, Institute of Physics and Technology, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

Lev G. Bruk, Dr.Sc. (Chemistry), Professor, Head of Chair of General Chemical Technology, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, Moscow Technological University (86, Vernadskogo Pr., Moscow 119571, Russia).

На отдельной странице необходимо указать фамилию, имя, отчество, контактный телефон автора, с которым следует вести переговоры по вопросу публикации.

При оформлении рукописи рекомендуется соблюдать следующие требования:

При выборе единиц измерения рекомендуется придерживаться **Международной системы единиц СИ**.

Используемые в статье сокращения следует расшифровывать при первом упоминании в тексте (за исключением общепринятых сокращений).

Не допускается дублирование данных в тексте, таблицах и рисунках.

Формулы набираются в стандартном редакторе для Word, в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Использование других программ должно быть предварительно согласовано с редакцией. Размеры в математическом редакторе: обычный символ 10 пт, крупный индекс 8 пт, мелкий индекс 6 пт, крупный символ 12 пт, мелкий 8 пт. Если в тексте используется несколько формул, то они должны быть последовательно пронумерованы.

Таблицы должны иметь заголовки и порядковые номера, на которые даются ссылки в тексте. В таблицы включаются только необходимые цифровые данные. Таблица не должна выходить за рамки рабочего поля.

Рисунки размещаются в рамках рабочего поля непосредственно в тексте статьи исходя из логики изложения. Допускается использование рисунков в форматах JPEG, PNG, WMF, EPS, TIF.

Используемое в тексте сканированное изображение должно иметь разрешение не менее 300 точек на дюйм.

Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение. Рисунки могут включать краткие цифровые или буквенные обозначения (нумеруются слева направо или по часовой стрелке), набранные соответствующим остальному тексту шрифтом (размер не менее 9 и не более 11). При необходимости расшифровки деталей на самом рисунке дается их нумерация, все пояснения, относящиеся к деталям, помещаются под рисунком, в подрисуночной подписи. Все рисунки должны быть пронумерованы, в тексте обязательно должна быть ссылка на рисунок.

Все статьи, поступившие в редакцию, проходят экспертизу членов редколлегии и направляются на рецензирование. Выбор рецензента является прерогативой редакции (фамилии рецензентов авторам не сообщаются). **Статьи, принятые к публикации, тщательно редактируются.** Небольшие исправления стилистического, номенклатурного или формального характера вносятся в статью без согласования с авторами. Если в результате рецензирования или редактирования необходимы более серьезные исправления, статья отсылается авторам на доработку. Авторам следует внести в текст все необходимые с их точки зрения исправления, а также прокомментировать все замечания в ответном письме в редакцию. Доработанная рукопись должна быть возвращена в редакцию в максимально короткий срок (**не более 10 рабочих дней**) вместе с предыдущим вариантом статьи и электронной версией окончательного варианта.

Представление статьи для публикации подразумевает согласие авторов с настоящими правилами.

Адрес редакции: 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86, оф. Л-119

Тел.: +7(495)246-05-55 (доб. 2-88); **E-mail:** seredina@mirea.ru

Адрес доступа: <http://rtj.mirea.ru>

