

## 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 журнала, 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

**Кимель А.В.** Доцент Университета Радбауд, г. Наймеген (Нидерланды), к.ф.-м.н., 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@mgupri.ru

**Кузнецов В.В.** Директор 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 экономики и права Московского технологического университета, к.э.н., e-mail: mylnikova@mirea.ru

**Перно Ф.** Профессор, проректор по научной работе, Центральная Школа г. Лилль, Франция, e-mail: philippe.pernod@ec-lille.fr

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

**Савиных В.П.** Президент Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК), член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, e-mail: president@miigaik.ru

**Скотт Дж.** Профессор, член Лондонского Королевского общества, Университет Кембриджа, Великобритания, e-mail: jamesscott@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

## EDITORIAL BOARD

---

**Alexander S. Sigov** – Editor-in-Chief of the Journal, President of Moscow Technological University, Academician of RAS, D.Sc. (Phys.-Math.), Professor. E-mail: sigov@mirea.ru

**Stanislav A. Kudzh** – Rector of Moscow Technological University, D.Sc. (Engineering), Professor. E-mail: rector@mirea.ru

**Alexander K. Bolshakov** – Director of the Institute of Innovative Technologies and Public Administration of Moscow Technological University, Ph.D. (Economics), Associate Professor. E-mail: bolshakov@mirea.ru

**Tatyana M. Buslaeva** – Professor, D.Sc. (Chem.), Moscow Technological University. E-mail: buslaeva@mirea.ru

**Olga V. Esipova** – Executive Editor, Ph.D. (Chem.), Associate Professor, Moscow Technological University. E-mail: esipova@mirea.ru

**Dmitry O. Zhukov** – Head of the Department of Intelligent Technologies and Systems of Moscow Technological University, D.Sc. (Engineering), Professor. E-mail: zhukov\_do@mirea.ru

**Alexey V. Kimel** – Associate Professor, Ph.D. (Phys.-Math.), Radboud University, Nijmegen, Netherlands. E-mail: a.kimel@science.ru.nl

**Vladimir S. Kondratenko** – Head of the Department of Optical and Biotechnical Systems and Technologies of Moscow Technological University, D.Sc. (Engineering), Professor. E-mail: kondratenko\_vs@mgupi.ru

**Vladimir V. Kuznetsov** – Director of the Physical-Technological Institute of Moscow Technological University, Ph.D. (Engineering), Associate Professor. E-mail: kuznetsov@mirea.ru

**Gennady V. Kulikov** – Director of the Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems of Moscow Technological University, D.Sc. (Engineering), Professor. E-mail: kulikov@mirea.ru

**Anastasiya N. Myl'nikova** – Director of the Institute of Economics and Law of Moscow Technological University, Ph.D. (Economics). E-mail: mylnikova@mirea.ru

**Philippe Pernod** – Professor, Dean of Research, Ecole Centrale de Lille, France. E-mail: phillipe.pernod@ec-lille.

**Mikhail P. Romanov** – Director of the Institute of Cybernetics of Moscow Technological University, D.Sc. (Engineering), Professor. E-mail: m\_romanov@mirea.ru

**Viktor P. Savinykh** – President of Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Member-Correspondent of RAS, D.Sc. (Engineering), Professor, Twice Hero of the Soviet Union. E-mail: president@miigaik.ru

**James F. Scott** – Professor, Fellow of the Royal Society of London, Cambridge University, UK. E-mail: jamesscott@acm.org

**Viktor Y. Tsvetkov** – Advisor of Moscow Technological University, D.Sc. (Engineering), Professor. E-mail: cvj2@mail.ru

### EDITORIAL

**Alexander S. Sigov** – D.Sc. (Phys.-Math.), Professor. E-mail: sigov@mirea.ru

**Tatyana M. Buslaeva** – Professor, D.Sc. (Chem.). E-mail: buslaeva@mirea.ru

**Olga V. Esipova** – Executive Editor, Ph.D. (Chem.), Associate Professor. E-mail: esipova@mirea.ru

**Larisa G. Semernya** – Technical Editor. E-mail: semernya@mirea.ru

**Galina D. Seredina** – Managing Editor, Ph.D. (Engineering). E-mail: seredina@mirea.ru

**Viktor Y. Tsvetkov** – Professor, D.Sc. (Engineering). E-mail: cvj2@mail.ru

### Address:

86, Vernadskogo Pr., Moscow 119571, Russia (office L-119)

Phone: +7(495)246-05-55 (#288); e-mail: seredina@mirea.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### *ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ИНФОРМАТИКА. ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

- Деменкова Т.А., Томашевская В.С., Ширинкин И.С.** 5  
Мобильные приложения для задач дистанционного обучения

### *СОВРЕМЕННЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ*

- Бабенко В.П., Битюков В.К., Кузнецов В.В., Симачков Д.С.** 20  
Моделирование статических и динамических потерь  
в MOSFET-ключках

### *МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ*

- Струченков В.И.** 40  
Использование параболических сплайнов в САПР линейных сооружений

### *ЭКОНОМИКА НАУКОЕМКИХ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРОИЗВОДСТВ*

- Аскретков А.Д., Коряков А.Г.** 53  
Экономические аспекты производства фармацевтической субстанции  
гидроксиэтилкрахмала в малых промышленных масштабах

- Краснянская О.В., Мандыч И.А.** 63  
Процесс управления маркетинговым потенциалом фирмы

### *МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ И ОБЩЕСТВА*

- Калинов В.В.** 74  
Достижения и просчеты государственной научно-технической политики  
СССР в послевоенный период

## CONTENTS

---

### *INFORMATION SYSTEMS. INFORMATICS. PROBLEMS OF INFORMATION SECURITY*

- Demenkova T.A., Tomashevskaya V.S., Shirinkin I.S.*** 5  
Mobile applications for tasks of distance learning

### *MODERN RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS*

- Babenko V.P., Bityukov V.K., Kuznetsov V.V., Simachkov D.S.*** 20  
Simulation of static and dynamic losses in MOSFET keys

### *MATHEMATIC MODELING*

- Struchenkov V.I.*** 40  
The use of parabolic splines in CAD of linear structures

### *ECONOMY OF KNOWLEDGE-INTENSIVE AND HI-TECH ENTERPRISES AND PRODUCTIONS*

- Askretkov A.D., Koryakov A.G.*** 53  
The some economic aspects of production of pharmaceutical substance hydroxyethyl starch in small industrial scale

- Krasnyanskaya O.V., Mandych I.A.*** 63  
Management of marketing potential of the company

### *PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF TECHNOLOGY AND SOCIETY*

- Kalinov V.V.*** 74  
The achievements and failures of the state scientific and technical policy of the USSR in the postwar period

УДК 378.14

## **МОБИЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Т.А. Деменкова<sup>@</sup>,  
В.С. Томашевская,  
И.С. Ширинкин**

*Московский технологический университет, Москва 119454, Россия*

*<sup>@</sup>Автор для переписки, e-mail: demenkova@mirea.ru*

В работе рассматривается актуальная проблема перевода некоторых задач дистанционного обучения на мобильную платформу. Исследования выполнены на базе нескольких поколений специально разработанных программных средств Favourite Subject. Предложена технология разработки и реализации мобильного приложения системы дистанционного обучения для смартфонов с операционной системой Android. Поставлена задача применения системы и для организации дистанционного обучения по международной программе двойного диплома. Предполагается включение специальных разработок, в том числе использование решателей задач, что существенно сокращает время при выполнении работ в части аппаратной реализации алгоритмов цифровой обработки информации. Рассматривается возможность использования мобильного приложения для научно-исследовательской работы и выполнения практик по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности, которые занимают существенное место в подготовке магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника» в рамках программы «Архитектура вычислительной техники и информационных систем». Предложены подход и методика реализации индивидуальной системы дистанционного обучения на основе стандартных модулей-приложений. Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке основных параметров программной системы.

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, мобильное приложение, проектирование цифровых устройств, Android, клиент-сервер.

## **MOBILE APPLICATIONS FOR TASKS OF DISTANCE LEARNING**

**T.A. Demenkova<sup>@</sup>,  
V.S. Tomashevskaya,  
I.S. Shirinkin**

*Moscow Technological University, Moscow 119454, Russia*

*<sup>@</sup>Corresponding author e-mail: demenkova@mirea.ru*

The article considers the actual problem of transferring some tasks of the distance learning onto a mobile platform. The research was carried out on the basis of several generations of custom-designed software for the preparation of masters on the direction «Informatics and Computer Technology» within the framework of the program «Architecture of Computer Technology and Information Systems». The paper describes the technology for developing and implementing a mobile application for a distance learning system for smartphones running the Android operating system. The task was to apply the system for the organization of distance learning in the international double-degree program in the framework of cooperation with foreign universities. The specificity of such an application lies in the possibility of teaching in English using software to combine the two training programs of participating universities to form individual training plans depending on the previous master's knowledge. It is planned to include special developments, for example, the use of task solvers to reduce the burden on teachers accompanying the learning process. This will reduce the time when solving difficult tasks as related to hardware implementation of algorithms for digital processing of information. Thus, we can speak about the expansion of the research part of this scientific project and the emerging possibility of using a mobile application for research and implementation of practices for obtaining professional skills and professional experience that occupy a significant place in the curriculum of undergraduates. The approach and methodology are proposed for implementing an individual distance learning system based on standard application modules using emulators. The results of experiments according to key parameters of the program system are presented.

**Keywords:** distance learning, mobile application, digital device design, Android, client-server.

### Введение

В настоящее время актуальна задача создания систем дистанционного обучения, предназначенных для изучения различных дисциплин, в частности, для обучения методам разработки цифровой техники. В представленной работе описана методика реализации мобильного приложения для системы дистанционного обучения, предназначенного для смартфонов с операционной системой Android, а также технология проведения экспериментальных исследований для оценки основных параметров системы по загрузке памяти и производительности. Разработанный программный продукт позволяет пользователю изучать текстовые материалы, материалы в форме презентаций, проходить тестирование по выбранной дисциплине. Мобильное приложение дополняет разработанные программные средства дистанционного обучения методам проектирования цифровых устройств Favourite Subject (FS) [1].

В качестве исходных данных использованы рабочие программы по верификации проектов устройств и систем в САПР, контролю и диагностике цифровых устройств, методам проектирования цифровых устройств на программируемых логических интегральных схемах.

Рассмотрим существующие сервисы для дистанционного обучения (СДО), которые имеют отношение к тематике данного исследования.

**СДО Web Soft.** Компания Web Soft предлагает мобильное приложение для устройства iPad на базе операционной системы ios. Данная система имеет название iWeb Tutor. Она позволяет загрузить из системы дистанционного обучения после установки на iPad

любые электронные курсы, которые поддерживают стандарт SCORM, и предоставляет возможности их изучения без постоянного подключения к серверу. При этом приложение собирает и хранит всю статистику о процессе обучения: затраченное время, набранные баллы, комментарии пользователя и т.п.<sup>1</sup>. Интерфейс программы представлен на рис. 1.



Рис. 1. СДО iWeb Tutor.

**Программные средства Teach base.** Компания Teach base предлагает пользователю веб-сервис для дистанционного обучения. Данный сервис дает возможность работать в браузере, где пользователь может выбирать курсы для обучения, проходить тестирование, общаться с пользователями и преподавателями в чате, а также осуществляет сбор статистики обучения по каждому пользователю<sup>2</sup>. На рис. 2 представлен экран интерфейса веб-сервиса Teach base.

### Постановка задачи

Мобильное приложение Favourite Subject (FS) должно предоставлять пользователям, обучающимся по программам дистанционного обучения магистратуры и аспирантуры, возможность изучать материалы, проходить тестирование, используя мобильное устройство на базе операционной системы Android. Данная разработка предназначена также для организации дистанционного обучения по международной программе двойного диплома в рамках сотрудничества Московского технологического университета с зарубежными университетами. Специфика такого приложения заключается в возможности обучения на

<sup>1</sup>Мобильное приложение WebSoft [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.websoft.ru> (дата обращения 21.12.2017).

<sup>2</sup>Система дистанционного обучения Teachbase [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http:// http://teachbase.ru](http://http://teachbase.ru) (дата обращения 21.12.2017).

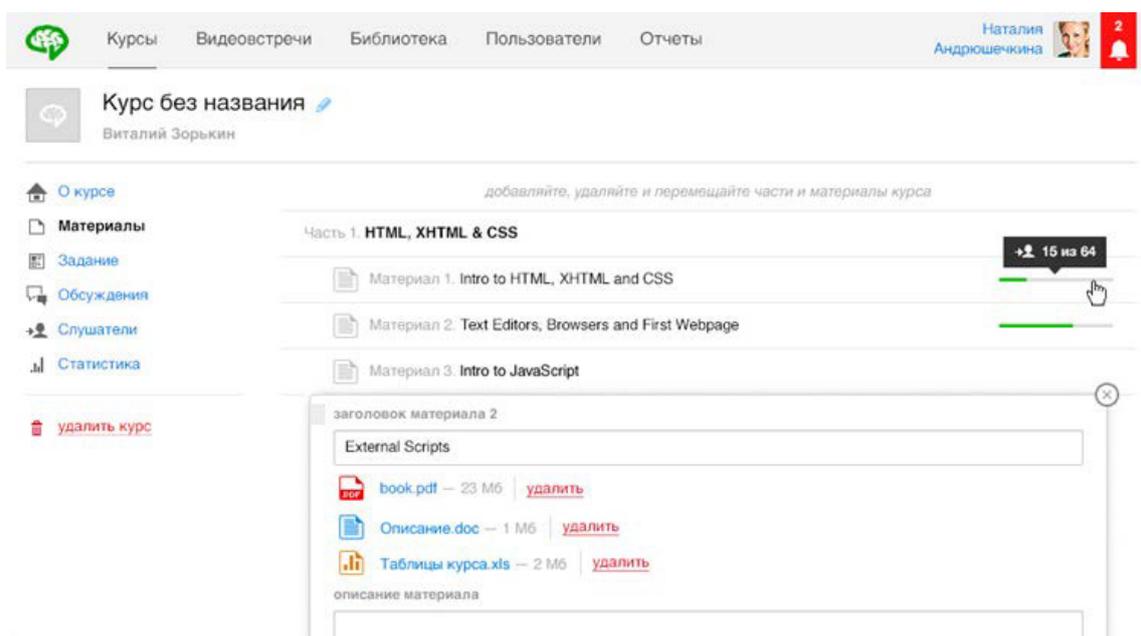


Рис. 2. Веб-сервис Teach base.

английском языке, использовании программных средств, позволяющих объединить две программы обучения участвующих университетов для формирования индивидуальных планов обучения в зависимости от предыдущих знаний магистранта. Существующие мобильные приложения не обладают такими функциями и средствами. Дальнейшее развитие проекта FS предполагает включение специальных разработок, например, использование решателей задач для уменьшения нагрузки на преподавателей, сопровождающих процесс обучения. Это позволит сократить время на изучение трудных задач в части аппаратной реализации алгоритмов по цифровой обработке информации.

Таким образом, можно говорить о расширении исследовательской части данной разработки и появляющейся возможности использования мобильного приложения для научно-исследовательской работы, выполнения практик по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности, которые занимают существенное место в магистерской программе «Архитектура вычислительной техники и информационных систем» [2–5].

### Реализация мобильного приложения

Реализованное приложение можно разделить на две части<sup>3</sup>:

- клиентское приложение;
- сервер.

Клиентское приложение после процесса регистрации и/или авторизации пользователя дает возможность выбора дисциплины для изучения из списка доступных вариантов. После этого пользователь выбирает способ изучения выбранного предмета:

- ознакомление с текстовыми материалами;

<sup>3</sup>Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017618594. Мобильное приложение для системы дистанционного обучения методам проектирования цифровых устройств / Деменкова Т.А., Ширинкин И.С.; заявл. 22.06.2017, опубл. 04.08.2017.

- ознакомление с материалами в формате презентаций;
- прохождение тестирования.

При первом запуске программы пользователю предлагается пройти регистрацию, после чего происходит авторизация по использованным при регистрации данным. В результате происходит обращение к серверу и осуществляется запись данных о новом пользователе или проверка на наличие в базе введенной пользовательской информации. Хранение пароля производится с использованием «соли» – это строка данных, зачастую строка случайных символов, которая передается хеш-функции вместе с паролем и предназначена для сокрытия возможно одинаковых паролей. Данный метод заключается в том, что в базе данных хранится не просто зашифрованный с помощью хеш-функции пароль, а зашифрованная строка, состоящая из пароля и «соли». Такой подход к хранению паролей существенно усложняет, а в некоторых случаях исключает возможность дешифровать пароль при краже базы данных.

Следует подчеркнуть, что в процессе авторизации есть возможность выбрать опцию «запомнить пароль», которая позволяет не проходить процедуру авторизации снова при последующих запусках приложения на данном устройстве. Эта функция реализована с использованием стандартного класса Preference Manager, который позволяет сохранять информацию непосредственно на смартфоне после завершения работы приложения и восстанавливать ее при последующем запуске. На рис. 3 представлены экраны регистрации и авторизации пользователей.

После успешной авторизации пользователю предлагается список доступных для изучения дисциплин и затем список способов изучения.

Для отображения материалов нами предложено использовать материалы в формате PDF, поскольку стандартные средства разработки для Android не дают возможности ра-

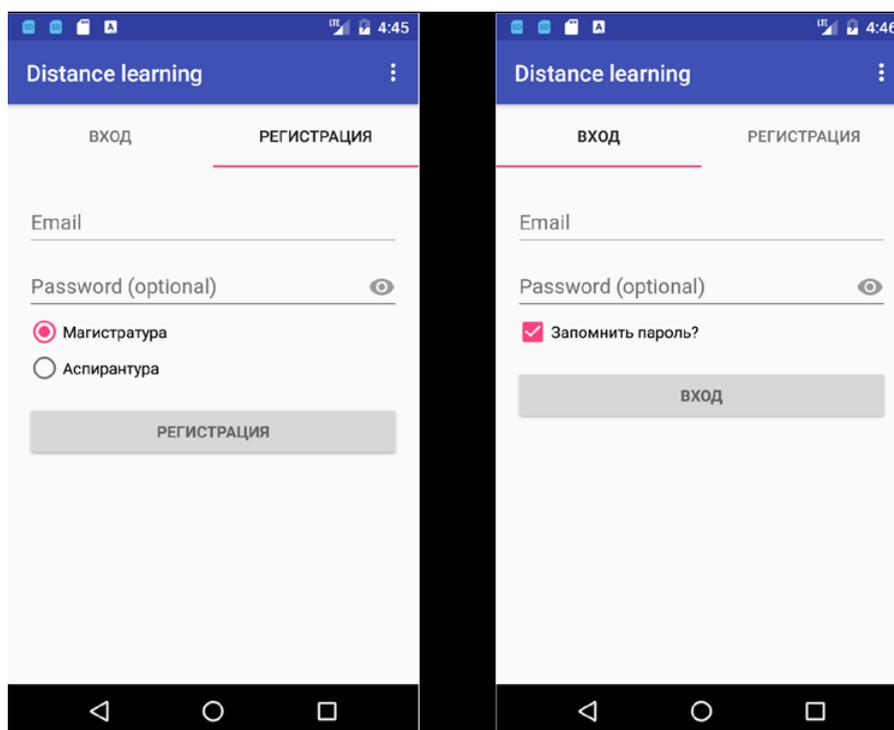


Рис. 3. Экраны регистрации и авторизации.

боты с текстовыми «.doc»-файлами и файлами презентаций. После конвертации файлов в формат PDF они отображались с помощью сторонней библиотеки PDF View.

Возможность проходить тестирование реализована стандартными средствами разработки Android<sup>4</sup>. Использовали текстовое поле для отображения вопроса и четыре кнопки с ответами, которые каждый раз случайным образом перемешивались, чтобы избежать расположения кнопки с правильным ответом на одном и том же месте. При выборе неправильного варианта выбранный ответ подсвечивается красным цветом, а правильный – зеленым. Соответственно, при выборе правильного варианта ответ подсвечивается зеленым цветом. В качестве формата данных для хранения информации о тесте в силу простоты и удобства использования выбран формат XML-файла.

После прохождения тестирования информация о результате сохраняется, чтобы пользователь мог видеть уровень своих знаний и, повторно изучив текстовый материал или материал в формате презентаций, мог улучшить свой результат. На рис. 4 и 5 видим экран просмотра текстовых материалов и прохождения тестирования, экран просмотра материалов в формате презентаций, соответственно.

Работа клиентского приложения тесно связана с работой сервера. Приложение отправляет на сервер запросы на регистрацию и авторизацию, получение списков дисциплин, списков доступных материалов и непосредственно сами материалы. На основании полученных ответов от серверного приложения строится дальнейшая работа приложения. На рис. 6 дан алгоритм работы клиентского приложения.

Назначением сервера в данной работе является непосредственное хранение материалов для изучения, обеспечение работы системы управления базами данных (СУБД) MySQL, предназначенной для хранения данных о зарегистрированных пользователях,

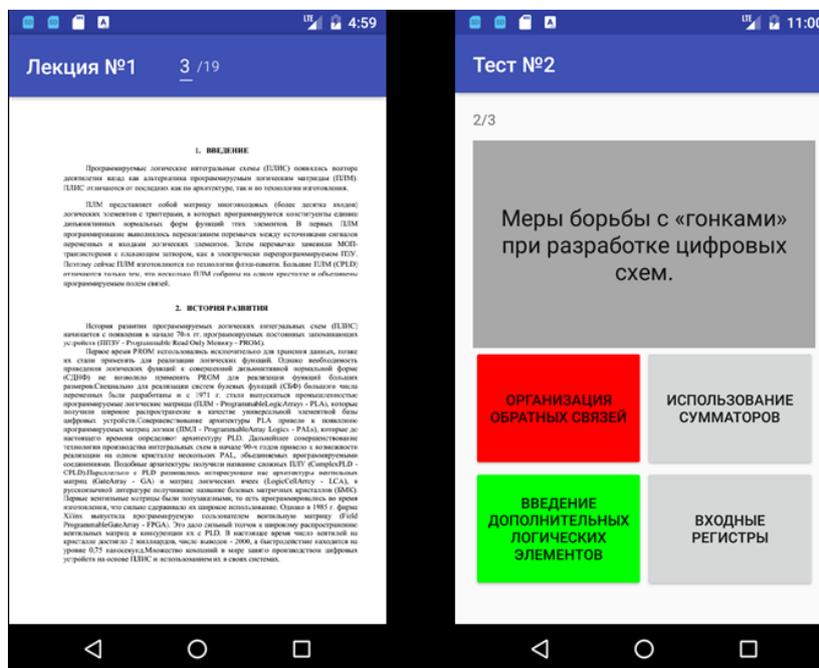


Рис. 4. Экран просмотра текстовых материалов и прохождения тестирования.

<sup>4</sup>Средства разработки Android [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://developer.android.com> (дата обращения 21.12.2017.)

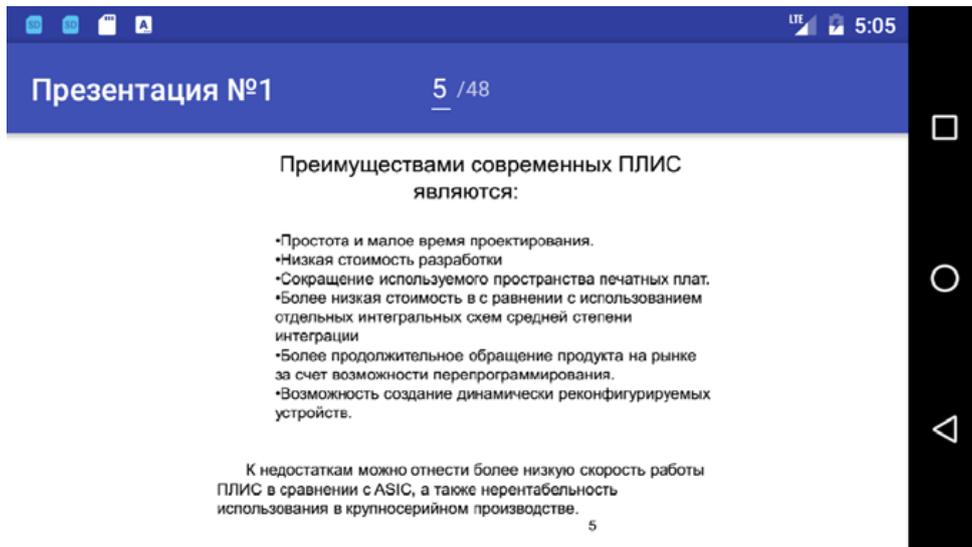


Рис. 5. Экран просмотра материалов в формате презентаций.

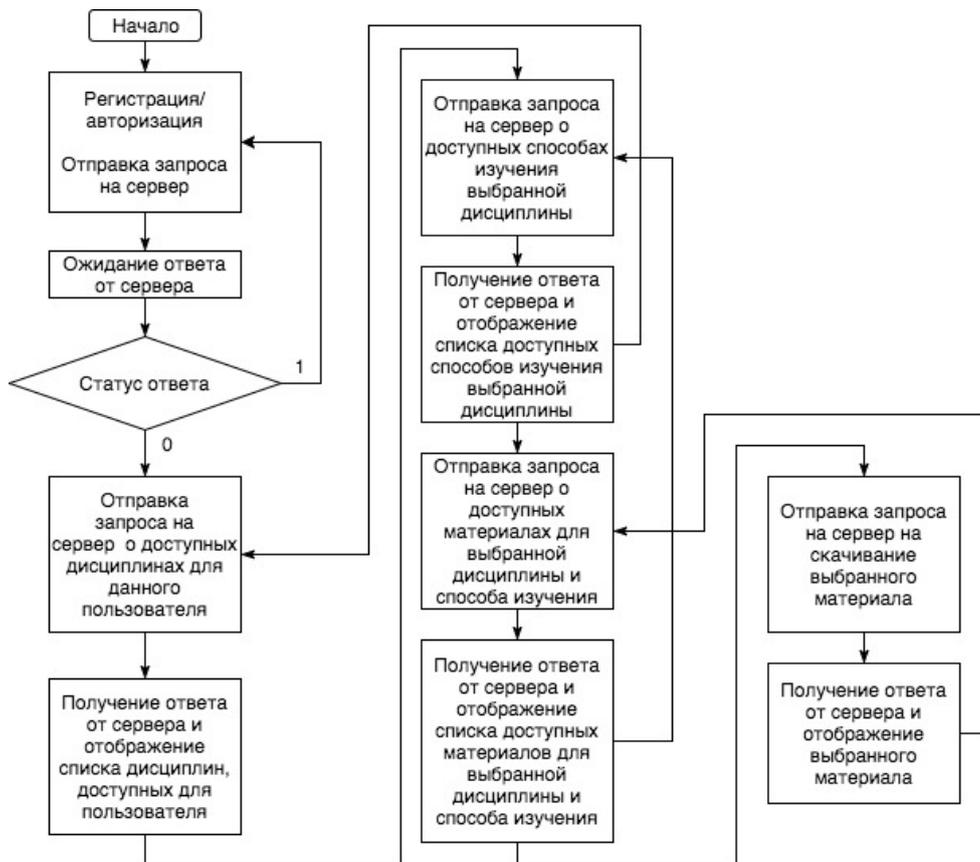


Рис. 6. Алгоритм работы клиентского приложения.

а также работа с запросами, поступающими с клиентского приложения. База данных, которой управляет СУБД MySQL, представляет собой структурированный набор данных. Сами данные могут быть представлены в виде обычного списка, перечня библиотечных элементов для проектирования на языках описания аппаратуры, информационных файлов по различным разделам блока изучаемых дисциплин по магистерской программе «Архитектура вычислительной техники и информационных систем»<sup>5</sup>.

В качестве сервера использована платформа Microsoft Azure – облачная платформа Microsoft, предоставляющая возможность разработки и выполнения приложений и хранения данных на серверах, расположенных в распределенных дата-центрах. На этой платформе развернута служба приложений с возможностью использования СУБД MySQL, а также хранения файлов. На рис. 7 приведена структура хранения файлов на сервере.

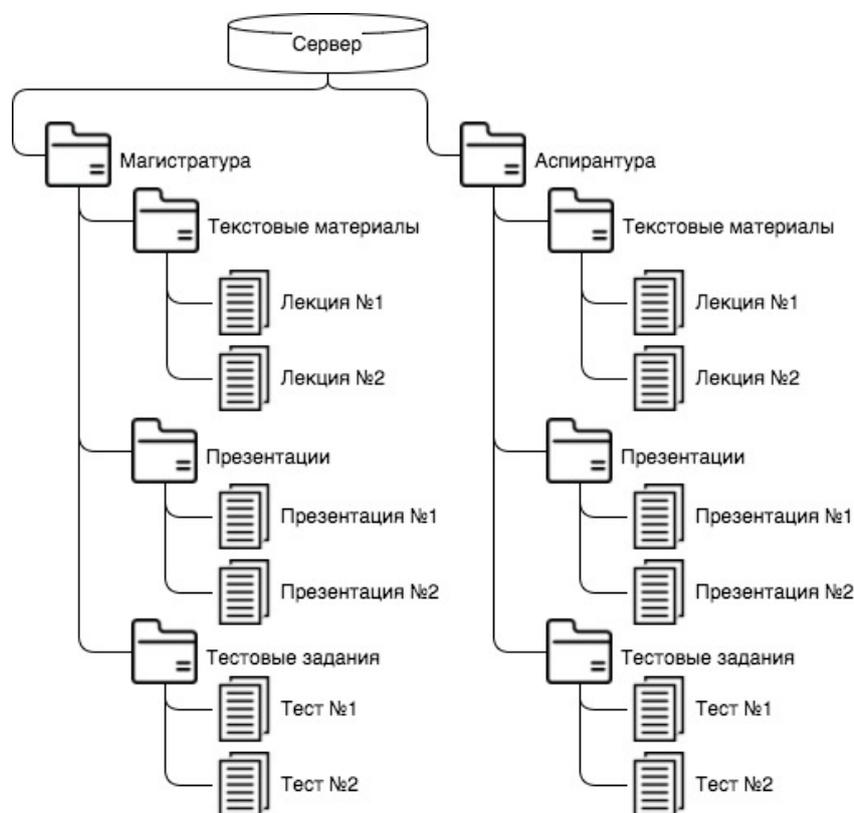


Рис. 7. Структура хранения файлов на сервере.

С целью взаимодействия клиентского приложения с сервером нами использован веб-фреймворк для приложений Node.js под названием Express.js, в котором содержится достаточно полный набор функций для мобильных и веб-приложений. Node или Node.js – программная платформа, основанная на движке V8 (транслирующем Java Script в машинный код), превращающая Java Script из узкоспециализированного языка в язык общего назначения<sup>6</sup>. Node.js применяется преимущественно на сервере, выполняя роль веб-сервера.

<sup>5</sup>Справочное руководство по СУБД MySQL [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mysql.ru> (дата обращения 21.12.2017).

<sup>6</sup>Разработка web-приложений на основе библиотек Express.js. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://expressjs.com> (дата обращения 21.12.2017).

С использованием фреймворка Express.js написаны обработчики POST и GET запросов к серверу:

- запрос на регистрацию нового пользователя – серверное приложение заносит в базу данных новую запись;
- запрос на авторизацию пользователя – серверное приложение обращается к базе данных для проверки наличия принятых сведений о пользователе и на основании ответа базы данных отправляет клиентскому приложению ответ;
- запрос на получение списка доступных дисциплин;
- запрос на получение списка доступных способов изучения выбранной дисциплины;
- запрос на получение списка доступных материалов по выбранной дисциплине и способа изучения;
- запрос на скачивание выбранного файла с материалами для изучения или файла загрузочных данных для тестирования и другие.

Предложенный подход позволяет с легкостью обращаться к СУБД MySQL и файлам на сервере из клиентского приложения.

Для разработанного приложения развернута база данных MySQL, имеющая одну таблицу. В создании большего количества таблиц нет необходимости при текущем функционале. Таблица состоит из следующих полей:

- id – первичный ключ;
- name – имя пользователя;
- salt – «соль»;
- password – зашифрованная хеш-функцией MD5 строка, состоящая из зашифрованного хеш-функцией MD5 пароля и «соли»;
- degree – вид обучения: магистратура или аспирантура.

MD5 является одним из алгоритмов хеширования на 128-битной основе. Под хешированием понимают преобразование входных данных по определенному алгоритму в битовую строку определенной длины. При этом полученный в ходе вычислений результат представлен в шестнадцатеричной системе исчисления. Она называется хешем, хеш-суммой или хеш-кодом. Серверное приложение работает постоянно, независимо от того, запущены клиентские приложения или нет. Сервер принимает запрос от клиента и анализирует его. В случае, если приходит запрос, который не заложен в обработчике или указаны неверные данные, отправляется отрицательный ответ клиенту. В противном случае происходит анализ полученного запроса: определение типа запроса, выполнение соответствующих действий и отправка ответа клиентскому приложению.

Например, приходит запрос на авторизацию пользователя с данными: имя пользователя и зашифрованный хеш-функцией MD5 пароль. Серверное приложение определяет полученный запрос и выполняет следующие действия: происходит обращение к базе данных для получения «соли» конкретного пользователя; далее шифруется хеш-функцией MD5 строка, состоящая из пришедшего от клиента зашифрованного пароля и взятой из базы данных «соли». Снова происходит обращение к базе данных для получения поля пароля для данного пользователя. После этого происходит сравнение зашифрованной строки пришедшего пароля с «солью» и взятой из базы данных строки пароля. В случае совпадения отправляется положительный ответ на клиентское приложение и процесс авторизации успешно завершается. На рис. 8 представлен алгоритм работы сервера.

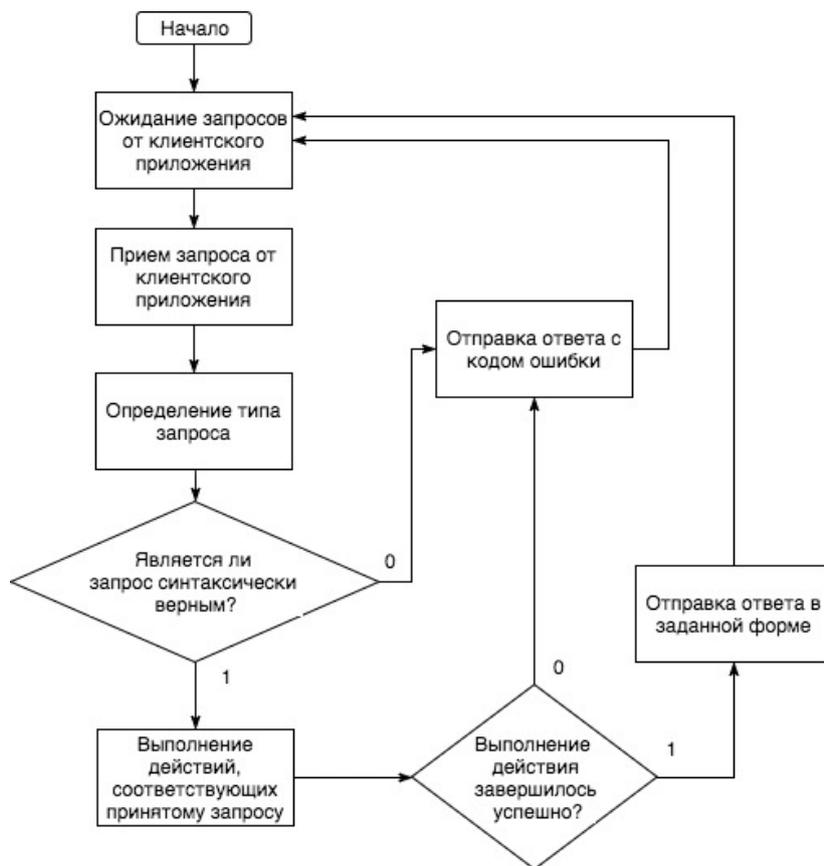


Рис. 8. Алгоритм работы сервера.

### Результаты экспериментальных исследований

Для реализации работы мобильного приложения принципиальным становится вопрос о выборе устройства, на котором будет запущено программное обеспечение. В связи с этим нами проведены исследования, связанные с использованием памяти, центрального процессора, скорости и времени использования сети, а также времени размещения графических материалов на экране мобильного устройства. Для проведения эксперимента в качестве устройства использовали модель Samsung Galaxy Nexus со следующими основными характеристиками:

- операционная система: Android 5.1.1;
- CPU: Intel Atom (x86);
- оперативная память: 1024 Мбайт;
- разрешение экрана: 1280×720.

Рассмотрим поведение таких параметров, как использование приложением памяти устройства, процент использования центрального процессора, время и скорость использования приложением сети и время размещения и отображения графических материалов, на разных этапах работы мобильного приложения.

На рис. 9 приведены графики изменения параметров при запуске мобильного приложения.

По оси X на всех графиках указывается время в секундах, по оси Y – на первом графике отображено использование мобильным приложением памяти смартфона в Мбайт,



Рис. 9. Запуск мобильного приложения.

на втором – показано использование центрального процессора в процентах, на третьем – выведено время, необходимое устройству для передачи и приема данных в Кбайт/с, на четвертом отображено количество миллисекунд, за которое графический процессор выполняет отдельные этапы конвейера рендеринга (зеленая линия указывает на 60 кадров в секунду (FPS), красная – 30 FPS). При рассмотрении последующих этапов работы программного обеспечения использовали графики такого же формата.

Анализируя полученные данные, можно заключить, что на этапе запуска мобильного приложения используется 8 Мбайт памяти. В момент непосредственной загрузки приложения использование центрального процессора поднимается до уровня 40%, и дальше уровень загрузки не превышает 5%, так как в приложении не производят никаких действий. График использования сети не отображает на данном этапе никакой активности, потому что приложение было запущено повторно, и производить процесс авторизации с обращением к серверу не понадобилось. Загрузка графического процессора видна только в начале графика – это объясняется тем, что после запуска не происходило изменение графических элементов на экране устройства.

Следующим этапом работы приложения стало отображение текстовых материалов и презентаций. На рис. 10 и 11 даны графики изменения параметров производительности на рассматриваемых этапах.

Указанные два этапа работы программы схожи, поэтому рассмотрим их графики параметров производительности параллельно. В обоих случаях в начале этапа количество используемой памяти вырастает с 8 до 22 Мбайт. Такой скачок обусловлен работой мобильного приложения с большим количеством данных – файл с текстовым материалом и презентацией. Загрузка центрального процессора в рассматриваемых эпизодах примерно одинакова и составляет около 60% на протяжении всей работы с файлами. Графики, отображающие использование сети, показывают единовременную активность в обоих случаях, что обусловлено процедурой загрузки файла с сервера на устройство. Данный параметр зависит от скорости интернет-соединения и размера скачиваемого файла. Активное изменение показателя загрузки графического процессора показывает процесс пролистывания страниц текстового материала, а также слайдов презентации, который требует по-

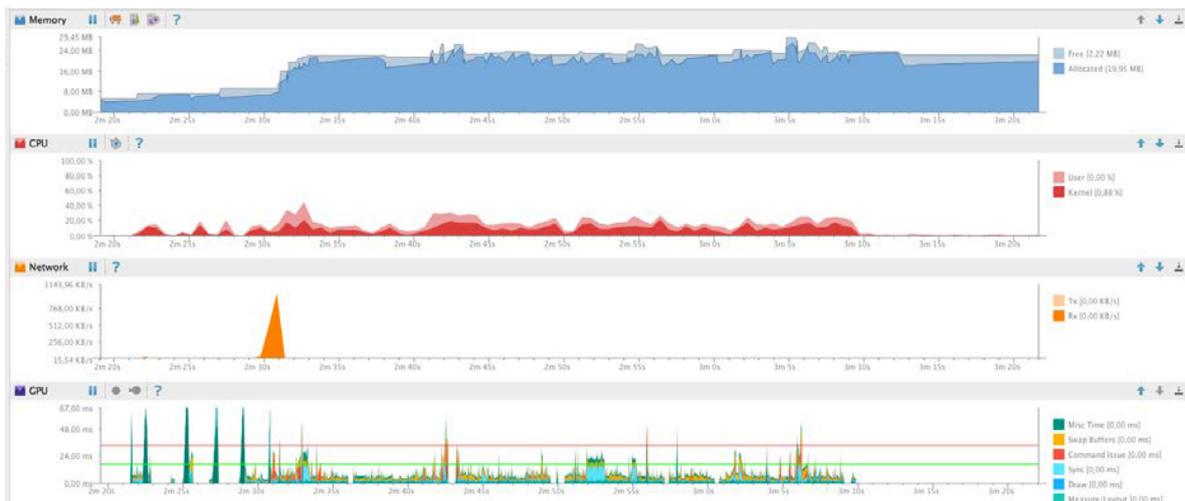


Рис. 10. Графики изменений параметров на этапе просмотра текстового материала.

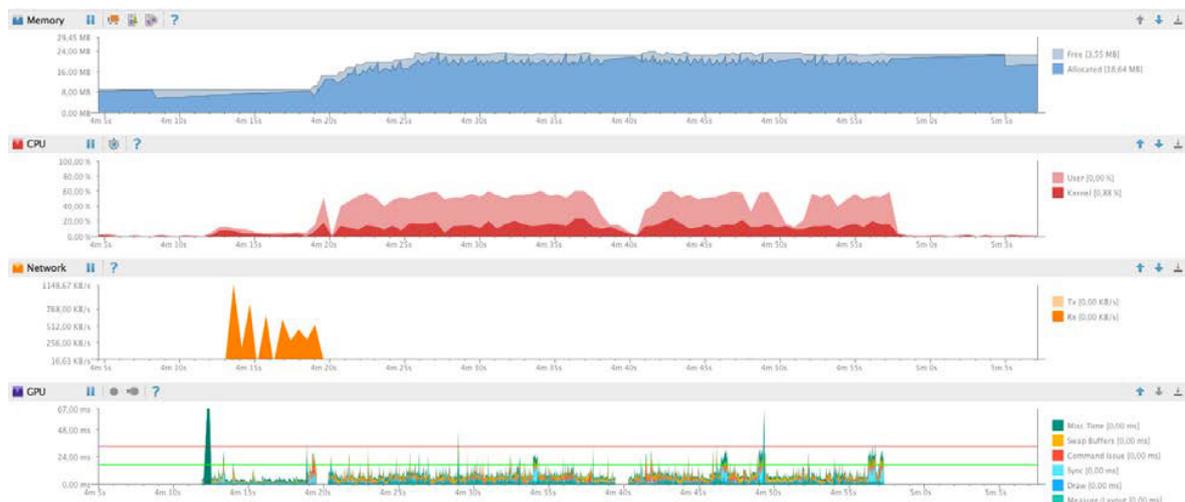


Рис. 11. Этап просмотра презентации.

стоянного обновления графических элементов на экране мобильного приложения.

Еще одним этапом является прохождение тестирования. Графики изменений параметров производительности представлены на рис. 12. Данный процесс подобен выше рассмотренным этапам просмотра материалов. Процедура тестирования занимает меньше времени центрального процессора, однако максимальный процент использования остается равен 60%. Аналогично ведут себя показатели использования графического процессора.

Завершающим из рассматриваемых этапов является переход в главное меню программы или подготовка к завершению работы приложения. Данные по изменению параметров производительности представлены на рис. 13.

Очевидно, что количество используемой памяти падает от 22 до 8 Мбайт. При выходе в главное меню программы использованные ранее объекты и ресурсы оказываются ненужными, и система очищает память. Из графиков следует также, что прекращается активное использование центрального и графического процессоров.



Рис. 12. Изменение параметров на этапе прохождения тестирования.

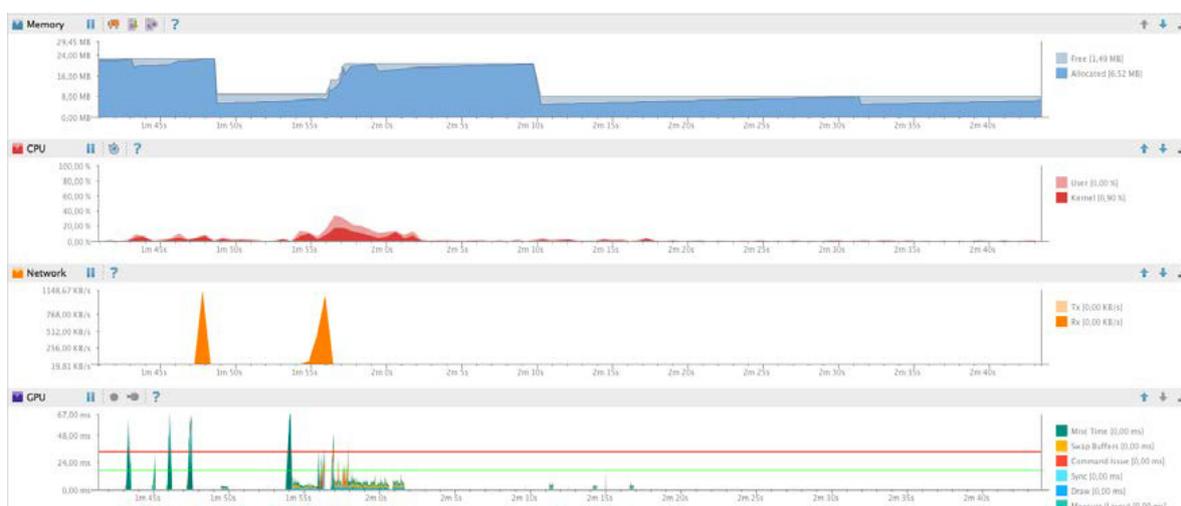


Рис. 13. Этап подготовки к завершению работы приложения.

## Заключение

На основании проведенных нами экспериментальных исследований показано, что на протяжении всей работы мобильного приложения Favourite Subject количество используемой памяти не превышает значения в 24 Мбайт. Это показывает отсутствие «утечек памяти», а также наличие хорошей архитектуры программного обеспечения. В мобильном приложении отсутствует необходимость постоянного подключения к сети: эта возможность реализуется только непосредственно во время получения информации с сервера. Приложение использует центральный и графический процессоры только в те моменты, когда это необходимо. Оно не загружает указанные части устройства на 100%, что гарантирует отсутствие «подвисаний» приложения. Отсутствует постоянное непрекращающееся использование центрального и графического процессоров, что подтверждается данными с приведенных выше графиков.

На основании анализа полученных данных можно утверждать, что разработанная программа имеет довольно хорошую производительность.

Полученные результаты могут быть использованы при реализации учебных планов подготовки магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника» для магистерской программы «Архитектура вычислительной техники и информационных систем».

### Литература:

1. Деменкова Т.А. Favourite Subject – система дистанционного обучения (разработка, исследование и методика применения) // *Educational Technology & Society*. 2004. №7 (3). С. 173–179.
2. Сухомлин В.А. Международные образовательные стандарты в области информационных технологий // *Прикладная информатика*. 2012. № 1(37). С. 33–54.
3. Нечаев В.В., Панченко В.М., Комаров А.И. Междисциплинарный системообразующий базис организации процесса подготовки специалистов по научным направлениям // *Открытое образование*. 2012. № 5. С. 70–78.
4. Сухомлин В.А., Зубарева Е.В. Куррикулумная стандартизация ИТ-образования на современном этапе // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2016. Т. 12. № 3. Ч. 1. С. 40–46.
5. Деменкова Т.А. Адаптивная система электронного обучения для подготовки магистров // *Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов*. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2016. С. 123–124.

### References:

1. Demenkova T.A. Favourite Subject – system of distance learning (development, research and methods of application) // *Educational Technology & Society*. 2004. № 7 (3). P. 173–179. (in Russ.).
2. Suhomlin V.A. International educational standards in the field of information technology // *Prikladnaya informatica (Journal of Applied Informatics)*. 2012. № 1 (37). P. 33–54. (in Russ.).
3. Nechaev V.V., Panchenko V.M., Komarov A.I. Interdisciplinary system-basis organization of specialist training process research areas // *Otkrytoe obrazovanie (Open Education)*. 2012. № 5. P. 70–78. (in Russ.).
4. Suhomlin V.A., Zubareva E.V. Curricular standardization of IT education at the present stage // *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye «Modern Information Technologies and IT-Education»*. 2016. V. 12. № 3. Part 1. P. 40–46. (in Russ.).
5. Demenkova T.A. Adaptivee-learning system for the masters preparation // *(Modern education: The problems of interrelating educational and professional standards)*. – Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics Publ., 2016. P. 123–124. (in Russ.).

*Об авторах:*

*Деменкова Татьяна Александровна*, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Института информационных технологий ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

*Томашевская Валерия Сергеевна*, кандидат технических наук, доцент кафедры корпоративных информационных систем Института информационных технологий ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

*Ширинкин Илья Сергеевич*, магистрант кафедры вычислительной техники Института информационных технологий ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

*About the authors:*

*Tatiana A. Demenkova*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor of the Chair of Computer Technology, Institute of Information Technologies, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

*Valeriya S. Tomashevskaya*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor of the Chair of Corporate Information Systems, Institute of Information Technologies, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

*Ilya S. Shirinkin*, Student of the Chair of Computer Technology, Institute of Information Technologies, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

УДК 621.372.632

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В MOSFET-КЛЮЧАХ**

**В.П. Бабенко,  
В.К. Битюков<sup>@</sup>,  
В.В. Кузнецов,  
Д.С. Симачков**

*Московский технологический университет (МИРЭА), Москва 119454, Россия  
<sup>@</sup>Автор для переписки, e-mail: bitukov@mirea.ru*

Рассмотрены вопросы моделирования потерь в MOSFET-ключах из библиотеки программы Electronics Workbench (EWB) и оптимизации режима работы силового ключа. Использование программы схемотехнического моделирования EWB позволило получить ряд важных фактов, которые необходимо учитывать при проектировании устройств силовой электроники и, в частности, источников вторичного электропитания радиоэлектронных средств. Показано, что мощность статических потерь зависит от сопротивления канала открытого транзистора, тока через транзистор, коэффициента заполнения импульса и не зависит от тока затвора. В то же время мощность динамических потерь при включении транзистора зависит от тока затвора и при увеличении тока – снижается. При токе затвора (драйвера) более 0.6 А снижение потерь незначительно, и оптимально выбирать драйвер с выходными токами более 0.6 А, но это справедливо лишь для исследованного транзистора IRF1010N. В схемах построения MOSFET-ключей на других транзисторах оптимальный выходной ток драйвера может отличаться. Мощность динамических потерь при выключении транзистора не зависит от тока затвора, но это справедливо только в данной схеме, так как разряд емкости затвора происходит через резистор с фиксированным значением сопротивления ключа. Обычно в схеме управления выходной каскад выполняется по двухтактной схеме и имеет одинаковое выходное сопротивление для втекающего и вытекающего выходного тока драйвера, физические процессы включения и выключения практически идентичны, так что и количественные результаты должны быть близки. Моделирование MOSFET-ключа в программе EWB дает адекватные результаты определения параметров силовых транзисторов, которые согласуются с данными, приведенными в Datasheet, что позволяет моделировать потери ключа и минимизировать их при любой нагрузке.

**Ключевые слова:** моделирование, статические потери, динамические потери, MOSFET-ключ, сопротивление канала открытого транзистора, входная емкость, эффект Миллера, коммутационные потери, схемотехническое моделирование, драйвер, общий заряд затвора, время включения, время выключения.

## SIMULATION OF STATIC AND DYNAMIC LOSSES IN MOSFET KEYS

**V.P. Babenko,  
V.K. Bitukov@,  
V.V. Kuznetsov,  
D.S. Simachkov**

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

*@Corresponding author e-mail: bitukov@mirea.ru*

Issues of modeling of losses in MOSFET keys from the Electronics Workbench (EWB) program library as well as optimization of the power key operation mode are considered. A number of important facts have been obtained by using the EWB program of circuit simulation, which should be taken into account when designing power electronics devices and secondary power sources for radioelectronic facilities, in particular. It is shown that the power of static losses depends on the resistance of the open transistor channel, the current flowing through the transistor, duty cycle, and it does not depend on the gate current. While the power of dynamic losses at the time of switching the transistor on depends on the gate current, it decreases with the increasing current. When a gate current (driver) is more than 0.6 A, the reduction of loss is insignificant, and it is best to choose a driver with output currents of more than 0.6 A. However, this is true only for the investigated IRF1010N transistor. In the schemes of building the MOSFET keys on other transistors, the best output current of the driver may differ. The power of dynamic losses when turning the transistor off does not depend on the gate current. However, this is true only for this scheme, because the discharge of the gate capacitance occurs through a resistor with a fixed value for the key resistance. Usually the output stage in the control circuit is executed in a push-pull circuit and has the same output resistance for the incoming and outgoing output current of the driver, the physical processes of switching on and switching off are practically identical, and so the quantitative results can be close. The simulation of the MOSFET key in the EWB program provides adequate results in determining the parameters of the power transistors, which are in agreement with the data given in the Datasheet. This allows simulating the key losses and minimizing them at any load.

**Keywords:** simulation, static loss, dynamic loss, MOSFET key, open transistor channel resistance, input capacitance, Miller effect, switching losses, circuit simulation, driver, total gate charge, switch on time, switch off time.

Базовым показателем эффективности источников вторичного электропитания (ИВЭ) радиоэлектронных средств является оценка мощности коммутационных потерь в силовых ключах. Анализ составляющих потерь мощности позволяет оптимизировать параметры всего ИВЭ, а также входящих в него преобразователей, реализующих соответствующие схемотехнические решения и алгоритмы управления.

Традиционно потери мощности в электронных ключах классифицируют по двум компонентам: статическим  $P_{\text{стат}}$  и динамическим (коммутационным)  $P_{\text{дин}}$  потерям. В MOSFET-ключах статические потери  $P_{\text{стат}}$  определяются током, протекающим через ка-

нал транзистора во включенном состоянии, а динамические потери  $P_{\text{дин}}$  представляют собой кратковременные выбросы большой мощности в интервале коммутации силового ключа [1, 2].

В настоящее время разработаны математические модели полевых транзисторов, детально проанализированы и аналитически описаны процессы переключения [3]. Однако коммутационные процессы достаточно сложны, линейные аппроксимации в уравнениях описывают потери при переключении достаточно приближенно. Предельные значения тока и напряжения транзистора, обычно вынесенные в отдельный подзаголовок его технических характеристик, позволяют лишь качественно сравнить один компонент с другим. Параметры, используемые в уравнениях математических моделей, описывающих коммутационные процессы, такие, как пороговое напряжение транзистора, паразитные емкости, выходное сопротивление драйвера и др., имеют значительный разброс. Времена задержек включения и выключения, времена спада и нарастания напряжения, приводимые в спецификациях на MOSFET-транзисторы, даются для конкретных условий тестирования и при резистивной нагрузке. В реальных условиях работы MOSFET-ключей нагрузка имеет индуктивный характер. По целому ряду очевидных причин ключевые свойства транзисторов значительно отличаются от заявленных в спецификациях [3]. Проблему также представляет и выбор драйвера, который должен быть согласован с ключевым транзистором по току затвора, управляющему напряжению и динамическим характеристикам. Результатом оценочного расчета обычно служит неоптимальное использование мощностных характеристик транзистора [4].

Современные программы схемотехнического анализа позволяют легко рассчитать и вывести в виде графика мгновенную мощность потерь.

Программа схемотехнического моделирования EWB является, по всей видимости, наиболее удобным и эффективным способом организации лабораторного практикума и широко используется при подготовке специалистов радиоэлектронного профиля в высшей школе. Накоплен значительный опыт по использованию EWB в разных областях промышленной электроники [5–11]. Однако работ, в которых рассматривались бы вопросы исследования электронных схем преобразовательной техники с помощью программы EWB, очень мало, а работы по моделированию схем силовой электроники на MOSFET-транзисторах практически отсутствуют [9].

Надо отметить, что даже в младших версиях EWB имеется достаточно большая библиотека мощных MOSFET-транзисторов фирм International Rectifier и Zetex Semiconductors на токи в десятки ампер и напряжения до сотен вольт. К сожалению, в программе доступна для редактирования лишь модель MOSFET Ideal с набором в несколько десятков параметров, имеющих мало общего с параметрами, обычно приводимыми в Datasheet. Более того, в EWB закрыт доступ к опциям моделей фирменных транзисторов, и это ограничивает возможность проектирования устройств силовой электроники на их основе.

Для решения отмеченных аспектов разработан метод, позволяющий уточнить базовые параметры MOSFET-ключа из библиотеки прямыми измерениями в среде EWB. Он может быть распространен и на устройства с IGBT-транзисторами, которые имеются в старших версиях программы EWB, но не представлены в библиотеке EWB 5.12. Возможности метода показаны на примере n-канального MOSFET-транзистора с обратным ди-

одом для работы в ключевом режиме IRF1010N фирмы International Rectifiers. Как было отмечено ранее, величины его параметров недоступны в EWB, а при моделировании соответствующих устройств возможно появление ошибок вследствие выхода значения параметра за допустимый предел.

В табл. 1 приведена краткая информация о параметрах транзистора IRF1010N из Datasheet, полезная при выборе его режима работы.

**Таблица 1.** Параметры из Datasheet транзистора IRF1010N\*

Параметр	Значение	Условия измерения
Допустимое напряжение сток–исток, В	55	min значение
Напряжение на затворе, В	$\pm 20$	
Пороговое напряжение на затворе, В	2...4	min...max
Сопротивление канала в открытом состоянии, мОм	11	max значение
Ток стока, А	85	$U_{си} = 10$ В
Импульсный ток стока, А	290	max значение
Крутизна характеристики, А/В	32	$U_{си} = 25$ В, $I_c = 43$ А
Общий заряд затвора, нКл	120	$I_c = 43$ А,
Заряд емкости затвор–сток (заряд Миллера), нКл	41	$U_{зи} = 10$ В,
Заряд емкости затвор–исток, нКл	19	$U_{си} = 44$ В
Время задержки включения, нс	13	$E_{п} = 28$ В,
Время задержки выключения, нс	39	$R_s = 3.6$ Ом
Время включения, нс	76	$I_c = 43$ А,
Время выключения, нс	48	$U_{зи} = 10$ В
Рассеиваемая мощность, Вт	180	$T_{cp} = 25$ °С

\*здесь  $E_{п}$  – напряжение источника питания ключа;  $R_s$  – сопротивление в цепи затвора (внутреннее сопротивление схемы управления ключом);  $U_{си}$  – напряжение сток–исток;  $I_c$  – ток стока,  $U_{зи}$  – напряжение затвор–исток;  $T_{cp}$  – температура окружающей среды.

В Datasheet задано значение температуры  $T_{cp}$  без какого-либо комментария. Это означает, что корпус транзистора может передать на радиатор указанную мощность, а как отводить ее от радиатора – проблема разработчика.

Потери мощности при переключении силового ключа включают в себя потери в управляющей цепи (в драйвере) и потери непосредственно в силовом транзисторе.

С физической точки зрения, механизм потерь в управляющей цепи, когда в процессе переключения ток драйвера перезаряжает входную емкость затвора, определяется потерями на омических сопротивлениях цепи протекания тока затвора [12].

Потери в силовом транзисторе можно разделить на две составляющие: потери, рассеиваемые на транзисторе в короткие интервалы времени переключения – они называются динамическими (коммутационными) потерями; потери  $P_{стат}$ , рассеиваемые на омическом сопротивлении канала  $R_{си}$  транзистора за время, когда он находится в проводящем состоянии, они называются статическими потерями.

### Потери в управляющей цепи

При переключении MOSFET-транзистора происходит перезаряд его входной емкости  $C_{вх}$ . В документации на транзистор приводится величина общего заряда затвора  $Q_3$ , необходимого для изменения напряжения затвора от нуля до выходного напряжения  $U_{дрв}$ .

обеспечиваемого драйвером. Зная величину  $Q_3$ , можно найти мощность потерь  $P_{дрв}$  в управляющей цепи:

$$P_{дрв} = U_{дрв} \cdot I_{дрв} = U_{дрв} \cdot Q_3 \cdot F_{дрв},$$

где  $I_{дрв} = Q_3 \cdot F_{дрв}$  – ток драйвера, необходимый для управления MOSFET;  
 $F_{дрв}$  – частота переключения транзистора.

Мощность потерь в управляющей цепи рассеивается в виде тепловой энергии на сопротивлениях цепи протекания тока затвора: выходном сопротивлении драйвера  $R_{вых\ дрв}$ , внешнем резисторе между выходом драйвера и затвором транзистора  $R_3$  и внутреннем сопротивлении затвора  $R_{з1}$ . Это характерно только для мощных MOSFET с полисиликатным затвором, у которых  $R_{з1}$  составляет 1...2 Ом. Мощность потерь в управляющей цепи  $P_{дрв}$  не зависит от величины нагрузки. Расчеты мощности потерь  $P_{дрв}$  в управляющей цепи носят оценочный характер [13], так как выходное сопротивление драйвера обычно имеет нелинейный вид.

### Статические потери на сопротивлении канала открытого транзистора

Ток стока  $I_{с\ ср}$ , протекающий через канал открытого транзистора, создает падение напряжения на сопротивлении сток–исток  $R_{си}$ , в результате чего возникают статические потери мощности:

$$P_{стат} = I_{с\ ср}^2 \cdot R_{си} \cdot D,$$

где  $I_{с\ ср}$  и  $R_{си}$  – средние ток стока и сопротивления канала за время длительности импульса открытого транзистора;

$D$  – коэффициент заполнения импульса  $D = \frac{t_{и}}{T}$ ;  
 $t_{и}$  – длительность открывающего импульса;  
 $T$  – период повторения импульсов.

Более корректный расчет статических потерь можно провести, используя параметр энергии  $W_{вкл\ стат}$ , выделяемой во включенном состоянии транзистора за один импульс и определяемый по формуле [14]:

$$W_{вкл\ стат} = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot i(t) \cdot dt,$$

где  $t$  – время;

$u(t)$  – падение напряжения на канале открытого транзистора;

$i(t)$  – ток, протекающий через канал открытого транзистор;

$t_1$  – момент окончания процесса включения;

$t_2$  – момент начала процесса выключения.

Тогда статические потери  $P_{стат}$  на сопротивлении канала открытого транзистора определяются соотношением

$$P_{стат} = W_{вкл\ стат} \cdot F.$$

Типовые расчеты рассеиваемой мощности статических потерь [15] имеют невысокую точность из-за нелинейной зависимости сопротивления открытого канала от напряжения на затворе и изменения тока стока за время импульса.

### Коммутационные потери

Коммутационные (динамические) потери  $P_{\text{дин}}$  представляют собой короткие выбросы мощности потерь большой амплитуды при переключении транзистора из одного состояния в другое. Очевидно, что чем выше частота, тем чаще происходит переключение транзистора, тем больше влияние коммутационных потерь на эффективность работы соответствующего устройства. При малых токах нагрузки основной вклад в общую мощность потерь ключа обеспечивают динамические потери, а по мере увеличения тока нагрузки – растет доля статических потерь.

Зная энергию включения  $W_{\text{вкл}}$  и энергию выключения  $W_{\text{выкл}}$  электронного ключа, коммутационные потери  $P_{\text{дин}}$  можно рассчитать по формуле [16]:

$$P_{\text{дин}} = (W_{\text{вкл}} + W_{\text{выкл}}) \cdot F.$$

Энергии включения и выключения транзистора вычисляются как интеграл от мощности потерь:

$$W_{\text{вкл}} = \int_{t_1}^{t_2} u_{\text{вкл}}(t) \cdot i_{\text{вкл}}(t) \cdot dt$$

$$W_{\text{выкл}} = \int_{t_1}^{t_2} u_{\text{выкл}}(t) \cdot i_{\text{выкл}}(t) \cdot dt,$$

где  $t_1$  – момент начала процесса включения/выключения;

$t_2$  – момент окончания процесса включения/выключения.

Достоверность аналитических оценок коммутационных потерь, полученных таким методом, оставляет желать лучшего из-за сложной динамики переключения и нелинейности характеристик MOSFET [6].

### Моделирование энергетических характеристик MOSFET-ключа

При моделировании энергетических характеристик MOSFET-ключа ставилась задача для конкретного транзистора из библиотеки EWB, в данном случае транзистора IRF1010N. Необходимо было оценить влияние режимов работы и параметров схемы на мощность потерь в MOSFET-ключе.

Схема для исследования силового MOSFET-ключа показана на рис. 1.

Силовая часть схемы включает транзистор Q1, который замыкает и размыкает ток источника питания V1, протекающий через нагрузку R1. Входная емкость ключа  $C_{\text{вх}}$  заряжается от источника стабильного тока I1 (DC Current Source – компонент из библиотеки EWB) ключом, управляемым напряжением S1 (Voltage-Controlled Switch – компонент из библиотеки EWB). При разомкнутом ключе S1 ток источника тока I1 заряжает входную емкость  $C_{\text{вх}}$  транзистора. Когда ключ S1 замкнут, то входная емкость  $C_{\text{вх}}$  разряжается

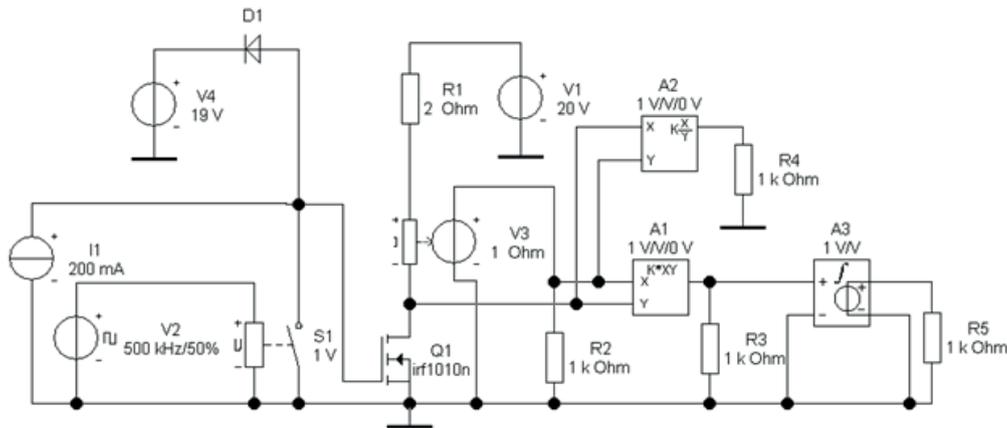


Рис. 1. Схема для исследования силового MOSFET-ключа.

через сопротивление замкнутого ключа на «землю». Ключ S1 управляется импульсами генератора V2 (Clock-компонент из библиотеки EWB). На схеме рядом с позиционным обозначением генератора V2 указана частота следования импульсов  $F = 500$  кГц и коэффициент заполнения импульса 50%. Они выбраны с учетом двух условий:

- 1) частота коммутации силовых транзисторов для современных ИВЭ является типичной [8];
- 2) за период следования импульсов  $T = 1/F = 2$  мкс удобно отобразить время переходных процессов в транзисторе при его включении и выключении.

Диод D1, подпираемый напряжением дополнительного источника постоянного напряжения V4 с напряжением  $U_4$ , предназначен для ограничения напряжения на затворе не выше допустимого для выбранного транзистора, которое по данным Datasheet, не должно превышать  $U_{зи\ max} = \pm 20$  В (табл. 1). Когда напряжение на затворе при заряде входной емкости стабильным током превысит опорное напряжение  $U_0$ , образованное напряжением источника V4, равным 19.0 В, и падением напряжения на открытом диоде  $U_d = 0.7$  В, то есть при  $U_0 = U_4 + U_d = 19.7$  В (что меньше  $U_{зи\ max} = 20$  В), диод D1 отпирается и фиксирует напряжение на затворе транзистора на уровне опорного напряжения  $U_0$ .

Следует учитывать особенность программы EWB, заключающуюся в том, что при моделировании в автоматическом режиме в качестве выходного сигнала может быть только напряжение [15]. Поэтому для контроля тока стока  $I_c$  через транзистор Q1 использован преобразователь ток-напряжение V3 – Sources Current Controlled Voltage Source из библиотеки EWB. Датчик тока преобразователя V3 включен последовательно в цепь измерения тока. Нагрузкой выходного источника напряжения преобразователя V3 является резистор R2. Значение сопротивления резистора R2 не существенно, но он необходим, чтобы создать узел схемы, с которого снимается сигнал при моделировании. Величина выходного напряжения  $U_{вых\ пр}$  этого преобразователя (напряжение на резисторе R2) связана с измеряемым током  $I_{изм}$  выражением  $U_{вых\ пр} = R \cdot I_{изм}$ , где  $R$  – коэффициент пропорциональности, задаваемый в поле ввода «Transresistance» (переходное сопротивление). В схеме, приведенной на рис. 1, значение коэффициента  $R$  для удобства выбрано  $R = 1$  Ом, тогда напряжение на резисторе R2 численно равно току стока  $I_c$ .

Мгновенная мощность  $P(t)$ , рассеиваемая силовым ключом  $P(t) = U(t) \cdot I_c(t)$ , может быть измерена на выходе функционального преобразователя A1 Multiplier из библиотеки Control, выполняющего операцию перемножения двух аналоговых сигналов и отображающего на нагрузке преобразователя – резисторе R3 – результат преобразования с коэффициентом преобразования Output Gain, задаваемым в опциях компонента. При Output Gain = 1 падение напряжения на резисторе R3 численно соответствует измеряемой мощности.

Для измерения средней мощности  $P_{cp}$ , рассеиваемой на силовом ключе, необходимо выполнить операцию интегрирования мгновенной мощности  $P(t)$  за интервал времен усреднения  $\Delta t = t_2 - t_1$ :

$$P_{cp} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt.$$

Функциональный блок A3 (Voltage Integrator из библиотеки Controls) выполняет операцию интегрирования с коэффициентом преобразования Gain, задаваемым в опциях компонента. При значении коэффициента преобразования Gain, равном  $V1/V$ , напряжение на нагрузке интегратора R5 численно равно интегралу от входной величины  $P(t)$ , т.е. энергии, выделяемой на стоке транзистора в текущий момент времени. Тогда среднее значение мощности за время  $\Delta t$  равно частному от деления выделенной энергии на  $\Delta t$  [17].

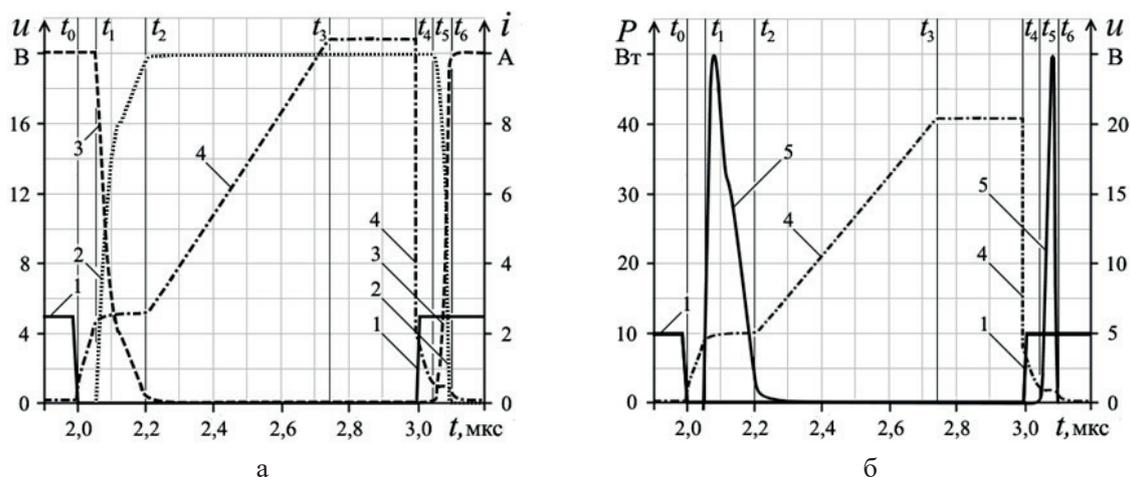
Функциональный блок A2 (Divider) из библиотеки Controls выполняет операцию деления входных аналоговых сигналов  $Z = k \frac{X}{Y}$ , где  $X = U_{зи}$ , а  $Y = I_c$ . Тогда на выходе аналогового делителя формируется напряжение на резисторе R4, при  $k = 1$  (задается в опциях) оно численно равно сопротивлению канала открытого транзистора  $R_{си}$ .

Моделирование проводили в режиме Analysis/Transient. В качестве выходных сигналов использовали: напряжение на затворе  $U_{зи}$ ; напряжение на стоке  $U_{си}$ ; ток стока  $I_c$ ; мощность потерь  $P(t)$  на транзисторе.

Временные диаграммы, полученные при моделировании, представлены на рис. 2. Для анализа результатов моделирования на оси времени выбран временной интервал от  $t = 1.8$  мкс до  $t = 3.5$  мкс, на котором наблюдались процессы, связанные с отпиранием и запирающим транзистора. На этом временном участке реперами  $t_0 \dots t_6$  отмечены основные моменты цикла переключения. Для временной привязки процессов коммутации на диаграммах отображен график напряжения  $u$  тактового генератора  $t_{и}$ .

До момента времени  $t_0$  ключ S1 находился в замкнутом состоянии, шунтируя ток затвора П1 на «землю». Напряжение на затворе  $U_{зи} = I1 \cdot R_{он} = 0.2 \text{ А} \cdot 10 \text{ Ом} = 2 \text{ В}$ , что ниже порогового напряжения, равного 3.8 В. Транзистор заперт. Напряжение на стоке  $U_{си} = +E_{п}$  (диаграмма 3), ток стока  $I_c = 0$  (диаграмма 2).

В момент  $t_0$  управляющее напряжение, формируемое тактовым генератором, переключается в состояние 1/0, при этом ключ S1 размыкается, и начинается заряд входной емкости  $C_{вх}$ . В момент  $t_1$ , когда после переключения управляющего напряжения в состояние 0/1 ключ S1 замыкается, начинается разряд входной емкости  $C_{вх}$  транзистора, а также начинается цикл открывания транзистора. На интервале времени  $t_0 \dots t_1$  входная емкость затвора  $C_{вх}$  транзистора заряжается стабильным током генератора П1, напряжение на затворе  $U_{зи}$  растет по линейному закону (диаграмма 4), но остается ниже порогового. Тран-



**Рис. 2.** Временные диаграммы сигналов: 1 – напряжение  $u$  тактового генератора; 2 – ток стока  $I_c$ ; 3 – напряжение на стоке  $U_{си}$ ; 4 – напряжение на затворе  $U_{зи}$ ; 5 – мощность потерь  $P(t)$ <sup>1</sup>.

зистор заперт, напряжение на стоке  $U_{си} = +E_{п}$  (диаграмма 3), ток стока  $I_c = 0$  (диаграмма 2), рассеиваемая мощность  $P(t) = 0$  (диаграмма 5). Этот временной интервал и определяет задержку открытия транзисторного ключа относительно управляющего напряжения.

На интервале времени  $t_1 \dots t_2$  транзистор приоткрывается. Ток стока  $I_c$  возрастает, напряжение на стоке  $U_{си}$  уменьшается, а транзистор переходит в активный (усилительный) режим. В момент времени  $t_1$  включается отрицательная обратная связь, возникающая через проходную емкость затвор–сток  $C_{зс}$ , соединяющая выход усилителя со входом. При этом эквивалентная входная емкость  $C_{вх}$  резко увеличивается за счет эффекта Миллера, замедляется рост напряжения на затворе  $U_{зи}$ , на диаграмме 4 наблюдается практически горизонтальный участок – характерное плато Миллера [18]. Транзистор находится в активном режиме, на нем рассеивается значительная мощность (диаграмма 5). Этим участком обусловлена длительность фронта отпирания транзистора.

На интервале времени  $t_2 \dots t_4$  транзистор полностью открыт, ток стока  $I_c$  максимальный, а напряжение сток–исток  $U_{си}$  минимально. Закончилась перезарядка проходной емкости  $C_{зс}$  транзистора, эквивалентная входная емкость  $C_{вх}$  уменьшена практически до исходной величины. Напряжение на затворе  $U_{зи}$  продолжает возрастать по линейному закону (диаграмма 4) со скоростью, близкой к скорости изменения напряжения  $U_{зи}$  на участке  $t_0 \dots t_1$ . В момент времени  $t_3$  напряжение на затворе  $U_{зи}$  достигает предельно допустимого для транзистора значения, открывается диод D1, и напряжение фиксируется на уровне около +20 В. На рассматриваемом интервале времени  $t_2 \dots t_4$  рассеиваемая мощность снижается (диаграмма 5) до величины, определяемой потерями на сопротивлении  $R_{си}$  проводимости канала открытого транзистора. На этом участке транзистор открыт.

В момент времени  $t_4$  сигнал генератора импульсов  $t_{и}$  становится высоким (диаграмма 1), ключ S1 замыкает цепь затвора транзистора на «землю»: начинается цикл запира-ния транзистора.

На интервале времени  $t_4 \dots t_5$  заряд затвора еще достаточен для поддержания транзистора в открытом состоянии, а напряжение на затворе еще превышает пороговое напря-

<sup>1</sup>Здесь и далее при графическом представлении результатов моделирования учтены рекомендации [17].

жение (диаграмма 4). При этом формируется задержка выключения транзистора.

В момент времени  $t_5$  напряжение на затворе  $U_{зи}$  (диаграмма 4) достигает уровня плато Миллера. При этом ток стока  $I_c$  падает, растет напряжение на стоке  $U_{си}$ , резко увеличивается мощность потерь  $P(t)$  (диаграмма 5). В течение интервала времени  $t_5...t_6$  транзистор находится в активном режиме. На этом участке формируется фронт запираания транзистора.

На интервале времени от  $t_6$  и далее транзистор заперт, напряжение на стоке  $U_{си} = +E_{п}$  (диаграмма 3), ток стока  $I_c = 0$  (диаграмма 2), рассеиваемая мощность  $P(t) = 0$  (диаграмма 5). Входная емкость экспоненциально разряжается до исходного значения.

Для количественного анализа динамических потерь удобен интервал времени, связанный с открыванием транзистора  $t_0...t_2$ , когда входная емкость заряжается стабильным током. Участок закрывания транзистора от  $t_4$  до  $t_6$  удобен лишь для качественного анализа, так как на этом интервале входная емкость разряжается через фиксированное сопротивление замкнутого ключа S1 по экспоненциальному закону, что усложняет расчет.

Пиковая мощность потерь при переключении транзистора (параметры указаны в схеме) составила почти 50 Вт, а статические потери на проводимости канала транзистора – около 1 Вт.

### Моделирование сопротивления канала открытого транзистора

Моделирование схемы, показанной на рис. 1, проводили в режиме Analysis/Transient [19], но в качестве выходного сигнала выбирали напряжение на резисторе R4, которое численно равно сопротивлению канала  $R_{си}$ . Результаты моделирования приведены на рис. 3. Для временной привязки диаграмм показан импульс тактового генератора V2 (диаграмма 1), открывающего транзистор в момент  $t_0$ , и форма напряжения на затворе  $U_{зи}$  (диаграмма 2). Выполнен анализ процесса открывания транзистора в интервале времени от  $t_0$ , который связан с подачей на затвор транзистора открывающего импульса, и до момента времени  $t_4$ .

Участок времени от  $t_1$  до  $t_2$  соответствует плато Миллера, когда на емкости затвора  $C_{вх}$  накопилась достаточная величина заряда затвора и сопротивление канала  $R_{си}$  становится малым. Транзистор полностью открыт, но величина  $R_{си}$  зависит от напряжения на затворе  $U_{зи}$ . При напряжении  $U_{зи}$ , превышающем 8 В, сопротивление канала снижается и

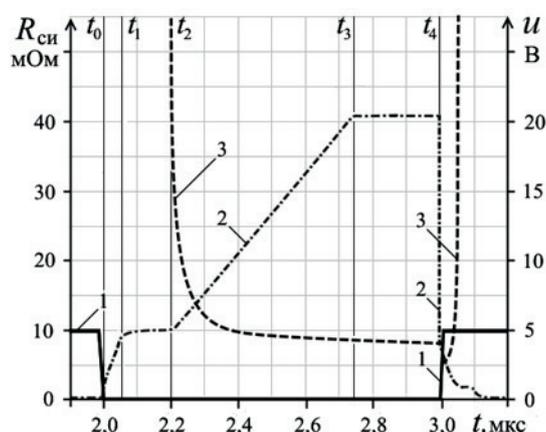


Рис. 3. Временные диаграммы сигналов: 1 – напряжение  $u$  тактового генератора V2; 2 – напряжение на затворе  $U_{зи}$ ; 3 – сопротивление канала  $R_{си}$  открытого транзистора.

остается на уровне 8 мОм. Излом характеристики напряжения на затворе в момент  $t_3$  обусловлен открытием фиксирующего диода D1, ограничивающего величину напряжения на затворе.

Результат, полученный при моделировании сопротивления  $R_{си}$  канала открытого транзистора, совпадает с данными Datasheet, где для транзистора IRF1010N приведено значение  $R_{си}$ , равное 11 мОм (табл. 1). Согласно [18], величину заряда затвора  $Q_3$  на разных этапах отпирания транзистора можно оценить, используя соотношение  $Q_3 = I_3 \cdot \Delta t$ , где  $I_3$  – ток затвора;  $\Delta t$  – интервал времени от прихода фронта отпирающего импульса до текущего момента процесса открывания транзистора.

На интервале времени от  $t_0$  до  $t_1$  транзистор заперт. В момент времени  $t_1$  напряжение на затворе транзистора достигает порогового значения  $U_{зи\ порог}$ , когда транзистор начинает открываться. Значение заряда емкости затвор–исток, соответствующее пороговому значению напряжения на затворе, может быть оценено по положению максимума мощности потерь  $P(t)$  (рис. 2 б), который локализован с задержкой  $\Delta t = 0.1$  мкс от прихода запускающего импульса. При токе затвора  $I_3$ , равном 200 мА, значение заряда  $Q_{3\ порог}$ , соответствующее отпиранию транзистора, составило  $Q_{3\ порог} = I_3 \cdot \Delta t = 0,2 \cdot 0,1 = 20$  нКл. Это достаточно хорошо совпадает с данными из Datasheet (табл. 1), в которых указано значение заряда емкости затвор–исток  $Q_{3\ порог} = 19$  нКл.

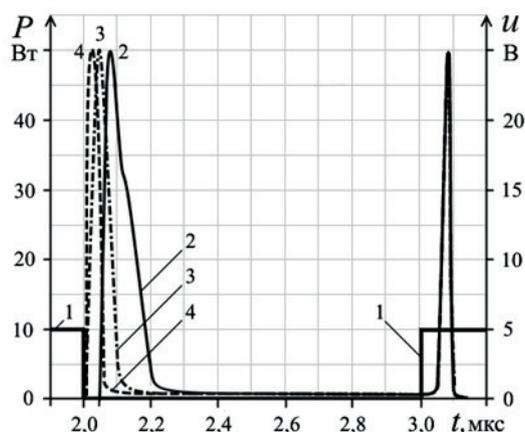
На этапе заряда емкости затвор–сток (емкости Миллера), происходящем в интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$ , когда напряжение на затворе проходит плато Миллера, длительность интервала времени составила  $\Delta t = 0.2$  мкс. При этом  $Q_{3\ Милл} = I_3 \cdot \Delta t = 0,2 \cdot 0,2 = 40$  нКл, что практически совпадает со значением из Datasheet, равным 41 нКл.

Момент времени, когда сопротивление канала открытого транзистора становится достаточно малым, что соответствует общему заряду затвора (по терминологии Datasheet), удается оценить достаточно условно как лежащий между  $t_2$  и  $t_3$ . По диаграммам на рис. 3, используя значение  $Q_{3\ общ} = 120$  нКл (табл. 1), можно оценить напряжение на затворе  $U_{зи\ откр}$ , необходимое для полного открывания транзистора за время  $\Delta t_{откр} = Q_{3\ общ} / I_3$ . В рассматриваемом случае при  $I_3$ , равном 0.2 А,  $\Delta t_{откр} = 120 / 0.2 = 0.6$  мкс, что соответствует  $U_{зи} \approx 17$  В.

Энергия переключения транзистора интерпретируется как площадь, ограниченная кривой динамических потерь и осью времени. Из рис. 4 видно, что амплитуда мощности динамических потерь транзистора от его тока затвора не зависит, а энергия переключения при увеличении тока затвора заметно уменьшается.

Выполнив графическое интегрирование кривой потерь (рис. 4), можно оценить среднюю мощность и статических  $P_{ср\ стат}$  и динамических  $P_{ср\ дин}$  потерь.

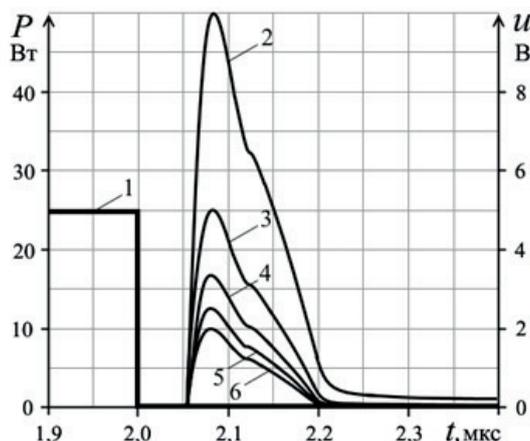
Распределение потерь при отпирании транзистора получено в результате моделирования в режиме Analysis/Parameter Sweep. Варьируемым параметром выбрано значение тока источника тока И1, эквивалентное току затвора  $I_{зи}$ . Установлено, что  $P_{ср\ стат} = 0.4$  Вт и не зависит от тока затвора;  $P_{ср\ дин} \approx 3$  Вт для тока затвора 0.2 А и снижается до 1.5 Вт при токе затвора 0.6 А. Погрешность определения средней мощности потерь, выполненного графическим интегрированием, достаточно велика и дает лишь качественную картину процессов. Более точную информацию о потерях дает непосредственное моделирование в режиме Analysis/Parameter Sweep [19]. В качестве варьируемого параметра использовали сопротивление нагрузки ключа R1, а выходным параметром стало напряжение на резисторе R3, численно рав-



**Рис. 4.** Временные диаграммы сигналов: 1 – напряжение  $u$  тактового генератора; 2–4 – распределение потерь на интервале отпирания транзистора для значений тока затвора  $I_3$ : 2 – 0.2 А; 3 – 0.4 А; 4 – 0.6 А.

ное динамической мощности потерь (рис. 1). Для анализа выбрали временной интервал от 2.0 до 2.3 мкс, соответствующий времени включения транзистора. Результаты исследования, приведенные на рис. 5, получены при напряжении питания  $V_1 = +20$  В и токе затвора 200 мА.

По мере уменьшения сопротивления нагрузки растет амплитуда мгновенной мощности динамических потерь транзистора. Количественную оценку вклада динамической составляющей потерь в общую мощность потерь можно получить графическим интегрированием зависимости мощности динамических потерь на временном интервале периода повторения импульсов [20].



**Рис. 5.** Временные диаграммы сигналов: 1 – напряжение  $u$  тактового генератора, открывающего транзистор; 2–4 – мощность динамических потерь для разных значений сопротивления нагрузки  $R_1$ : 2 – 2 Ом; 3 – 4 Ом; 4 – 6 Ом; 5 – 8 Ом; 6 – 10 Ом.

### Исследование средней мощности, выделяемой на транзисторе

Величина средней мощности  $P_{\text{ср}}$ , рассеиваемой транзистором, представляет интерес для тепловых расчетов силовых ключей. Традиционно значение  $P_{\text{ср}}$  определяется по энергии переключения методом интегрирования мощности потерь  $P(t)$ :

$$W(t) = \int_{t_1}^{t_2} P(t) \cdot dt.$$

Величину  $P_{cp}$  получают без трудоемких расчетов с графическим интегрированием, используя аппаратное интегрирование функциональным модулем A3 Voltage Integrator из библиотеки Control (рис. 1). Моделирование проводили в режиме Analysis/Transient. Выходным сигналом служило напряжение на резисторе R5, являющееся нагрузкой интегратора A3.

Необходимо учесть особенность исследуемой схемы, где входная емкость затвора  $C_{вх}$  при включении заряжалась стабильным током  $I_1$ , а при выключении  $C_{вх}$  экспоненциально разряжалась через фиксированное сопротивление замкнутого ключа S1  $R_{он} = 1 \text{ Ом}$ . Поэтому для количественных оценок важен процесс включения транзистора при линейном заряде входной емкости  $C_{вх}$  стабильным током.

Результаты моделирования временного распределения энергии потерь  $W(t)$  (диаграмма 3) и мощности потерь  $P(t)$  (диаграмма 2) для токов затвора 0.2 и 0.6 А приведены на рис. 6. Для временной привязки диаграмм показано и положение импульса тактового генератора (диаграмма 1). Первый пик временной зависимости мощности потерь  $P(t)$  (диаграмма 2) соответствует включению силового ключа, второй пик – выключению. Соответственно, на графике энергии потерь  $W(t)$  (диаграмма 3) моменту включения силового ключа отвечает первый скачок, а выключению – второй скачок. Отличающееся от нуля начальное значение на диаграмме 3 связано с особенностями интегратора в EWB – отсутствием обнуления перед началом интегрирования.

Анализ диаграмм, представленных на рис. 6, позволяют сделать ряд выводов:

- пиковое значение мощности динамических потерь при включении (диаграмма 2) составляет 50 Вт и не зависит от тока затвора;

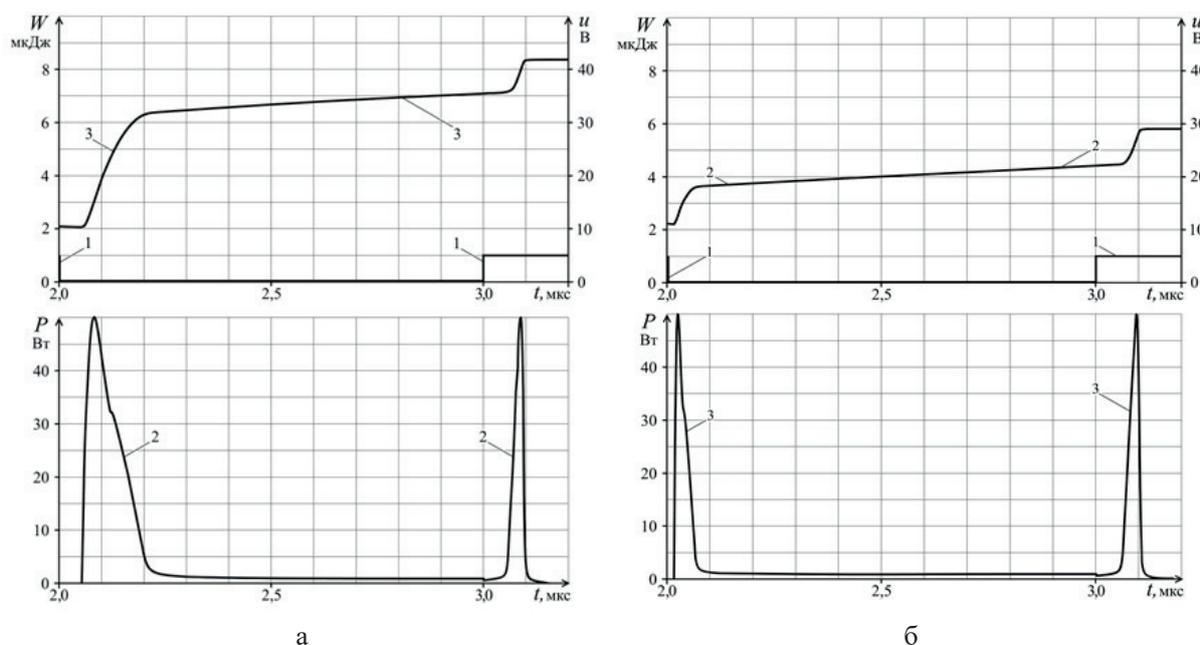


Рис. 6. Временные диаграммы сигналов при токах затвора: а – 0.2 А (а); б – 0.6 А (б).

1 – напряжение  $u$  тактового генератора, открывающего транзистор;  
2 – мощность потерь  $P(t)$ ; 3 – энергия потерь  $W(t)$ .

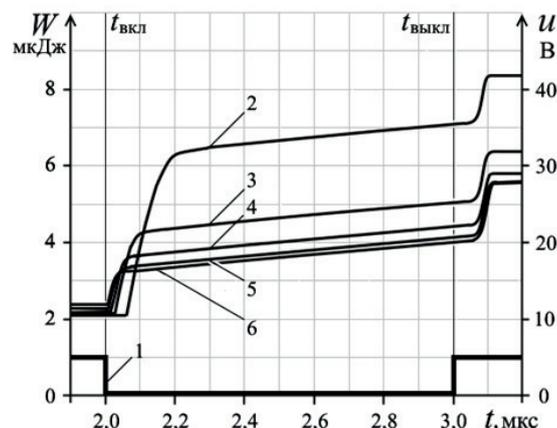
- энергию динамических потерь при включении  $W_{\text{вкл}}$  количественно можно оценить по величине скачка на диаграмме 3, и она существенно зависит от тока затвора: например, при токе затвора 0.2 А энергия потерь 4 мкДж, а при токе затвора 0.6 А – 1.4 мкДж;
- мгновенная мощность статических потерь на сопротивлении канала открытого транзистора составляет  $\sim 0.2$  Вт и не зависит от тока затвора (диаграмма 2);
- энергия статических потерь  $W_{\text{стат}}$  за время открытия транзистора равна 0.85 мкДж и не зависит от тока затвора (диаграмма 3);
- при увеличении тока затвора уменьшается ширина пика мгновенной мощности и, соответственно, время переходного процесса включения  $t_{\text{ф вкл}}$  (измерялось по уровню 0.5);
- при токе затвора 0.2 А длительность фронта включения составила  $t_{\text{ф вкл}} = 140$  нс, а при токе затвора 0.6 А –  $t_{\text{ф вкл}} = 35$  нс, при увеличении тока затвора уменьшается время задержки процесса включения  $t_{\text{з вкл}}$ , например, при токе затвора 0.2 А время задержки  $t_{\text{з вкл}} = 52$  нс, а при токе затвора 0.6 А –  $t_{\text{з вкл}} = 26$  нс.

Количественное исследование влияния тока затвора (выходной ток драйвера) на энергию потерь переключения проведено в режиме Analysis/Parameter Sweep. Для анализа выбран временной участок, на котором представлена динамика потерь при включении и выключении транзистора на интервале времени от  $t = 2.0$  мкс до  $t = 3.2$  мкс. В качестве варьируемого параметра использовался ток затвора  $I_1$ , а выходным параметром напряжение на нагрузке R5 интегратора A3, соответствующее энергии потерь  $W(t)$ .

Результаты моделирования приведены на рис. 7.

Первая ступень на графике (рис. 7) соответствует энергии динамических потерь при включении транзисторного ключа, а вторая – выключению. При малых токах затвора энергия потерь велика и составляет  $W = 4.2$  мкДж, но энергия динамических потерь  $W$  быстро уменьшается с увеличением тока затвора. В случаях, когда токи затвора превышают 0.6 А, динамические потери при включении транзистора практически не зависят от тока затвора и остаются на уровне  $W = 1.4$  мкДж. Следовательно, при выборе схемы управления ключом (драйвера) необходимо обеспечить выходной ток не ниже 0.6 А.

Участки графиков с малыми наклонами соответствуют энергии статических потерь. Значение статических потерь характеризуется приращением по вертикальной оси на



**Рис. 7.** Временные диаграммы сигналов: 1 – напряжение  $u$  тактового генератора, открывающего транзистор; 2–6 – энергия потерь  $W(t)$  при токе затвора: 2 – 0.2 А; 3 – 0.4 А; 4 – 0.6 А; 5 – 0.8 А; 6 – 1.0 А.

этом участке (наклоном участка). При разных токах затвора угол наклона участков одинаковый. Следовательно, энергия статических потерь  $W$  практически не зависит от тока затвора и составляет порядка  $\sim 0.7$  мкДж.

Энергия  $W$  не слишком удобный параметр для практического использования. Целесообразно, по нашему мнению, пользоваться понятием средней мощности потерь,  $P_{\text{cp}} = \Delta W/T = \Delta W \cdot F$ , что соответствует количеству выделяемого тепла.

Результаты обработки полученных графиков приведены в табл. 2. Оценку проводили при следующих параметрах схемы силового ключа, показанного на рис. 1:  $+E_{\text{н}} = +20$  В;  $R_{\text{н}} = 2$  Ом;  $F = 500$  кГц. Для разных токов затвора вычисляли составляющие энергии потерь  $W$ , а также абсолютные значения соответствующих составляющих средней мощности потерь  $P_{\text{cp}}$ , к которым сопоставлялись значения в % от общей средней мощности потерь при переключении  $P_{\text{cp общ}}$ :

- $W_{\text{стат}}$ , мкДж – статическая энергия потерь;
- $W_{\text{дин вкл}}$ , мкДж – динамическая энергия потерь при включении;
- $W_{\text{дин выкл}}$ , мкДж – динамическая энергия потерь при выключении;
- $W_{\text{общ}}$ , мкДж – общая энергия потерь при переключении;
- $P_{\text{cp стат}}$ , Вт – средняя мощность статических потерь;
- $P_{\text{cp стат}}$ , % – доля средней мощности статических потерь относительно общей средней мощности потерь  $P_{\text{ст}}$ ;
- $P_{\text{cp дин вкл}}$ , Вт – средняя мощность динамических потерь при включении;
- $P_{\text{cp дин вкл}}$ , % – доля средней мощности динамических потерь при включении относительно общей средней мощности потерь  $P_{\text{ст}}$ ;
- $P_{\text{cp дин выкл}}$ , Вт – средняя мощность динамических потерь при выключении;
- $P_{\text{cp дин выкл}}$ , % – доля средней мощности динамических потерь при выключении относительно общей средней мощности потерь  $P_{\text{ст}}$ ;
- $P_{\text{cp}}$ , Вт – общая средняя мощность потерь при переключении.

**Таблица 2.** Средняя энергия и средняя мощность потерь в транзисторном ключе при разных значениях тока затвора (выходного тока драйвера)

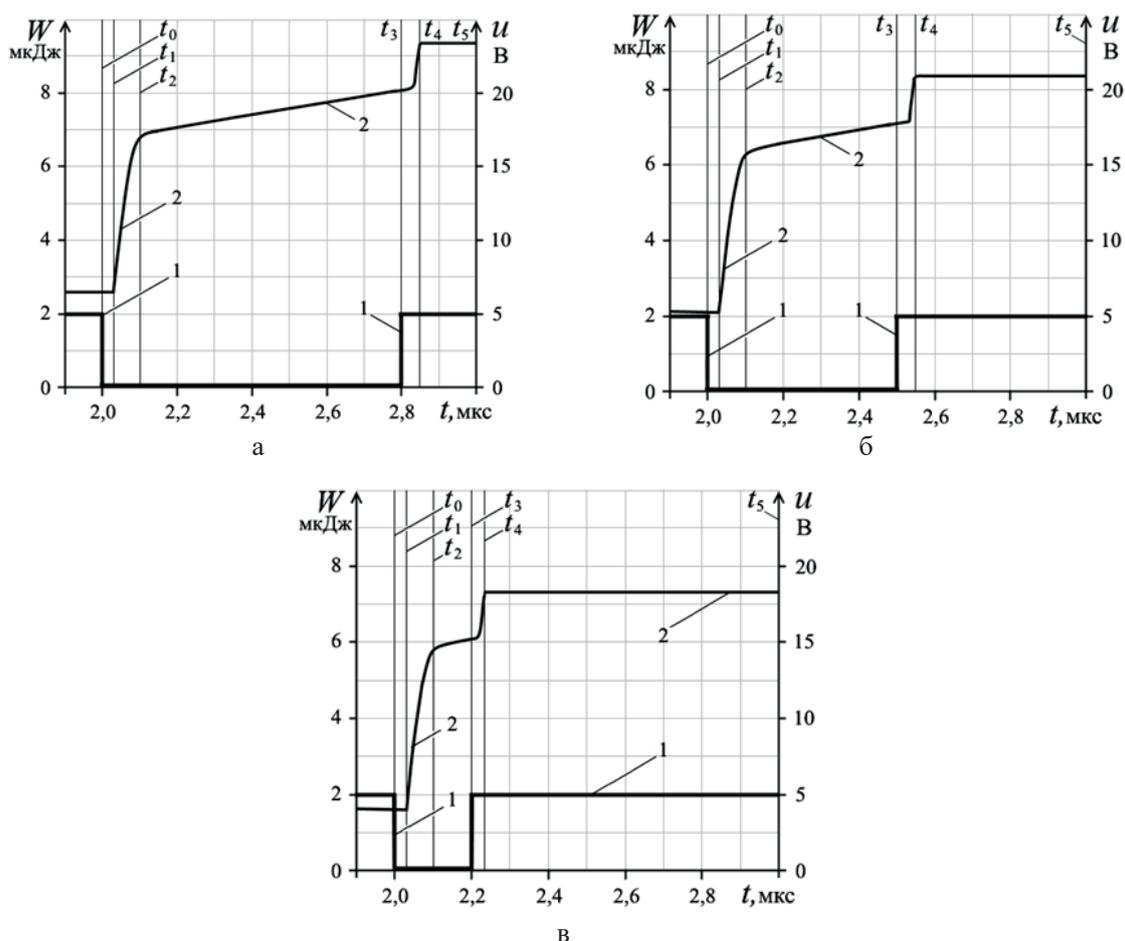
$I_{\text{з}}$ , А	$W_{\text{стат}}$ , мкДж	$W_{\text{дин вкл}}$ , мкДж	$W_{\text{дин выкл}}$ , мкДж	$W_{\text{общ}}$ , мкДж	$P_{\text{cp стат}}$ , Вт/ $P_{\text{cp стат}}$ , %	$P_{\text{cp дин вкл}}$ , Вт/ $P_{\text{cp дин вкл}}$ , %	$P_{\text{cp дин выкл}}$ , Вт/ $P_{\text{cp дин выкл}}$ , %	$P_{\text{cp}}$ , Вт
0.2	0.86	4.1	1.1	6.3	0.43/14	2.05/68	0.56/18	3.04
0.4	0.83	2.1	1.2	4.2	0.41/20	1.05/50	0.60/30	2.10
0.6	0.84	1.4	1.2	3.4	0.40/23	0.70/42	0.60/35	1.70
0.8	0.84	1.1	1.3	3.2	0.45/27	0.55/33	0.65/40	1.65
1.0	0.83	0.8	1.2	2.8	0.40/29	0.40/29	0.60/42	1.40

Очевидно (табл. 2), что характеристики  $W_{\text{стат}}$  и  $P_{\text{cp стат}}$  не зависят от тока затвора, но с его возрастанием увеличивается доля  $P_{\text{cp стат}}$ . То же относится и к параметрам  $W_{\text{дин вкл}}$  и  $P_{\text{cp дин вкл}}$ . Характеристика  $W_{\text{дин выкл}}$  и соответствующая  $P_{\text{cp дин выкл}}$  значительны при малых токах затвора и снижаются при увеличении управляющего тока. Величина  $P_{\text{cp}}$  уменьшается с увеличением тока затвора, однако, начиная с тока затвора 0.6 А и выше скорость снижения уменьшается. На этом основании для транзистора IRF1010N необходимо выбирать драйвер с выходным током не менее 0.6 А. Относительные соотношения потерь позволяют судить о вкладе соответствующих процессов в ключе в общие потери при коммутации.

### Потери мощности при ШИМ-регулировке тока нагрузки

С использованием схемы на рис. 1 выполнено исследование мощности потерь при широтно-импульсном (ШИМ) управлении током нагрузки путем изменения коэффициента заполнения импульса  $D$  в опциях генератора импульсов V2 (Clock). Моделирование проводили в режиме Analysis/Parameter Sweep. Варьируемым параметром был коэффициент заполнения импульса  $D$  генератора V2, выходным параметром – напряжение на нагрузке R5 интегратора АЗ. На оси времени выбран интервал времени от 1.9 до 3.0 мкс. Результаты моделирования изображены на рис. 8.

Реперами отмечены моменты времени переключения транзистора: в момент времени  $t_0$  транзистор открывается, а в моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  и  $t_4$  закрывается при разной длительности импульса ШИМ. Степень на графиках означает скачок динамической составляющей энергии потерь при переключении, а пологое приращение – вклад статической составляющей энергии потерь открытого транзистора. Энергия включения и выключения не зависит от коэффициента заполнения импульса  $D$  (абсолютная величина степени остается постоянной). От коэффициента  $D$  при ШИМ-регулировании тока через транзистор зависят только энергия и мощность статических потерь, которые приведены в табл. 3.



**Рис. 8.** Временные диаграммы сигналов: 1 – напряжение  $u$  тактового генератора, открывающего транзистор; 2 – энергия потерь  $W(t)$  при разных значениях коэффициента заполнения импульсов  $D$ : а – 0.8; б – 0.5; в – 0.2.

**Таблица 3.** Величина статических потерь при изменении коэффициента заполнения  $D$

$D$	0.2	0.4	0.6	0.8
$W_{\text{ср стат}}^*$ , мкДж	0.30	0.64	0.98	1.30
$P_{\text{ср стат}}^*$ , Вт	0.30	0.32	0.50	0.65

Видно, что статические потери растут с увеличением коэффициента заполнения импульса.

### Выводы

Мощность статических потерь зависит от сопротивления канала открытого транзистора, тока через транзистор, коэффициента заполнения импульса при ШИМ-регулировании и не зависит от тока затвора. Мощность динамических потерь при включении транзистора зависит от тока затвора (выходной ток драйвера) и уменьшается при увеличении тока затвора. В то же время при токе затвора 0.6...0.7 А снижение потерь стабилизируется. Поэтому целесообразно выбирать драйвер с выходными токами более 0.6 А, хотя это справедливо лишь для исследуемого MOSFET-транзистора IRF010N. В схемах ключей на других транзисторах оптимальный выходной ток драйвера может отличаться.

Мощность динамических потерь при выключении транзистора не зависит от тока затвора. Вывод справедлив только для данной схемы, так как разряд емкости затвора происходит через резистор с фиксированным значением сопротивления ключа. В схеме с реальным драйвером управления ключом физические процессы включения и выключения практически идентичны, так что и количественные результаты должны быть близки.

Моделирование MOSFET-ключа в программе Electronics Workbench дает адекватные результаты определения параметров силовых транзисторов, которые согласуются с данными, приведенными в их Datasheet, а также позволяет моделировать потери ключа и минимизировать их при любой нагрузке.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания Минобрнауки России № 8.5577.2017/БЧ по теме «Исследование шумовых характеристик и пульсаций микросхем мобильных источников вторичного электропитания».*

### Литература:

1. Дьяконов В.П., Максимчук А.А., Ремнев А.М., Смердов В.Ю. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. 512 с.
2. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: профессиональные решения. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011. 416 с.
3. Дьяконов В.П. Физическое моделирование схем на полевых транзисторах в Simulink и SimElectronics // Компоненты и технологии. 2011. № 11. С. 162–171.
4. Зиновьев Г.С. Силовая электроника: Учебное пособие для бакалавров. М.: Юрайт, 2012. 671 с.
5. Бабенко В.П., Битюков В.К. Особенности моделирования MOSFET-ключей в ELECTRONICS WORKBENCH // Учебный эксперимент в образовании. 2017. № 3 (83). С. 76–88.
6. Бабенко В.П., Битюков В.К. Методические особенности компьютерного моделиро-

вания ШИМ-контроллеров // Учебный эксперимент в образовании. 2015. № 2 (74). С. 60–74.

7. Бабенко В.П., Битюков В.К. Особенности моделирования драйвера двигателя в системе Electronics Workbench // Учебный эксперимент в образовании. 2015. № 4 (76). С. 60–75.

8. Битюков В.К., Симачков Д.С. Источники вторичного электропитания: Учебник. М.: Инфра-Инженерия, 2017. 326 с.

9. Бабенко В.П., Битюков В.К., Симачков Д.С. Схемотехническое моделирование DC/DC преобразователей // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 11. С. 69–82.

10. Бабенко В.П., Битюков В.К. Измерение заряда затвора для ключей на мощных MOSFET транзисторах // В сб.: Современные проблемы профессионального образования: опыт и пути решения. Материалы второй Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск, 2017. С. 37–41.

11. Бабенко В.П., Битюков В.К. Методические особенности разработки модели электродвигателя в системе EWB // Российский технологический журнал. 2015. № 2 (7). С. 53–66.

12. Lakkas G. MOSFET power losses and how they affect power-supply efficiency // Texas Instruments, Analog Applications Journal. 1Q. 2016. P. 22–28. <http://www.ti.com/lit/an/slyt664/slyt664.pdf>

13. Laszlo Balogh. Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits Texas Instruments. Application Report SLUA618. March 2017. Revised SLUP169 April 2002. 47 с. <http://www.ti.com/lit/ml/slua618/slua618.pdf>

14. Ремнев А.М., Смердов В.Ю. Анализ силовых ключей импульсных источников питания // Схемотехника. 2001. № 6. С. 8–16.

15. Болтовский Ю., Тоназлы Г. Некоторые вопросы моделирования систем силовой электроники // Силовая электроника. 2006. № 4. С. 78–83.

16. Бабенко В.П., Битюков В.К., Симачков Д.С. Схемотехническое моделирование устройства контроля положения привода в пространстве // Электромагнитные волны и электронные системы. 2016. Т. 21. № 4. С. 11–19.

17. Битюков В.К., Власюк Ю.А., Петров В.А., Федоров Е.И. Лабораторный практикум по дисциплине «Физические основы преобразовательной техники». М.: МИРЭА, 2003. 155 с.

18. Конюшенко И. Основы устройства и применения силовых МОП-транзисторов (MOSFET) // Силовая электроника. 2011. № 2. С. 10–14.

19. Бабенко В.П., Битюков В.К. Методические особенности моделирования привода в системе EWB // В сб.: Фундаментальные и прикладные проблемы физики: сб. научных трудов по материалам IX Междунар. научно-техн. конф. Саранск. 2015. С. 301–307.

20. Белоус А.И., Ефименко С.А., Турцевич А.С. Полупроводниковая силовая электроника. М.: Техносфера, 2013. 216 с.

#### References:

1. Dyakonov V.P., Maksimchuk A.A., Remnev A.M., Smerdov V.Yu. Encyclopedia of devices on field-effect transistors. M.: SOLON-PRESS Publ., 2009. 512 p. (in Russ.).

2. Semenov B.Yu. Power electronics: Professional solutions. M.: SOLON-PRESS Publ., 2009. 416 p. (in Russ.).
3. Dyakonov V.P. Physical simulation of circuits on field-effect transistors in Simulink и SimElectronics // Komponenty i tekhnologii (Components and Technologies). 2011. № 11. P. 162–171. (in Russ.).
4. Zinoviev G.S. Power electronics. M.: Yurait Publ., 2012. 671 p. (in Russ.).
5. Babenko V.P., Bityukov V.K. Special features of simulation of MOSFET switches in ELECTRONICS WORKBENCH // Uchebny experiment v obrazovanii (Training Experiment in Education). 2017. № 3 (83). P. 76–88. (in Russ.).
6. Babenko V.P., Bityukov V.K. Special methodology of computer simulation of PWM-controllers // Uchebny experiment v obrazovanii (Training Experiment in Education). 2015. № 2(74). P. 60–74. (in Russ.).
7. Babenko V.P., Bityukov V.K. Simulating of a motor driver using Electronics Workbench // Uchebny experiment v obrazovanii (Training Experiment in Education). 2015. № 4(76). P. 60–75. (in Russ.).
8. Bityukov V.K., Simachkov D.S. Secondary power sources. Moscow: Infra-Inzheneriya Publ., 2017. 326 p. (in Russ.).
9. Babenko V.P., Bityukov V.K., Simachkov D.S. Circuit simulation of DC/DC converters // Informatsionno-izmeritel'nyye i upravlyayushchiye sistemy (Information-Measuring and Control Systems). 2016. V. 14. № 11. P. 69–82. (in Russ.).
10. Babenko V.P., Bityukov V.K. Measurement of the gate charge for switches with powerful MOSFET transistors // Proceedings: Current problems of professional education – good practices and ways of solution. Proceedings of the 2nd All-Russia Scientific-Practical Conference with participants from other countries. Irkutsk, 2017. P. 37–41. (in Russ.).
11. Babenko V.P., Bityukov V.K. Methodological characteristics of developing a model electric engine in EWB system // Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal (Russian Technological Journal). 2015. № 2(7). P. 53–66. (in Russ.).
12. Lakkas G. MOSFET power losses and how they affect power-supply efficiency // Texas Instruments, Analog Applications Journal. 1Q. 2016. P. 22–28. <http://www.ti.com/lit/an/slyt664/slyt664.pdf>
13. Laszlo Balogh. Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits Texas Instruments. Application Report SLUA618. March 2017. Revised SLUP169 April 2002. 47 p. <http://www.ti.com/lit/ml/slua618/slua618.pdf>
14. Remnev A.M., Smerdov V.Yu. Analysis of power switches of switch-mode power supply // Skhemotekhnika (Circuit Design). 2001. № 6. P. 8–11. (in Russ.).
15. Boltovskiy Yu., Tonazly G. Some questions of modeling of power electronic systems // Silovaya elektronika (Power Electronics). 2006. № 4. P. 78–83. (in Russ.).
16. Babenko V.P., Bityukov V.K., Simachkov D.S. Circuit simulation device controls of actuator position in space // Elektromagnitnyye volny i elektronnyye sistemy (Electromagnetic Waves and Electronic Systems). 2016. V. 21. № 4. P. 11–19. (in Russ.).
17. Bityukov V.K., Vlasyuk Yu.A., Petrov V.A., Fedorov E.I. Laboratory workshop on discipline «Physical fundamentals of converters». Moscow: MIREA Publ., 2003. 155 p. (in Russ.).

18. Konyushenko I. Basic principles of the device and application of power MOSFET transistors // *Silovaya elektronika (Power Electronics)*. 2011. № 2. P. 10–14. (in Russ.).

19. Babenko V.P., Bitjukov V.K. Methodical peculiarities of modeling of the actuator in the EWB system. Collection of scientific works "Fundamental and applied problems of physics": Proceed. of the IX-th Int. Scientific-Technical Conference. Saransk, 2015. P. 301–307. (in Russ.).

20. Belous A.I., Efimenko S.A., Turtsevich A.S. Semiconductor power electronics. Moscow: Tekhnosfera Publ., 2013. 216 p. (in Russ.).

*Об авторах:*

**Бабенко Валерий Павлович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической радиотехники и радиофизики Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**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).

**Кузнецов Владимир Викторович**, кандидат технических наук, доцент, директор Физико-технологического института, заведующий кафедрой оптико-электронных приборов и систем Физико-технологического института ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**Симачков Денис Сергеевич**, старший преподаватель кафедры теоретической радиотехники и радиофизики Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

*About the authors:*

**Valery P. Babenko**, Ph.D., Associate Professor, Chair of Theoretical Radio Engineering and Radio Physics, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia).

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

**Vladimir V. Kuznetsov**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Director of Physico-Technological Institute, Head of the Chair of Optical-Electronic Devices and Systems, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

**Denis S. Simachkov**, Senior Lecturer, Chair of Theoretical Radio Engineering and Radio Physics, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

УДК 519.857

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ СПЛАЙНОВ В САПР ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**В.И. Струченков**

*Московский технологический университет (МИРЭА), Москва 119454, Россия  
@Автор для переписки, e-mail: str1942@mail.ru*

В статье рассматриваются математические модели и алгоритмы оптимизации, используемые при проектировании продольного профиля новых и реконструируемых автомобильных дорог и других линейных сооружений транспорта. В качестве базового представления искомой проектной линии продольного профиля проектируемой трассы принят параболический сплайн, то есть плоская кривая, элементами которой являются параболы второй степени. Параметры этих элементов должны удовлетворять техническим ограничениям, которые формализуются в виде системы линейных неравенств. Искомый сплайн является экстремалью некоторого функционала, который получается при формализации таких технико-экономических критериев оптимальности, как объемы земляных работ и строительные затраты. Принципиальной особенностью рассматриваемой задачи оптимизации является отсутствие сведений о числе элементов искомого сплайна. В этой связи предлагается многоэтапный подход: сначала определить число элементов, а затем оптимизировать их параметры. Число элементов определяется по результатам работы программ, проектирующих ломаную линию, состоящую из элементов малой длины, с соблюдением всех технических ограничений. Число этапов оптимизации параметров при известном числе элементов сплайна зависит от конкретной задачи, принятого критерия оптимальности, а также полноты и детальности исходных данных. Рассматриваются алгоритмы динамического и нелинейного программирования, особенности их реализации и результаты применения разработанных компьютерных программ.

**Ключевые слова:** трасса, продольный профиль, сплайн, динамическое и нелинейное программирование, целевая функция, градиент.

## THE USE OF PARABOLIC SPLINEES IN CAD OF LINEAR STRUCTURES

**V.I. Struchenkov**

*Moscow Technological University (MIREA), Moscow 119454, Russia  
@Corresponding author e-mail: str1942@mail.ru*

The article continues studying the problem of the calculus of variations that occurs in line structures routing, in particular, roads. The task is to find a line that satisfies all technical constraints and gives a minimum of a given functional, for example, construction costs. The unknown extremal is a parabolic spline, that is, a plane curve, the elements of which are parabolas of the second order conjugated by line segments. The principal feature of the problem is that the number of spline elements is unknown. The spline parameters must satisfy the constraints on the first derivative and curvature. Besides, also the ordinates of the individual points may be restricted. In addition, the lengths of the spline elements must be at least the given values. The problem is solved in two stages. First, the number of elements is determined, and then their parameters are optimized. Algorithms of nonlinear and dynamic programming are used. The structural features of the constraint system are taken into account, and an algorithm for constructing a basis in the null space of the matrix of active constraints is given. As an alternative, an algorithm is implemented that uses penalty functions for violation of constraints on ordinates of given points. The successful implementation of algorithms is reported.

**Keywords:** route, horizontal and vertical alignment, nonlinear programming, objective function, gradient, feedbacks.

### Введение

Настоящая статья является логическим продолжением ранее опубликованной работы<sup>1</sup>. При автоматизированном проектировании трасс таких линейных сооружений, как автомобильные дороги различного назначения, траншеи для магистральных трубопроводов, трасса сооружения как трехмерная кривая традиционно представляется двумя плоскими кривыми: планом и продольным профилем [1–3]. Варианты положения трассы в плане назначаются специалистами, исходя из технико-экономических, экологических и других условий. В обжитых районах, как правило, этих вариантов немного. Достаточно вспомнить историю с Химкинским лесом, когда альтернативный вариант так и не был найден. Для выбора варианта из нескольких возможных по каждому из них проектируется продольный профиль, то есть плоская кривая, являющаяся однозначной функцией координаты  $Z$  от длины дуги в плане  $s$ , начиная от заданной точки. Кривая состоит из нескольких элементов, в точке сопряжения элементы имеют общую касательную. В качестве элементов могут быть дуги окружностей, отрезки прямых, парабол, клотоид и др.

В настоящей статье в качестве элементов искомой проектной линии приняты параболы второй степени и отрезки прямых, как частный случай парабол. Параметры элементов должны удовлетворять условиям гладкости, то есть ограничениям на первую производную и кривизну. Кроме того, могут быть ограничения на координату  $Z$  в отдельных точках. Длины элементов не могут быть меньше заданных величин, при этом число элементов неизвестно.

Цель статьи – показать, как определить число элементов с помощью метода динамического программирования, получить начальное приближение искомой линии в виде параболического сплайна и оптимизировать параметры сплайна, используя методы нелинейного программирования. Это соответствует методологии разработки проектирующих

<sup>1</sup>Струченков В.И. Компьютерные технологии проектирования трасс линейных сооружений // Российский технологический журнал. 2017. Т. 5. № 1. С. 29–41.

систем [4], которые принципиально отличаются от действующих САПР [5–8], где проектные решения тем или иным способом назначаются проектантом, причем компьютер используется для решения вспомогательных задач, а не для выработки проектных решений на основе математических моделей и алгоритмов оптимизации.

### 1. Формализация задачи

Обозначим профиль земли по заданному варианту положения трассы в плане как  $Z(s)$ , а искомую проектную линию –  $P(s)$ . Задача состоит в следующем: по заданной  $Z(s)$  найти такую  $P(s)$ , которая удовлетворяет всем ограничениям и дает

$$\int_0^{S_0} F(Z(s), P(s), s) ds \tag{1}$$

где  $S_0$  – длина трассы в плане;

функция  $F$  моделирует строительные затраты на элементе длины;

$Z(s)$  – ломаная линия с неравномерным шагом;

$P(s)$  – последовательность парабол второй степени, сопрягаемых встык (с общей касательной) или отрезками прямых, которые рассматриваются как параболы нулевой кривизны.

Задача вариационного исчисления (1) в конечном итоге будет сведена к задаче нелинейного программирования, обладающей интересными особенностями независимо от конкретного вида функции  $F$ . Прежде всего, надо определить размерность задачи, то есть число элементов искомого сплайна. Первоначально вместо параболического сплайна будем искать ломаную линию, у которой абсциссы переломов совпадают с абсциссами переломов профиля земли. При необходимости количество элементов этой ломаной можно увеличить для более точной аппроксимации искомого сплайна.

Совпадение абсцисс профиля земли и искомой ломаной (замены сплайна) позволяет задать число элементов  $n$  (размерность задачи) и их длины  $s_i$  (в плане). При этом получится не сплайн, а его приближение в виде ломаной линии из коротких элементов. Такая линия называется «цепочечный профиль» [9]. Число звеньев ломаной существенно больше, чем число элементов сплайна, но при соблюдении ограничений, которые являются дискретными аналогами ограничений по первой производной (ограничения на уклоны элементов ломаной) и кривизну (ограничения на разность уклонов смежных элементов ломаной) отклонения от сплайна  $P(s)$  невелики [9]. Идея заключается в том, чтобы найти ломаную путем решения задачи оптимизации, затем преобразовать ее в сплайн, определив тем самым реальную размерность задачи и начальное приближение, и на последнем этапе выполнить оптимизацию параметров сплайна при всех ограничениях и необходимых уточнениях целевой функции.

#### 1.1. Система ограничений

В качестве неизвестных  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) принимаем ординаты искомой ломаной в точках перелома. Ограничения делятся на три группы:

- 1) на ординаты в отдельных точках  $p_i \leq p_i^{\max}$  или  $p_i \geq p_i^{\min}$ ;

2) на уклоны элементов профиля (являются дискретным аналогом ограничения на первую производную)

$$a_i \leq (p_{i+1} - p_i)/s_i \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, n-1),$$

здесь  $s_i$  – длины элементов;

3) на разности уклонов смежных элементов:

$$c_i \leq (p_{i+2} - p_{i+1})/s_{i+1} - (p_{i+1} - p_i)/s_i \leq d_i.$$

Эти ограничения являются дискретным аналогом ограничения на кривизну.

В силу малости проектных уклонов длина элемента и длина его проекции на ось абсцисс практически совпадают.

## 1.2. Критерий оптимальности

Переход от сплайна к ломаной из коротких элементов позволяет свести вариационную задачу (1) к задаче нелинейного программирования с линейной системой ограничений. Интеграл (1) преобразуется в целевую функцию  $K(\mathbf{h})$  и задача приобретает вид:

$$K(\mathbf{h}) = \sum_{i=1}^{n-1} f_i(h_i, h_{i+1}, s_i) + \sum_{j=1}^{j=k} g_j(h_j) \quad (2)$$

при  $\mathbf{A}\mathbf{h} \leq \mathbf{b}$ .

Здесь вектор неизвестных  $\mathbf{h} (h_1, h_2, \dots, h_n)$  имеет компоненты  $h_i = p_i - z_i$  – разности ординат искомого профиля («цепочки») и профиля земли в точках его перелома. Переменные  $h_i$  как отклонение проектной линии от профиля земли называются рабочими отметками. Функции  $f_i(h_i, h_{i+1}, s_i)$  моделируют затраты на сооружение земляного полотна, а функции  $g_j(h_j)$  моделируют затраты на искусственные сооружения (водопрпускные трубы, мосты и др.), число которых ( $k$ ), типы и местоположение считаются заданными. В последней сумме участвуют только те переменные, которые соответствуют местоположению искусственных сооружений.

Поскольку  $z_i$  известны, система линейных ограничений на компоненты вектора  $\mathbf{p}$  преобразуется в систему линейных ограничений на компоненты вектора  $\mathbf{h}$  с заданными матрицей  $\mathbf{A}$  и вектором  $\mathbf{b}$ . Система линейных ограничений имеет простую структуру, что позволяет модифицировать известный алгоритм приведенного градиента [10, 11]. В отличие от стандартных алгоритмов решения задач данного типа с произвольными системами линейных ограничений [5] здесь реализован алгоритм, не требующий решения систем линейных уравнений для поиска направления спуска на каждой итерации. Направление спуска (приведенный антиградиент) вычисляется по простым формулам, что позволяет решать задачу нелинейного программирования с числом переменных до 1000 и числом ограничений до 4500. Это соответствует проектированию 15-20 км автодорог за несколько секунд на общедоступных персональных компьютерах.

## 2. Расчет параболического сплайна

Будем считать заданными начальную точку и направление касательной в ней (точка А и уклон  $i_1$  на рис. 1), а также конечную точку В. Может быть задано и направление касательной в точке В. Задача состоит в построении параболического сплайна, который удовлетворяет всем ограничениям, включая ограничения на минимальную длину элемента ( $l_{min}$ ), и наилучшим образом аппроксимирует «цепочечный профиль» (кривая АВ на рис.1), полученный на предыдущем этапе расчетов.

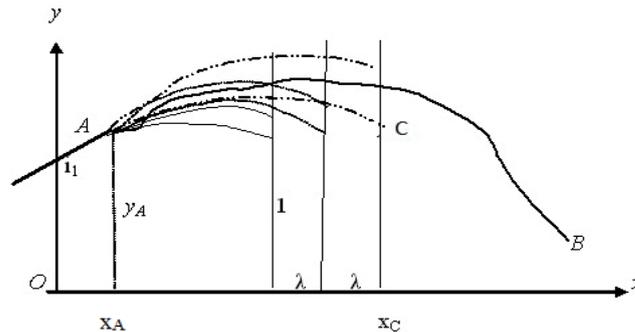


Рис. 1. Варианты первой параболы.

К сожалению, в общем случае на данном этапе в качестве критерия качества аппроксимации не удастся использовать целевую функцию (строительные затраты), которая использовалась при проектировании «цепочечного» профиля. Дело в том, что при сооружении земляного полотна грунт выемок обычно используется для сооружения насыпей, а если грунта выемок, пригодного для сооружения насыпей, недостаточно, то используются карьеры (резервы). Следовательно, для вычисления затрат на сооружение земляного полотна нужно знать соотношение объемов насыпей и выемок, то есть проектную линию в целом. Мы же будем строить параболический сплайн поэлементно, используя динамическое программирование. При заданных конструкциях поперечных профилей земляного полотна в качестве целевой функции можно принять суммарный объем насыпей и выемок, однако в этом случае расчеты существенно усложняются. Следовательно, в качестве критерия близости искомого параболического сплайна и «цепочечного» профиля целесообразно принять сумму квадратов разностей ординат с заданным постоянным шагом. Иными словами, относительно аппроксимируемой линии разобьем регулярную сетку с заданным шагом по оси абсцисс ( $\lambda$  на рис. 1) и ординат  $\Delta$ .

Первая вертикаль сетки отстоит от точки А по оси абсцисс на  $l_{min}$ , далее с шагом  $\lambda$ . На первом шаге (рис. 1) в каждый узел сетки на вертикали 1 приходит только одна парабола, так как начальная точка А и начальное направление заданы. Уравнение параболы  $y = ax^2 + bx + c$ . Если задать ординату конца параболы  $y_C$ , то для определения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  имеем систему из трех уравнений:

$$ax_A^2 + bx_A + c = y_A;$$

$$ax_C^2 + bx_C + c = y_C;$$

$$2ax_A + b = i_{нач};$$

здесь начальный уклон  $i_{нач} = i_1 = \operatorname{tg}\alpha$ ,

$\alpha$  – угол заданного начального направления с осью  $x$ .

Находим последовательно

$$a = \frac{y_C - y_A - i_{нач}(x_C - x_A)}{(x_C - x_A)^2}$$

$$b = i_{нач} - 2ax_A \text{ и } c = y_A - x_A^2 - bx_A.$$

Уклон в конце элемента  $i_{кон} = 2(y_C - y_A)/(x_C - x_A) - i_{нач}$ .

Если  $(y_C - y_A)/(x_C - x_A) = i_{нач}$ , то вместо параболы имеем прямую ( $i_{кон} = i_{нач}$ ) как частный случай. Отметим, что при изменении  $y_C$  на  $\Delta$  (шаг сетки) конечный уклон меняется на  $2\Delta/(x_C - x_A)$ . Естественно, что из всех парабол остаются только те, параметры которых удовлетворяют всем ограничениям, и для каждой допустимой параболы вычисляется целевая функция. Ограничения на кривизну фактически сводятся к двусторонним ограничениям на параметр  $a$ , если уклоны много меньше единицы, что имеет место в задачах проектирования трасс линейных сооружений. В любом случае, для любого построенного варианта параболы легко проверить выполнение всех заданных ограничений.

Кроме вертикали 1, первый элемент может заканчиваться на всех последующих вертикалях. Однако нет смысла строить элементы длиной больше чем  $2l_{min}$ , так как каждый из них может быть получен как два элемента. Следовательно, на каждой вертикали в интервале  $x_A + l_{min} \leq x \leq x_A + 2l_{min}$  при построении первого элемента в каждый узел сетки приходит одна парабола, которая запоминается, если не нарушены ограничения.

При построении второго и всех последующих элементов каждая точка на вертикали 1 должна рассматриваться как начальная. На первом элементе это была точка А с одним возможным значением начального уклона, теперь таких точек много, и в каждой из них есть несколько значений начального уклона. Если число точек на каждой вертикали равно  $m$ , то без учета ограничений на второй вертикали в **каждой точке** есть  $m$  сходящихся элементов (каждый со своим конечным уклоном), на третьей соответственно  $m^2$ , потом  $m^3$  и так далее.

В динамическом программировании ключевым понятием является «состояние системы». В рассматриваемой задаче в качестве «состояния системы» нельзя принять отдельную точку на вертикали, нужно еще и значение уклона (производной) в ней. Сравнить можно только варианты, сходящиеся в точке с одним и тем же уклоном, и из всех таких вариантов – оставлять для дальнейшего рассмотрения только один, но при таком правиле отбраковки резкое возрастание количества вариантов приводит к непреодолимым вычислительным трудностям.

Исходя из выше изложенного, будем считать сравнимыми сходящиеся в одной точке варианты, если их конечные уклоны близки, т.е. введем дискретность по уклонам. Следовательно, задача становится двухпараметрической, хотя по второму параметру (уклон) сетка варьирования строится в процессе счета. Величина дискрета по уклонам должна выбираться так, чтобы вызванное этой дискретностью максимальное отклонение на следующем элементе не превышало шага сетки  $\Delta$ .

На каждой вертикали в каждом узле сетки запоминается «веер» входящих парабол, их конечные уклоны, номер вертикали начала элемента и номер узла на ней плюс сумма квадратов отклонений от аппроксимируемой кривой по всем пройденным вертикалям (значение целевой функции).

Процесс продолжается до вертикали, отстоящей от конечной точки на  $L_{min}$  (рис. 2), но начиная с  $2L_{min}$  новый элемент строится с условием выхода в конечную точку и, если требуется, то и в конечном направлении ( $i_{fin}$ ). После сравнения всех допустимых вариантов последнего элемента и выбора наилучшего из них обратным разворотом определяем все элементы, а именно наилучший в заданных условиях параболический сплайн.

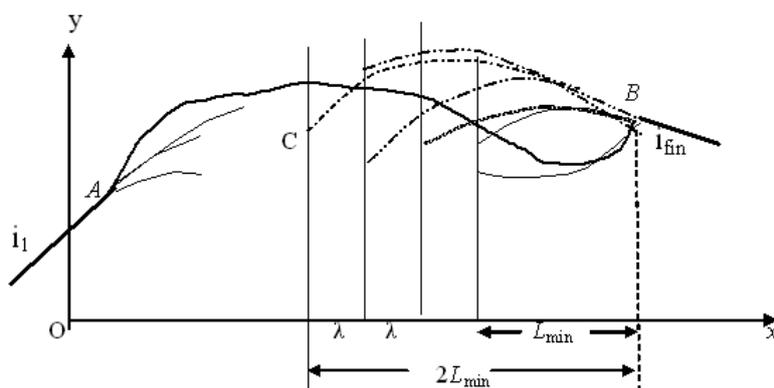


Рис. 2. Построение последнего элемента.

### 3. Оптимизация параметров сплайна

Будем рассматривать полученный сплайн как начальное приближение задачи нелинейного программирования, к которой сводится исходная вариационная задача. Возможность оптимизации длин элементов сплайна пока рассматривать не будем. В качестве переменных примем уклоны (первые производные) в начале каждого элемента плюс уклон в конце последнего элемента. Если начальный или конечный уклоны (один или оба) фиксируются, то дополнительных сложностей не возникает, просто уменьшается размерность задачи.

Уравнение каждой параболы в декартовой системе координат ( $l, H$ ), помещенной в начало элемента, имеет вид:

$$H = al^2 + bl + c,$$

где  $c$  – проектная отметка в начальной точке элемента;

$b$  – уклон в начале элемента;

$l$  – расстояние от начала элемента.

Если считать неизвестными все уклоны – параметры  $b_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N+1$ ), где  $N$  – число элементов сплайна, то через них можно найти проектную отметку любой точки, считая заданной отметку начальной точки. Действительно, параметр  $a_j$  каждой параболы вычисляется через уклоны в ее начальной и конечной точках, так как длина элемента  $L_j$  известна:

$$a_j = (b_{j+1} - b_j) / (2L_j) \tag{3}$$

$$c_{j+1} = (b_{j+1} + b_j)L_j/2 + c_j \quad (4)$$

При любой комбинации параметров  $b_j$  можно вычислить все рабочие отметки, которые раньше считались независимыми переменными, а, следовательно, и частные производные (градиент) целевой функции. Нужно только последовательно вычислять параметры  $a_j$  и  $c_{j+1}$  по формулам (3) и (4).

Проектная отметка  $P_Q$  произвольной точки Q определяется по формуле

$$P_Q = P_0 + \sum_{j=1}^{r-1} \frac{(b_{j+1} + b_j)L_j}{2} + b_r S_Q + \frac{b_{r+1} - b_r}{2L_r} S_Q^2 \quad (5)$$

здесь  $P_0$  – проектная отметка в начале профиля;

$r$  – номер элемента, содержащего точку Q;

$S_Q$  – расстояние точки Q от начала этого элемента.

При  $r = 1$  имеем просто

$$P_Q = P_0 + b_1 S_Q + (b_2 - b_1) S_Q^2 / (2L_1) \quad (6)$$

Ограничения по уклонам записываются как

$$b_j^{\min} \leq b_j \leq b_j^{\max} \quad (7)$$

Ограничения по радиусам

$$L_j / R_j^{\min 1} \leq b_{j+1} - b_j \leq L_j / R_j^{\min 2}. \quad (8)$$

здесь  $R_j^{\min 1} < 0$  и  $R_j^{\min 2} > 0$  – минимально допустимый радиус выпуклой и вогнутой кривой, соответственно. Их можно задать различными на различных участках профиля. В частности, задав  $R_j^{\min 1} > R_j^{\min 2} > 0$ , запрещаем выпуклую кривую на соответствующем элементе, а задав  $R_j^{\min 2} < R_j^{\min 1} < 0$ , запрещаем вогнутую кривую.

Формулы (5) и (6) используются для пересчета частных производных, а также для проверки активности высотных ограничений. Из них следует, что при известных длинах элементов  $L_j$  высотные ограничения выражаются линейными неравенствами относительно неизвестных  $b_j$ . Каждое из таких ограничений связывает уклоны всех предшествующих элементов. Например, условие выхода в конечную точку связывает уклоны всех элементов, что является существенным осложнением по сравнению с крайне простой структурой системы ограничений (7), (8).

Широко известные алгоритмы нелинейного программирования с линейной системой ограничений [11, 12] представляют собой итерационный процесс, состоящий из следующих шагов:

- 1) вычисление допустимого начального приближения  $\mathbf{z}^0$ ;
- 2) вычисление градиента целевой функции  $\mathbf{f}^0$ ;
- 3) определение множества активных ограничений (активного набора);
- 4) построение направления спуска  $\mathbf{p}^0$  в граничном линейном многообразии;

5) проверка условий прекращения счета и, если они выполнены, то окончание процесса, иначе – следующий шаг;

6) вычисление шага  $s$  и новой итерационной точки  $\mathbf{z}^{k+1} = \mathbf{z}^k + s\mathbf{p}^k$  и переход к пункту 2.

Эти алгоритмы отличаются способом построения вектора спуска. Если в качестве направления спуска используется проекция  $\mathbf{p}$  антиградиента  $-\mathbf{f}$ , то стандартный алгоритм для вычисления проекции требует на каждой итерации решать систему линейных уравнений. Однако, если на каждой итерации номер  $k$  для соответствующего набора активных ограничений, составляющих матрицу  $\mathbf{A}_k$ , мы умеем строить базис в ее нуль-пространстве, то в качестве направления спуска можно использовать приведенный антиградиент [9] и обойтись без решения систем уравнений. Поскольку направление спуска  $\mathbf{p}^k$  удовлетворяет всем активным ограничениям как равенствам, то  $\mathbf{A}\mathbf{p}^k = 0$ . Если  $\mathbf{C}$  – базисная матрица нуль-пространства матрицы  $\mathbf{A}_k$ , то приведенный антиградиент вычисляется по формуле  $\mathbf{p}^k = \mathbf{C}\mathbf{C}^T\mathbf{f}^k$ , где  $\mathbf{f}^k$  – антиградиент целевой функции на  $k$ -ой итерации, а  $\mathbf{C}^T$  – транспонированная базисная матрица.

При временном исключении из рассмотрения ограничений на ординаты отдельных точек (высотные ограничения) и требования выхода в конечную точку оставшаяся система ограничений чрезвычайно проста. В таком случае нет необходимости строить базисную матрицу, так как можно на каждой итерации просто вычислить проекцию антиградиента на нуль-пространство матрицы активных ограничений при любой их комбинации. Характерно, что в этом случае при наличии переменной, которая не входит ни в одно из активных ограничений, компоненты проекции антиградиента для участков слева и справа от соответствующей точки могут вычисляться независимо.

Предполагаем, что такое разбиение на участки независимого построения направления спуска выполнено. Далее для участков с предельными уклонами  $b_j$  обнуляем соответствующие компоненты проекции антиградиента, а для участков с предельными значениями разностей уклонов  $b_{j+1} - b_j$ , но без предельных значений уклонов – берем среднее арифметическое соответствующих компонент антиградиента. Это простое правило следует непосредственно из определения проекции и структуры матрицы ограничений [11–13]. Если на участке с предельными значениями разностей уклонов  $b_{j+1} - b_j$  есть хотя бы один предельный уклон, то все компоненты проекции антиградиента для такого участка равны нулю. Естественно, что для свободных переменных, компоненты проекции антиградиента равны соответствующим компонентам антиградиента. При наличии высотных ограничений найденное направление спуска может оказаться недопустимым, и приходится использовать более сложные алгоритмы поиска направления спуска.

Ранее был предложен алгоритм, основанный на построении базиса в нуль-пространстве матрицы активных ограничений (матрица  $\mathbf{C}$ ) и в дополнении к нему (матрица  $\mathbf{B}$ ) без учета некоторых активных ограничений, а затем определения направления спуска при решении системы линейных уравнений, размерность которой равна числу активных ограничений, не учтенных при переходе к новому базису [14]. Каждый базисный вектор (столбец матрицы  $\mathbf{B}$ ) должен нарушать одно и только одно ограничение. Использование такого базиса позволяет не только определять направление спуска, но и легко решать вопрос об исключении ограничений из активного набора.

В нашем случае, если высотные ограничения не активны, новый базис строится

очень просто. Когда на участке активны только ограничения по разности  $b_j$  (участок сдвига в пространстве уклонов), базисная матрица  $\mathbf{C}$  состоит из единственного вектора, все компоненты которого равны единице. Число переменных на единицу больше числа активных ограничений. Вектор, меняющий первую и только первую разность  $(b_2 - b_1)$ , имеет первую компоненту нулевую, а остальные по единице. Для следующей разности имеем вектор с двумя нулевыми первыми компонентами, а остальными – равными единице и т.д. В итоге для таких участков полная базисная матрица – это нижняя треугольная матрица, ненулевые элементы которой равны 1, если разности уклонов принимают максимальные значения, и минус 1, если разности принимают минимальные значения. Легко убедиться, что тогда  $\mathbf{AC} = \mathbf{0}$  и  $\mathbf{AB} = \mathbf{E}$ , где  $\mathbf{A}$  – двухдиагональная матрица активных ограничений,  $\mathbf{E}$  – единичная матрица.

Для решения вопроса о возможности исключения ограничения по разности переменных  $b_{j+1} - b_j$  из активного набора достаточно вычислить средние арифметические компонент антиградиента на соответствующем участке от его начала до  $j$ -ой включительно ( $S_{\text{лев.}}$ ) и от  $j+1$ -ой до конца участка ( $S_{\text{прав.}}$ ). Если разность  $b_{j+1} - b_j$  принимала максимальное значение, то соответствующее ограничение можно исключить при  $S_{\text{прав.}} > S_{\text{лев.}}$ , а если она принимала минимальное значение, то это ограничение исключается при  $S_{\text{прав.}} < S_{\text{лев.}}$ .

Пусть активные ограничения на разность переменных отсутствуют, но одна или несколько смежных переменных  $b_j$  принимают предельные значения. Это участок, на котором все компоненты проекции антиградиента равны нулю (нулевой участок). Число активных ограничений равно числу переменных. Размерность нуль-пространства равна нулю, и базисная матрица  $\mathbf{C}$  отсутствует. Базисная матрица в дополнении задает полный базис. Это единичная матрица  $\mathbf{B} = \mathbf{E}$ . Если же на участке с предельной разностью смежных переменных есть одно активное ограничение на отдельную переменную, то это тоже нулевой участок. Матрица  $\mathbf{C}$  отсутствует, а в качестве матрицы  $\mathbf{B}$  в дополнении можно принять нижнюю треугольную матрицу независимо от того, какая конкретно переменная на данном участке приняла предельное значение. Если таких переменных больше, чем одна, имеем вырожденный случай, и для всех таких переменных, кроме одной, надо увеличить правую часть неравенства на малое число и тем самым исключить вырожденность. Матрицы  $\mathbf{C}$  и  $\mathbf{B}$  независимого построения проекции антиградиента строятся отдельно.

Для промежуточных свободных участков в базисную матрицу  $\mathbf{C}$  включаются векторы из канонического базиса. Построение полной базисной матрицы дает возможность построить направление спуска (приведенный антиградиент) при наличии дополнительных линейных ограничений [11]. В нашем случае речь идет о высотных ограничениях.

Обозначим матрицу дополнительных линейных ограничений через  $\mathbf{A}_1$ , тогда придется решать систему линейных уравнений с матрицей  $\mathbf{A}_1\mathbf{C}(\mathbf{A}_1\mathbf{C})^T$  ( $\mathbf{C}$  – базисная матрица нуль-пространства всех остальных ограничений). Как показано выше, построить ее очень просто. Если же число дополнительных ограничений велико, то такие вычисления на каждой итерации нежелательны.

Рассмотрим общий случай построения базиса в нуль-пространстве матрицы  $\mathbf{A}(m \times n)$ , строки которой предполагаются линейно независимыми. Алгоритм:

1. Берем канонический базис с единичной матрицей  $\mathbf{E}$ , его векторы  $\mathbf{e}_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ).

2. Берем первую строку матрицы  $\mathbf{A}$ , т.е.  $\mathbf{a}_1$ , убираем из базиса  $\mathbf{e}_1$ , а остальные векторы  $\mathbf{e}_k$  ( $k = 2, 3, \dots, n$ ) пересчитываем по формуле:

$$\mathbf{e}_k^! = \mathbf{e}_k - (\mathbf{a}_1^T, \mathbf{e}_k) / (\mathbf{a}_1^T, \mathbf{e}_1) \mathbf{e}_1$$

Все  $\mathbf{e}_k^!$  дают  $(\mathbf{e}_k^!, \mathbf{a}_1^T) = 0$ ; они линейно независимы.

3. Работаем с базисом  $\mathbf{e}_k^!$  ( $k = 2, 3, \dots, n$ ) и второй строкой матрицы  $\mathbf{A}$  по той же схеме: убираем из базиса  $\mathbf{e}_2^!$ , а остальные векторы  $\mathbf{e}_k^!$  ( $k = 3, \dots, n$ ) пересчитываем по формуле:

$$\mathbf{e}_k^{!!} = \mathbf{e}_k^! - (\mathbf{a}_2^T, \mathbf{e}_k^!) / (\mathbf{a}_2^T, \mathbf{e}_2^!) \mathbf{e}_2^!$$

Векторы с двумя штрихами дают  $(\mathbf{e}_k^{!!}, \mathbf{a}_2^T) = 0$ , но как линейная комбинация векторов с одним штрихом они дают  $(\mathbf{e}_k^{!!}, \mathbf{a}_1^T) = 0$ , то есть это базис в нуль-пространстве матрицы, составленной из двух первых строк  $\mathbf{A}$ .

4. Далее аналогично до исчерпания строк матрицы  $\mathbf{A}$  получаем  $(n - m)$  базисных векторов в нуль-пространстве матрицы  $\mathbf{A}$ .

Важно отметить, что процесс построения базисных векторов можно начать после того, как некоторые ограничения уже учтены.

В рассматриваемой задаче целесообразно построить базисную матрицу  $\mathbf{C}$ , как изложено выше, а затем поочередно подключать активные высотные ограничения, преобразуя матрицу  $\mathbf{C}$ . При этом вообще не требуется решения систем линейных уравнений на каждой итерации. Кроме того, в качестве альтернативы реализован способ учета высотных ограничений с помощью штрафных функций.

Выбирая в качестве переменных уклоны в начале каждого элемента, целевую функцию запишем в виде

$$\Phi_r(\mathbf{b}) = \lambda_r K(\mathbf{b}) + S(\mathbf{b}),$$

здесь  $K(\mathbf{b})$  – исходная целевая функция, градиент которой вычисляется пересчетом частных производных по рабочим отметкам в производные по уклонам, т.е. по новым переменным  $b_i$ ;

$S(\mathbf{b})$  – сумма квадратов невязок в высотных ограничениях, включая ограничение по конечной точке;

$\lambda_r$  – последовательность коэффициентов,  $\lim \lambda_r = 0$  ( $r \rightarrow \infty$ ).

Задачу приходится решать при нескольких последовательных значениях  $\lambda_r$ . Расчеты с заданным  $\lambda_r$  прекращаются, как только достигнута требуемая точность решения задачи. Если все высотные ограничения выполнены, счет прекращается. В противном случае  $r$  увеличивается на единицу, и счет продолжается с новым значением  $\lambda_r$ .

Исключительная простота системы ограничений и – по сравнению с проектированием «цепочки» – малая размерность задачи позволяют решать задачу оптимизации проектной линии, составленной из парабол и прямых, за малое время, если не требовать высокой точности выполнения высотных ограничений (точнее 0.01 м). В практике этого обычно достаточно.

Заметим, что при оптимизации не только уклонов, но и длин элементов усложнение алгоритмов не привело к положительным результатам. Это обусловлено тем, что длины элементов в практике принимаются кратными 10 м, а при оптимизации изменения длин

оказываются менее 10 м. Возникает задача с целочисленными переменными (длины элементов) и непрерывными переменными (уклоны), для решения которой нет математически корректных алгоритмов.

Вопрос о целесообразности оптимизации длин элементов параболического сплайна в рассматриваемой проектной задаче остается открытым, но, на наш взгляд, он не имеет первостепенной важности.

### Выводы

В системах автоматического проектирования линейных сооружений, в частности, автодорог, оптимизация продольного профиля в виде параболического сплайна с вычислительной точки зрения не представляет сложностей. Предложенные алгоритмы могут быть рекомендованы для реализации на практике.

### Литература:

1. Использование математических методов оптимизации и ЭВМ при проектировании продольного профиля железных дорог / под ред. Б.К. Малявского. М.: Транспорт, 1977. 169 с. (Труды ВНИИ транспортного строительства. Вып. 101).
2. Скворцов А.В. Трудности перехода от автоматизированного проектирования к информационному моделированию дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2. С. 4–12. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.1.
3. ГОСТ 33100-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог. Дата введения 01.02.2016.
4. Struchenkov V.I. Mathematical models and optimization in line structure routing: survey and advanced results // Int. J. Communications, Network and System Sciences. Special Issue: Models & Algorithms for Applications. 2012. № 5. P. 631–637. DOI: 10.4236/ijcns.2012.529073.
5. Кривых И.В., Мирза Н.С. Обзор зарубежных САПР автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2. С. 68–77. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.11.
6. Bentley Rail Track [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bentley.com/>
7. CARD/1 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.card-1.com/en/home/>
8. Topomatic Robur [Электронный ресурс]. URL: <http://www.topomatic.ru>
9. Михалевич В.С., Шор Н.З. Математические основы решения задачи выбора оптимального очертания продольного профиля // Труды ВНИИ транспортного строительства. 1964. Вып. 51. С. 14–27.
10. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: пер. с англ. М.: Мир, 1985. 509 с.
11. Chapra S.C., Canale R.P. Numerical methods for engineers: 5th Edition. New York: McGraw-Hill, 2006. 926 p.
12. Аоки М. Введение в методы оптимизации: пер. с англ. М.: Наука, 1977. 334 с.
13. Черноруцкий И.В. Методы оптимизации. Компьютерные технологии. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 384 с.
14. Струченков В.И. Прикладные задачи оптимизации. М.: Солон-Пресс, 2016. 314 с.

### References:

1. The use of mathematical optimization methods and a computer in the design of the longitudinal profile of railways / Ed. by B.K. Malyavsky. Moscow: Transport Publ., 1977. 169 p. (Proceedings of the All-Union Research Institute of Transport Construction. Iss. 101). (in Russ.)
2. Skvortsov A.V. Difficulties of transition from computer-aided design to information modeling of roads // SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog (CAD and GIS of highways). 2015. № 2. P. 4–12. (in Russ.). DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.1.
3. GOST 33100-2014 Road motor vehicles of general use. Rules for the design of highways. Date of introduction 01 February, 2016. (in Russ.)
4. Struchenkov V.I. Mathematical models and optimization in line structure routing: survey and advanced results // Int. J. Communications, Network and System Sciences. Special Issue: Models & Algorithms for Applications. 2012. № 5. P. 631–637. DOI: 10.4236/ijcns.2012.529073.
5. Krivykh I.V., Mirza N.S. Review of foreign CAD systems for highways // SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog (CAD and GIS of highways). 2015. № 2. P. 68–77. (in Russ.). DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.11.
6. Bentley Rail Track [Electronic resource]. URL: <http://www.bentley.com/>
7. CARD/1 [Electronic resource]. URL: <http://www.card-1.com/en/home/>
8. Topomatic Robur [Electronic resource]. URL: <http://www.topomatic.ru>
9. Mikhalevich V.S., Shor N.Z. Mathematical foundations for solving the problem of choosing the optimal outline of the longitudinal profile // Proceedings of the All-Union Research Institute of Transport Construction. 1964. Iss. 51. P. 14–27. (in Russ.)
10. Gill F., Murray W., Wright M. Practical optimization. London & New York: Academic Press, 1981. 419 p.
11. Chapra S.C., Canale R.P. Numerical methods for engineers: 5th Edition. New York: McGraw-Hill, 2006. 926 p.
12. Aoki M. Introduction to optimization techniques. Los Angeles: University of California, 1971. 335 p.
13. Chernorutsky I.V. Methods of optimization. Computer technologies. Saint-Petersburg: BHV-Peterburg Publ., 2011. 384 p. (in Russ.)
14. Struchenkov V.I. Applied optimization problems. Moscow: Solon-Press Publ., 2016. 314 p. (in Russ.)

#### *Об авторе:*

*Струченков Валерий Иванович*, доктор технических наук, профессор кафедры общей информатики Института кибернетики ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (Россия, 119454, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

#### *About the author:*

*Valery I. Struchenkov*, D.Sc. (Engineering), Professor of the Chair of General Informatics, Institute of Cybernetics, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia).

УДК 331.45

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА  
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ СУБСТАНЦИИ  
ГИДРОКСИЭТИЛКРАХМАЛА В МАЛЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
МАСШТАБАХ

А.Д. Аскретков<sup>@</sup>,  
А.Г. Коряков

*Московский технологический университет, Москва 119454, Россия*  
*@Автор для переписки, e-mail: askretkov.a.d@gmail.com*

В статье рассматриваются экономические аспекты технологии производства лекарственной субстанции гидроксиэтилкрахмала (ГЭК) 130/0,4 в малом промышленном объеме. Данное вещество применяется в качестве плазмозамещающего препарата и имеет ряд преимуществ перед другими аналогами – инфузионными растворами, содержащими желатин, декстран, альбумин, плазму крови и т.д. Это дешевизна, гарантированное отсутствие вирусов, низкое число побочных реакций и осложнений. Общий объем рынка инфузионных растворов на основе ГЭК в 2016 году оценивался в 157 млн. рублей. Он представляется перспективным и в дальнейшем. Разработка технологии производства данного соединения является актуальной ввиду наличия на рынке России только импортной субстанции ГЭК и, как правило, готовых инфузионных растворов зарубежных производителей. В работе рассчитаны основные затраты на организацию производства гидроксиэтилкрахмала в малом промышленном объеме (500 кг в год). Указаны предполагаемые источники финансирования данного проекта – грант «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» и средства частных инвесторов, заинтересованных в его реализации. Проект генерирует положительный чистый дисконтированный доход в размере 644.47 тыс. руб., а срок окупаемости привлекаемых инвестиций составит не многим более одного года. Данный проект, помимо коммерчески эффективных результатов, позволит отработать технологию производства субстанции для ее тиражирования, что существенно облегчит создание полномасштабного фармацевтического предприятия.

**Ключевые слова:** фармацевтика, лекарственные средства, субстанция, гидроксиэтилкрахмал, инфузионные растворы, экономические аспекты, импортозамещение, инвестиции.

## THE SOME ECONOMIC ASPECTS OF PRODUCTION OF PHARMACEUTICAL SUBSTANCE HYDROXYETHYL STARCH IN SMALL INDUSTRIAL SCALE

A.D. Askretkov<sup>@</sup>,  
A.G. Koryakov

*Moscow Technological University, Moscow 119454, Russia*  
*@Corresponding author e-mail: askretkov.a.d@gmail.com*

This article describes economic aspects of the technology of drug substance hydroxyethyl starch (HES) 130/0.4 production in small industrial scale. This substance is used as plasma substitute and has several advantages over other analogs (infusion solutions based on gelatin, dextran, albumin, blood plasma etc.) such as low cost, guaranteed lack of viruses, a small number of adverse effects and health complications. Developing the technology for producing this substance is of current interest, because only foreign HES and infusion solutions from foreign manufacturers are present in the Russian market today. As of 2016, the total market volume of HES-based infusion solutions was about 157 million rubles. So, its production is quite promising. The authors of this article calculated the cost of organizing this substance production in small scale (500 kg per year). The cost of equipment, reagents and organizational procedures for the first and subsequent years was calculated. As expected, the source of funding is a grant of the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises, as well as private investors interested in implementing this project. The project generates a net present value of 644470 rubles, and the investments pay-back period will be a little more than one year. In addition to repayment of resources, the project will allow developing a technology for larger scales. This will enable facilitating the organization of industrial scale pharmaceutical manufacturing.

**Keywords:** drugs, drug substance, pharmacy, hydroxyethyl starch, infusion solutions, import substitution, economical aspects.

### Введение

В настоящее время 70% стоимостного объема российского рынка лекарственных средств (ЛС) (или около 940 млрд. руб.<sup>1</sup>) занимают лекарственные препараты, произведенные зарубежными компаниями. При этом значительная часть лекарственных препаратов, производимых в России отечественными производителями, выпускается на основе иностранных субстанций [1–3]. Одновременно существует огромное количество импортных дженериков, для организации производства которых в России имеются достаточные предпосылки. Решение проблемы развития отечественной фармации и постепенного отказа от импортных препаратов сейчас как никогда актуально. Дороговизна импортных лекарственных препаратов, с одной стороны, и отсутствие действенных их отечественных субститутов, с другой – ставят и гражданина, и государство перед нелегким выбором.

Представляется, что к решению данной проблемы можно подойти двумя путями: первый – это организация на территории России производства дженериков наиболее востребованных фармпрепаратов (заметим, что по такому пути сейчас следуют многие отечественные компании [4]);

---

<sup>1</sup>Данные 2016 г.

второй – разработка собственных инновационных лекарственных препаратов, что является гораздо более трудной задачей, требует наличия серьезной медицинской научной базы, масштабных инвестиционных ресурсов, большую часть которых составляют «длинные» деньги, развитой и эффективной системы оценки рисков, а также государственной системы поддержки предприятий-разработчиков [5–10].

Следует заметить, что с учетом текущей макроэкономической и геополитической обстановки надеяться на сколь-нибудь значимые успехи в этом направлении в ближайшем будущем объективно не приходится. Отсюда можно заключить, что любые положительные примеры движения отечественного бизнеса, научных коллективов, поддержанные органами государственного регулирования, имеют важное значение [11, 12].

Известно, что одним из наиболее крупных проектов, направленных на развитие отечественной фармацевтики, является «Стратегия развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2020 года»<sup>2</sup>. Данная стратегия направлена на развитие собственного фармацевтического производства, способного выдерживать конкуренцию с иностранными предприятиями, на разработку собственных дженериков и инновационных лекарственных средств, повышение конкурентоспособности отечественного фармпроизводителя за счет ограничения закупок государственными учреждениями импортных препаратов<sup>3</sup>. Таким образом, на данный момент стала актуальной разработка импортозамещающих технологий производства лекарственных препаратов и субстанций, ввозимых из-за рубежа. Эти технологии должны быть экономически приемлемыми в текущих макроэкономических условиях, а также обеспечивать производство надлежащего по качеству продукта.

К чрезвычайно важным медикаментам, способным спасти жизнь человека, потерявшего много крови при авариях, ранениях, катастрофах, операционных вмешательствах, относятся инфузионные ЛС, субстанции которых преимущественно импортируются [13]. Принципиально необходимо иметь внутри страны весь цикл их производства.

Кровезаменители противошокового действия подразделяются – в зависимости от их химической природы и происхождения – на два типа: полученные из естественных источников (альбумин, плазма крови) и искусственные (желатин, декстраны, гидроксипроцеллюлоза, крахмал). При этом инфузионные растворы естественного происхождения (кровь, плазма, форменные элементы крови) имеют значительные недостатки и проигрывают своим искусственным аналогам [14]. Среди искусственных аналогов наиболее эффективным считается гидроксипроцеллюлоза (ГЭК): он обладает более длительным и выраженным гемостатическим действием [15, 16], по сравнению с желатином в меньшей степени влияет на систему свертывания крови и систему иммунитета [13], в сравнении с декстраном имеет меньшую частоту побочных эффектов и аллергических реакций [14, 17], по сравнению с эмульсионными препаратами перфторуглеродов – гораздо меньшую стоимость и более высокую устойчивость. При шоковых состояниях наиболее эффективным из ГЭК является среднемлекулярный ГЭК 130/0,4 [18].

<sup>2</sup>Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 23 октября 2009 г. № 965 «Об утверждении стратегии развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2020 года». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/4089282/?prime> (Дата обращения 01.11.2017).

<sup>3</sup>Распоряжение Правительства РФ от 27 января 2015 г. № 98-р «О плане первоочередных мероприятий по обеспечению устойчивого развития экономики и социальной стабильности в 2015 г» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.base.garant.ru/70852914/> (Дата обращения 01.11.2017).

Производство инфузионных растворов на основе ГЭК 130/0,4 в РФ сегодня осуществляется только из импортной субстанции, либо ввозится уже готовая к применению продукция. Перечень поставщиков готовой лекарственной формы и поставщиков субстанции дан в табл. 1

**Таблица 1.** Перечень производителей готовой лекарственной формы ГЭК 130/0,4 и поставщиков субстанции<sup>4</sup>

Торговое наименование	Производитель готовой лекарственной формы	Производитель субстанции	Страна производителя субстанции
Гидроксиэтилкрахмал 130/0,4	ООО «Ист-фарм»	Chifengaddisun pharmaceutical co. ltd.	Китай
ИОНОХЕС	ООО «Ист-фарм» ООО «Фармасинтез Тюмень»	Chifengaddisun pharmaceutical co. ltd.	Китай
Воловен	Фрезениус Каби Дойчланд ГмбХ	Fresenius Kabi AG	Германия
Венофундин	ООО «Гематек»	B. Braun Melsungen AG	Германия
РеоХЕС 130	ОАО «ЮГрафарм»	Serumwerk Bernburg AG	Германия

Значительная часть ГЭК потребляется российскими медицинскими учреждениями и на службах скорой помощи.

По данным тендерных закупок госучреждений<sup>5</sup>, рынок ГЭК за 2015 год составил 52 млн. руб. (или 3.5 тонны вещества), а за 2016 год – около 157 млн. руб. (или почти 11 тонн)<sup>6</sup>.

Отсюда становится очевидной перспективность рассмотрения вопроса об организации предприятия по производству ГЭК. Для тестирования рынка и технологии на первом этапе вполне резонным выглядит организация такого производства в малом масштабе.

### **Технология и экономика производства**

Наработки российских ученых, касающиеся синтеза субстанции, позволяют осуществить производство продукта, по качеству не отличающемуся от зарубежных аналогов [19]. На их основе был спроектирован способ получения субстанции ГЭК со среднечисловой молекулярной массой 130 кДа и степенью замещения 0.4.

Химически процесс производства ГЭК делится на две стадии: на первой осуществляется кислотный гидролиз амилопектина крахмала; на второй – происходит гидроксиэтирование крахмала при помощи 2-хлорэтанола в сильнощелочной среде (рис. 1).

Технологический процесс будет состоять из нескольких стадий (схема на рис. 2).

В табл. 2 приведен перечень необходимого оборудования для аппаратурного оформления производства субстанции ГЭК в малом промышленном масштабе.

<sup>4</sup>Государственный реестр лекарственных средств [Электронный ресурс]. URL: <http://www.grls.rosminzdrav.ru/Default.aspx> (Дата обращения 01.11.2017).

<sup>5</sup>Официальный сайт единой информационной системы в сфере закупок. URL: <http://www.zakupki.gov.ru> (Дата обращения 01.11.2017).

<sup>6</sup>В указанные выше суммы не входят закупки, которые осуществлялись не по тендерной схеме или негосударственными компаниями, следовательно, можно предположить, что общий рынок ГЭК имеет еще больший объем.

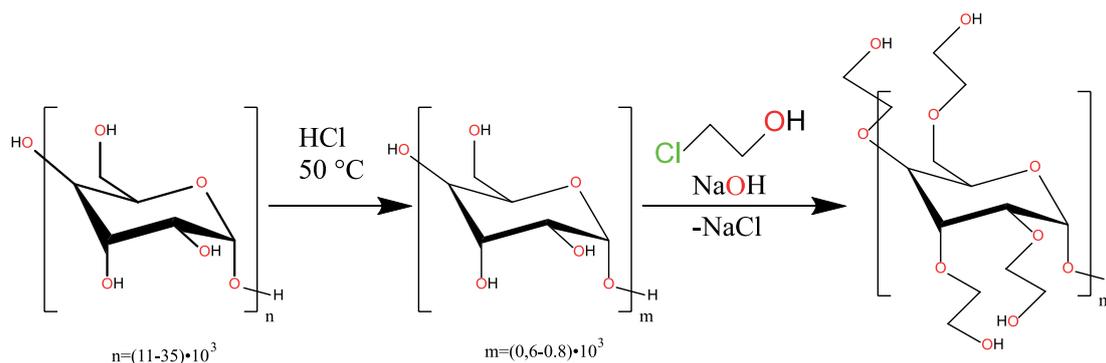


Рис. 1. Химическая схема получения ГЭК.

Таблица 2. Перечень оборудования для производства субстанции ГЭК в малом масштабе

№ п/п	Наименование оборудования	Количество, шт.	Стоимость, тыс. руб.	Итого, тыс. руб.
1	Колба круглодонная трехгорлая объемом 10 л	2	4.15	8.30
2	Колбонагреватель мощностью 1.2 кВт	1	12.13	12.13
3	Мешалка верхнеприводная	2	31.00	62.00
4	Колба для фильтрования объемом 20 л	1	4.40	4.40
5	Воронка фильтровальная объемом 8 л	1	8.10	8.10
6	Реактор объемом 50 л	1	500.00	400.00
7	Вакуумный насос	1	8.00	8.00
8	Установка для ультрафильтрации	1	400.00	400.00
9	Распылительная сушилка	1	400.00	400.00
10	Прочее*		200.00	200.00
			ИТОГО:	1502.93

\*Вспомогательное оборудование: весы, дозирующие устройства, емкости для приготовления растворов, валы мешалок, термопары и т.д.<sup>7</sup>

Выбранное оборудование имеет сравнительно долгий срок эксплуатации, а также минимальные амортизационные отчисления.

Сырье для производства ГЭК, как и многие реактивы, планируется использовать отечественного производства. В табл. 3 приведены стоимость используемого сырья и реактивов, а также спецификации к ним.

Таблица 3. Расчет стоимости сырья и материалов для производства 1 кг ГЭК<sup>8</sup>

№ п/п	Наименование оборудования	Требования к реактивам и материалам	Единица измерения	Цена за ед., руб.	Расходная норма на 1 кг продукта	Сумма, руб.
1	Крахмал картофельный	ГОСТ 7697-82	кг	32.0	1.536	49.152
2	Кислота соляная	х.ч., ГОСТ 3118-77	л	50.7	0.92	46.644
3	Натрия гидроксид	ч.д.а., ГОСТ 4328-77	кг	91.0	0.73	66.43
4	2-Хлорэтанол	х.ч., ТУ 2632-122-44493179-08	кг	680.0	0.64	435.2
5	Дистиллированная вода	ГОСТ 6709-72	л	0.12	40.00	4.8
					ИТОГО:	602.226

<sup>7</sup>Рассчитано авторами на основании цен поставщиков оборудования.

<sup>8</sup>Информация взята из коммерческих предложений крупнорозничных поставщиков реактивов.

Как видно из табл. 3, затраты на производство 1 кг ГЭК по материалам составляют 602.23 руб. Следует отметить, что цены материалов выбирались на основе предложений розничных поставщиков, поэтому в случае оптовых закупок стоимость реактивов для производства 1 кг ГЭК будет ниже. За один день на выбранном оборудовании можно получить до 2 кг субстанции ГЭК, и, следовательно, за 1 рабочую неделю – произвести 10 кг субстанции.

Годовой объем производства планируется на уровне 500 кг. Затраты на организацию производства отечественной субстанции ГЭК в течение первого года приведены в табл. 4.

**Таблица 4.** Потребность в инвестиционных ресурсах на организацию производства субстанции ГЭК 130/0,4

Пункт затрат	Единица измерения	Сумма за ед., тыс. руб.	Кол-во, ед.	Сумма, тыс. руб.
Затраты на оборудование	Комплект оборудования, (см. табл. 2)	1502.93	1	1502.93
Запас оборотных средств на один производственный цикл (1 месяц)	1 кг субстанции	0.602	42	25.284
Монтажные и пуско-наладочные работы	-	-	-	80
Расходы на регистрацию юридического лица и лицензирование	-	-	-	25
			ИТОГО:	1633.2

Для последующих лет смета расходов не будет включать затраты на закупку оборудования, монтажные и пуско-наладочные работы, регистрацию юридического лица. Снизятся также затраты на транспортные расходы (до 40 тыс. руб.), однако появятся затраты на амортизацию оборудования (20 тыс. руб. в год). При этом текущие расходы на производство и реализацию ЛС составят 3660 руб./кг.

По нашему мнению, данное предприятие могло бы быть организовано как малое инновационное предприятие на базе ВУЗа<sup>9</sup>. Таким образом, по предварительным оценкам, необходимы инвестиции в размере 1633.2 тыс. руб. Капиталовложения будут осуществляться посредством государственных инвестиций, выделяемых ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере»<sup>10, 11</sup>, и за счет средств частных инвесторов. Получение гранта и его распределение будет состоять из следующих этапов<sup>11</sup>:

- 1) подача необходимой документации;
- 2) заключение договора (при условии одобрения заявки);
- 3) закупка необходимого оборудования и материалов на средства, предоставленные фондом (50% от общей суммы гранта);

<sup>9</sup>Федеральный закон от 02.08.2009 № 217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» (ред. от 29.12.2012). [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_90201/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90201/) (Дата обращения 08.11.2017).

<sup>10</sup>Федеральный закон от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» (ред. от 26.07.2017). [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_52144/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144/) (Дата обращения 08.11.2017).

<sup>11</sup>Положение о программе «Коммерциализация» ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fasie.ru/programs/programma-kommertsializatsiya/#documentu/> (Дата обращения 08.11.2017).

- 4) наработка первых трех серий продукции на созданном производстве и подтверждение их соответствия стандартам качества;
- 5) отчет о выполнении первого этапа и отчет об использовании 50% внебюджетных средств;
- 6) закупка необходимых материалов на средства, предоставленные фондом (25% от общей суммы гранта);
- 7) отработка технологии производства;
- 8) отчет о выполнении второго этапа и отчет об использовании 50% внебюджетных средств;
- 9) закупка материалов на средства, предоставленные фондом (25% от общей суммы гранта), промышленное производство.

Прибыль, получаемую за счет реализации продукта на рынке, мы рассчитывали на основе средней закупочной цены по текущим госконтрактам. Средняя цена субстанции ГЭК составляет на сегодняшний день 6240.00 руб. за 1 кг (см. сноску 5), следовательно, при годовом производстве и реализации по цене 6200 руб. за 1 кг, сумма выручки оценивается нами в 3100 тыс. рублей. В табл. 5 приведен расчет денежного потока проекта по годам<sup>12</sup>.

**Таблица 5.** Денежный поток проекта по производству субстанции ГЭК

Показатель	Год				
	2018	2019	2020	2021	2022
Притоки, тыс. руб.	3100	3100	3100	3100	3100
Оттоки, тыс. руб.	3463.2	1830	1830	1830	1830
ИТОГО, тыс. руб.	-363.2	1270	1270	1270	1270

Контроль успешности реализации данного проекта будет проводиться проектной командой по следующим показателям:

- чистый дисконтированный доход (NPV);
- внутренняя норма доходности (IRR);
- индекс рентабельности (PI);
- срок окупаемости.

Чистый дисконтированный доход (NPV) проекта на конец 2019 года при ставке дисконтирования 15% будет составлять 644.47 тыс. руб. Все инвестиции окупятся за срок немногим более одного года.

### Выводы

На основании проведенных технико-экономических расчетов и с учетом анализа макроэкономической ситуации в стране представляется целесообразной организация мало-масштабного производства фармацевтической субстанции гидроксиэтилкрахмала со среднечисловой молекулярной массой 130000 Да и степенью замещения 0.4. При этом такое предприятие может быть зарегистрировано в качестве малого инновационного предприятия ВУЗа. Показано, что организация данного производства экономически целесообразна.

<sup>12</sup>Рассчитано авторами.

Чистый дисконтированный доход проекта на конец второго года его реализации составит 644.47 тыс. руб., а срок окупаемости инвестиций проекта – немногим более одного года.

Кроме этого, на малом, по сути, лабораторном, производстве будут оптимизированы параметры технологии данной субстанции в целом, что является необходимым условием для масштабирования процесса и организации в нашей стране высокоэффективного крупномасштабного производства, потребность в котором была выявлена авторами.

Производство отечественной субстанции гидроксиэтилкрахмала позволит со временем осуществить полное импортозамещение такого рода препаратов и обеспечить российский рынок собственной продукцией, что сделает его более устойчивым и прогнозируемым.

### **Литература:**

1. Фармацевтический рынок России 2016 : экономический аналитический отчет DSM Group за 2016 год [Электронный ресурс]. URL: [http://www.dsm.ru/docs/analytics/Annual\\_Report\\_2016\\_rus.pdf](http://www.dsm.ru/docs/analytics/Annual_Report_2016_rus.pdf) (Дата обращения 01.11.2017).
2. Романова С. Фармацевтические субстанции: предпосылки и перспективы развития производства // Ремедиум. 2015. С. 8–14.
3. Василенко И.А., Толмачев С.А. Перспективы создания производства фармацевтических субстанций в России // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2015. № 10. С. 190–196.
4. Щулькин А.В., Попова Н.М., Черных И.В. Оригинальные и воспроизведенные лекарственные препараты: современное состояние проблемы // Наука молодых – Eruditio juvenum. 2016. № 2. С. 30–35.
5. Kedik S.A., Panov A.V., Eremin D.V., Suslov V.V., Sakaeva I.V., Kochkina Yu.V. Synthesis and molecular-weight characteristics of N-vinylpyrrolidone and 2-methyl-5-vinylpyridine copolymers // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2012. V. 46. № 8. P. 478–481.
6. Авруцкая С.Г., Воробьева Т.Ю. Развитие фармацевтической промышленности в Российской Федерации: реализация стратегии «Фарма–2020» // Успехи в химии и хим. технологии. 2013. Т. 27. № 8. С. 23–28.
7. Mikhailov V.G., Koryakov A.G., Mikhailov G.S. Ecological risk management in coal mining and processing // J. Mining Sci. 2015. V. 51. № 5. P. 930–936.
8. Shinkevich A.I., Lubnina A.A., Koryakov A.G., Mikhailov V.G., Vodolazhskaya E.L. Economic aspects of risk management of stakeholders activities // Int. Rev. Management and Marketing. 2016. V. 6. № 2. P. 328–332.
9. Коряков А.Г. Этапы реализации и содержание программы государственной поддержки устойчивого развития предприятий // Бизнес в законе. Экономико-юридический журнал. 2012. № 4. С. 115–117.
10. Коряков А.Г. Механизм оценки потенциала устойчивого развития предприятий химической отрасли: структура и этапы реализации // Статистика и экономика. 2012. № 5. С. 70–73.
11. Коряков А.Г. Научные подходы к формированию системы предпосылок для устойчивого развития отраслей отечественной промышленности // Транспортное дело России. 2012. Т. 100. № 3. С. 121–124.
12. Коряков А.Г. Социо-эколого-экономические компоненты формирования принципов устойчивого развития предприятия // Микроэкономика. 2012. № 2. С. 88–92.
13. Бутров А.В., Борисов А.Ю., Галенко С.В. Растворы гидроксиэтилкрахмала в инфузион-

ной терапии острой кровопотери // Русский медицинский журнал. 2006. № 28. С. 2019–2023.

14. Егоров Е.О., Пейчева Е.И., Ли А.В., Купершмидт В.Р., Налапко Ю.И. Гидроксиэтилкрахмалы различных поколений: от химии к клинике // Украинский журнал экстренной медицины имени Г.О. Можяева. 2012. Т. 13. № 1. С. 11–14.

15. Raiman M., Mitchell C.G., Biccard B.M., Rodseth R.N. Comparison of hydroxyethyl starch colloids with crystalloids for surgical patients: A systematic review and meta-analysis // Eur. J. Anaesthesiol. 2016. V. 33. № 1. P. 42–48.

16. Jungheinrich C. The starch family: are they all equal? Pharmacokinetics and pharmacodynamics of hydroxyethyl starches // Transfus. Alternat. in Transfus. Med. 2007. V. 9. P. 152–163.

17. Mutter T.C., Ruth C.A., Dart A.B. Hydroxyethyl starch (HES) versus other fluid therapies: effects on kidney function // Cochrane Database of Systematic Reviews. 2013. № 7. Art. № CD007594. doi: 10.1002/14651858.CD007594.pub3.

18. Standl T., Burmeister M.A., Schroeder F., Currlin E., Schulte Esch J., Freitag M., Schulte Esch J. Hydroxyethyl Starch (HES) 130/0.4 Provides Larger and Faster Increases in Tissue Oxygen Tension in Comparison with Prehemodilution Values than HES 70/0.5 or HES 200/0.5 in Volunteers Undergoing Acute Normovolemic Hemodilution // Anesthesia & Analgesia. 2003. V. 96. № 4. P. 936–943.

19. Панов А.В., Коротяев Г.К., Кирьянов Н.А., Долотов С.М., Гринева Л.П., Котова Ю.А. Фармацевтическая субстанция, способ ее получения и лекарственное средство: пат. 2451691 Рос. Федерация. № 2010124420/05; заявл. 17.06.2010; опубл. 27.05.2012. Бюл. № 15.

### References:

1. Pharmaceutical market in Russia 2016 [Electronic resource]. URL: [http://www.dsm.ru/docs/analytics/Annual\\_Report\\_2016\\_rus.pdf](http://www.dsm.ru/docs/analytics/Annual_Report_2016_rus.pdf). (Date accessed 01.11.2017). (in Russ.)

2. Romanova S. Pharmaceutical substances: Prerequisites and prospects for production development // Remedium. 2015. P. 8–14. (in Russ.)

3. Vasilenko I.A., Tolmachev S.A. Prospects of creating of the pharmaceutical ingredients production in Russia // Razrabotka i registratsiy lekarstvennih sredstv (Drug Development and Registration). 2015. № 10. P. 190–196. (in Russ.)

4. Shulkin A.V., Popova N.M., Chernykh I.V. The original and generic drugs: Current state of the problem // Nauka Molodykh – Eruditio juvenium. 2016. № 2. P. 30–35. (in Russ.)

5. Kedik S.A., Panov A.V., Eremin D.V., Suslov V.V., Sakaeva I.V., Kochkina Yu.V. Synthesis and molecular-weight characteristics of N-vinylpyrrolidone and 2-methyl-5-vinylpyridine copolymers // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2012. V. 46. № 8. P. 478–481.

6. Avrutskaya S.G., Vorobyova T.Yu. Development of Russian pharmaceutical industry: Realization of Pharma-2020 strategy // Uspehi v khimii i himicheskoi tehnologii (Advances in Chemistry and Chemical Technology). 2013. V. 27. № 8. P. 23–28. (in Russ.)

7. Mikhailov V.G., Koryakov A.G., Mikhailov G.S. Ecological risk management in coal mining and processing // J. Mining Sci. 2015. V. 51. № 5. P. 930–936.

8. Shinkevich A.I., Lubnina A.A., Koryakov A.G., Mikhailov V.G., Vodolazhskaya E.L. Economic aspects of risk management of stakeholders activities // Int. Rev. Management and Marketing. 2016. V. 6. № 2. P. 328–332.

9. Koryakov A.G. The stages and content of the program of states support for enterprises

sustainable development // *Biznes v zakone. Ekonomiko-uridicheskii zhurnal* (Business in law). 2012. № 4. P. 115–117. (in Russ.)

10. Koryakov A.G. Mechanism of potential assessment of sustainable development of enterprises of chemical industry: structure and implementation phases // *Statistika i ekonomika* (Statistics and Economics). 2012. № 5. P. 70–73. (in Russ.)

11. Koryakov A.G. The science approaches for performing of prepositions of sustainable development for russian manufactories' branches of economy // *Transportnoe delo Rossii* (Transport Business in Russia). 2012. V. 100. № 3. P. 121–124. (in Russ.)

12. Koryakov A.G. The social, ecological and economic components of forming sustainable development principles for enterprises // *Mikroekonomika* (Microeconomics). 2012. № 2. P. 88–92. (in Russ.)

13. Butrov A.V., Borisov A.Yu., Galenko S.V. Hydroxyethyl starch solutions in infusion therapy of acute blood loss // *Russian Medical Journal*. 2006. № 28. P. 2019–2023. (in Russ.)

14. Egorov O.O., Peycheva O.I., Li A.V., Kupersmidt V.R., Nalapko Yu.I. Hydroxyethyl starches of different generations: from chemistry to clinic // *Ukrainian Journal of Extremal Medicine* by G.O. Mozhaev. 2012. V.13. № 1. P. 11–14. (in Russ.)

15. Raiman M., Mitchell C.G., Biccard B.M., Rodseth R.N. Comparison of hydroxyethyl starch colloids with crystalloids for surgical patients: A systematic review and meta-analysis // *Eur. J. Anaesthesiology*. 2016. V. 33. № 1. P. 42–48.

16. Jungheinrich C. The starch family: are they all equal? Pharmacokinetics and pharmacodynamics of hydroxyethyl starches // *Transfus. Alternat. in Transfus. Med.* 2007. V. 9. P. 152–163.

17. Mutter T.C., Ruth C.A., Dart A.B. Hydroxyethyl starch (HES) versus other fluid therapies: effects on kidney function // *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2013. № 7. Art. No. CD007594.

18. Standl T., Burmeister M.A., Schroeder F., Currellin E., Schulte Esch J., Freitag M., Schulte Esch J. Hydroxyethyl Starch (HES) 130/0.4 Provides Larger and Faster Increases in Tissue Oxygen Tension in Comparison with Prehemodilution Values than HES 70/0.5 or HES 200/0.5 in Volunteers Undergoing Acute Normovolemic Hemodilution // *Anesthesia & Analgesia*. 2003. V. 96. № 4. P. 936–943.

19. Panov A.V., Korotaev G.K., Kyryanov N.A., Dolotov S.M., Grineva L.P., Kotova Y.A. Pharmaceutical substance, its production method and medication : patent 2451691 Russian Federation. 2010124420/05; filed 17.06.2010; publ. 27.05.2012. Bull. № 15. (in Russ.).

**Об авторах:**

**Аскретков Александр Дмитриевич**, магистрант 2 года обучения кафедры биотехнологии и промышленной фармации Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (МИРЭА) (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86).

**Коряков Алексей Георгиевич**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры бизнес-технологий и управления Института инновационных технологий и государственного управления ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (МИРЭА) (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**About the authors:**

**Alexander D. Askretkov**, Graduate Student of the Chair of Biotechnology and Industry Pharmacy, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, Moscow Technological University (86, Vernadskogo Pr., Moscow, 119571, Russia).

**Alexey G. Koryakov**, Dr.Sc. (Economy), Professor of the Chair of Business Technology and Management, Institute of Innovative Technologies and Public Administration, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia).

УДК 339.138; 658.8

## ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ МАРКЕТИНГОВЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ФИРМЫ

**О.В. Краснянская,  
И.А. Мандыч<sup>@</sup>**

*Московский технологический университет, Москва 119454, Россия*  
*<sup>@</sup>Автор для переписки, e-mail: mandych@mirea.ru*

Проблема управления развитием фирмы становится сегодня все более актуальной, в первую очередь, вследствие усложнения процессов, протекающих на рынке, и роста конкуренции. Одним из путей решения данной проблемы может стать стратегическое управление на основе использования маркетингового потенциала фирмы. Маркетинговый потенциал – это неотъемлемая часть общего потенциала, способная оказать существенное влияние на прибыль фирмы. Знание маркетингового потенциала позволяет фирме наиболее эффективно распределять свои ресурсы для получения наилучших результатов. В статье рассмотрены основные подходы современных авторов к трактовке понятия «маркетинговый потенциал»: ресурсный, результативный и целевой, сформулировано его авторское определение. Представлена структура маркетингового потенциала, состоящая из пяти ключевых подсистем, а именно: резервов, ресурсов, способностей, возможностей, управления. Показан поэтапный процесс управления маркетинговым потенциалом. Выполнен анализ актуальных подходов к оценке маркетингового потенциала фирмы (результативный, диагностический, комплексный), позволивший выявить основные критерии его оценки, такие, как ценовая политика, реальная доля рынка фирмы, наличие и уровень исследований, исследование рекламы, методы продвижения и стимулирования, информация о конкурентах, исследование будущих нужд и запросов потребителей. Перечисленные критерии использованы для выявления на основе метода экспертных оценок маркетингового потенциала четырех известных компаний.

**Ключевые слова:** маркетинг, маркетинговый потенциал, оценка маркетингового потенциала, управление маркетинговым потенциалом.

## MANAGEMENT OF MARKETING POTENTIAL OF THE COMPANY

**O.V. Krasnyanskaya,  
I.A. Mandych<sup>@</sup>**

*Moscow Technological University, Moscow 119454, Russia*  
*<sup>@</sup>Corresponding author e-mail: mandych@mirea.ru*

This article considers the ability of managing the development of a company based on its marketing potential. Today, the problem of managing the development of the company becomes more and more important due to the complication of the processes in the market, due to the growth of the competition. Therefore, new decisions are necessary. Strategic management based on the marketing potential is one of these decisions. Marketing potential is an integral part of the common potential of the company. It can influence the company's income. Besides, using the marketing instruments in the market competition conditions is also an integral part of success of any company. Knowing the company's marketing potential lets it to manage resources effectively for achieving the best results. Moreover, the article considers the main approaches by modern authors to the notion of "marketing potential": resource, resulting and targeted approaches. The main interpretations of this notion are represented, and the author's definition is formed. Furthermore, the structure of marketing potential is presented. It consists of 5 key subsystems: reserves, resources, ability, opportunity, management. A step-by-step process of managing them is shown. The authors made the analysis of actual approaches of estimating the marketing potential of the company (resulting, diagnostic, complex). As a result the main criteria of its evaluation were found. They are the price policy, actual market share of the company, availability and level of research, ads research, methods of promotion and stimulation, information about the competitors, studies of future needs and customer wishes. These criteria were used for estimating the marketing potential of 4 famous companies on the basis of the method of expert estimation.

**Keywords:** marketing, marketing potential, estimation of marketing potential, management of marketing potential.

**В** настоящее время проблема управления на предприятии, а, следовательно, необходимость в разработке новых методов ее решения становится все более актуальной. Она обусловлена усложнением процессов на рынке, ростом конкуренции, перманентными изменениями в окружающей среде, достижениями науки и техники, а также развитием информационных сетей. Совокупность указанных факторов приводит к возрастанию роли маркетингового потенциала организации в стратегии ее управления.

К числу первостепенных задач, стоящих перед каждым предприятием, относится достижение стратегического успеха и удержание конкурентных позиций. В нынешних условиях динамики рынка маркетинговый потенциал выступает в качестве одного из важнейших инструментов возможного экономического развития фирмы, непосредственно влияющий на эффективность ее деятельности. Только всестороннее развитие каждого направления в деятельности организации приведет к успеху, а так как маркетинговый потенциал входит в состав общего потенциала фирмы, его нельзя недооценивать (рис. 1). Для достижения наилучших экономических результатов очень важно знать и целиком использовать маркетинговый потенциал фирмы, более того, следует проводить регулярную оценку маркетингового потенциала, чтобы наглядно представить результаты уже проведенных маркетинговых мероприятий и на основе анализа их эффективности вносить коррективы в будущую стратегию.

Эффективному управлению маркетинговым потенциалом препятствует недостаточная изученность этого понятия. На данный момент в научной литературе выделяют три основных подхода к определению понятия «маркетинговый потенциал»: ресурсный, результативный и целевой (табл. 1) [1].

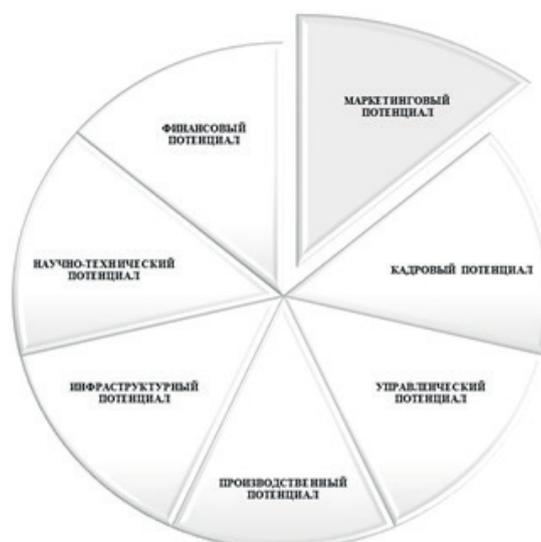


Рис. 1. Основные составляющие потенциала фирмы.

Таблица 1. Основные подходы к трактовке понятия «маркетинговый потенциал»

Название подхода и его краткая сущность	Трактовка понятия «маркетинговый потенциал»	Авторы
<b>Ресурсный подход</b> ориентирован на определение маркетингового потенциала как совокупности ресурсов и связей между этими ресурсами, благодаря которым фирма конкурентоспособна на рынке.	Маркетинговый потенциал – это совокупность средств и возможностей предприятия в реализации рыночной деятельности.	Попов Е.В., Толстых Д.В., Ковтуненко Н.М. [2, 3]
<b>Результативный подход</b> подразумевает определение маркетингового потенциала как возможности достижения определенного результата посредством использования имеющихся в распоряжении маркетингового отдела ресурсов.	Маркетинговый потенциал – мера готовности, способности, возможности предприятия и его маркетинговой службы своевременно и качественно исполнять маркетинговые функции, решать намеченные задачи; степень соответствия данного состояния маркетинговой службы тому состоянию, которое требуется для решения поставленных задач.	Баранчев В.П., Стрижов С.Г., Родионова А.П. [4, 5]
<b>Целевой подход</b> определяет маркетинговый потенциал как способность отдела маркетинга способствовать достижению стратегических целей фирмы, используя доступные ей ресурсы.	Маркетинговый потенциал – совокупность материальных и нематериальных ресурсов, внутренних и внешних возможностей их использования для маркетингового развития, показатели которых определяются для текущего и прогнозного (целевого) состояния.	Колесник Е.Н., Мальченков Е.Н. [6, 7]

На нижеприведенной схеме (рис. 2) показана взаимосвязь между различными подходами.

Чтобы более объективно оценить маркетинговый потенциал фирмы, необходимо совместить все три подхода. Тогда мы получим комплексное понятие, согласно которому маркетинговый потенциал – это способность фирмы обеспечивать свою конкурентоспособность, эффективно решать поставленные перед ней задачи и добиваться определенных результатов, используя доступные ресурсы. Функционирование и развитие организации, таким образом, подчинено достижению поставленных маркетинговых целей. Маркетинговый потенциал интегрирует в себе основные компоненты, которые нацелены на повышение эффективности деятельности той или иной организации. Как и само понятие, структура маркетингового потенциала тоже имеет несколько трактовок у разных



Рис. 2. Взаимосвязь между существующими подходами к понятию «маркетинговый потенциал».

авторов. Так или иначе, структура маркетингового потенциала – сложная, открытая, динамическая система, внутри которой элементы тесно взаимосвязаны друг с другом, то есть, несмотря на то, что каждый элемент выполняет свою определенную функцию, вместе они представляют собой единое целое.

Среди подсистем маркетингового потенциала организации можно выделить следующие: подсистема ресурсов, резервов, возможностей, способностей и управления этими способностями. Внутренние и внешние факторы, составляющие внутреннюю и внешнюю маркетинговую среду предприятия, соответственно, влияют на функционирование данных элементов. Говоря о внутренней среде, выделяются такие элементы, как: финансовые возможности фирмы, кадровый потенциал, имидж компании и пр.; внешняя же маркетинговая среда объединяет в себе микросреду (поставщики, потребители, конкуренты) и макросреду (экономические, политические, социально-культурные факторы). Иерархическая структура маркетингового потенциала представлена на рис. 3.

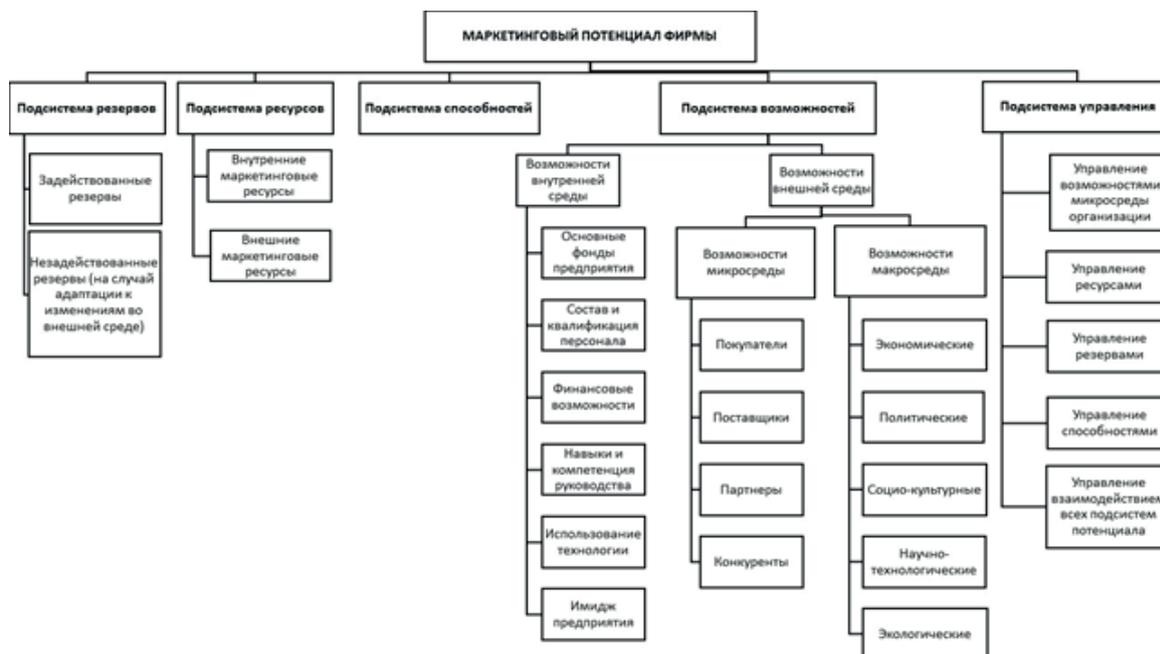


Рис. 3. Структура маркетингового потенциала фирмы.

Поскольку маркетинговый потенциал фирмы включает в себя множество составных частей, то важно учитывать и каждый элемент. Следовательно, маркетинговый потенциал можно представить в виде функции следующего вида:

$$MP=f(FP_1, FP_2, \dots, FP_n),$$

где  $MP$  – маркетинговый потенциал;

$FP_n$  – фактор формирования маркетингового потенциала.

Управление маркетинговым потенциалом фирмы является сложным процессом, состоящим из последовательно сменяющихся друг друга этапов. Для наглядности изобразим их на схеме (рис. 4).



**Рис. 4.** Этапы процесса управления маркетинговым потенциалом фирмы.

Чтобы понять весь процесс в целом, следует рассмотреть каждый этап отдельно. Анализ и оценке состояния маркетингового потенциала придается большое значение и уделяется много времени, именно потому он стоит в самом начале. Этап помогает реально оценить существующие возможности фирмы. В случае положительного результата оценки маркетингового потенциала организация может выстраивать дальнейший план действий на его основе. Если же при анализе выявляются какие-либо недостатки, которые можно исправить, то сначала принимаются меры по их устранению, и, соответственно, по повышению маркетингового потенциала организации. Что касается оценки маркетингового потенциала, то в научной литературе выделяют три наиболее общих подхода, которые обобщены в табл. 2.

Из табл. 2 можно сделать вывод об отсутствии единого метода оценки маркетингового потенциала, полного и лаконичного. Следовательно, многие организации проводят подобную оценку на основе взглядов и предпочтений маркетингового отдела. На рис. 5 представлены основные критерии, по которым можно оценить маркетинговый потенциал.

Критерии, приведенные на рис. 5, использованы авторами для оценки маркетингового потенциала четырех известных компаний на основе метода экспертных оценок. Каждый параметр авторы оценили по 5-ти-бальной шкале в зависимости от эффективности мероприятий, применяемых в том или ином направлении. Для лучшей наглядности были взяты компании из одной отрасли (производство и продажа одежды): Next, Levi`s, Zara, Sela. Полученные данные сведены в табл. 3.

Таблица 2. Подходы к оценке маркетингового потенциала

Название	Сущность	Авторы
Результативный подход	Оценка маркетингового потенциала происходит либо через расчет интегрального показателя, либо через расчет рыночного потенциала. Однако использование только количественных показателей для оценки маркетингового потенциала фирмы недостаточно.	Бесфамильная С.В., Рожков А.А., Юлдашева О.У. [8, 9]
Диагностический подход	Главную роль в данном подходе играет метод экспертных оценок, но при этом отсутствуют точные рекомендации по его проведению, что ставит под сомнение использование данного метода на практике.	Баранчеев В.П., Стрижов С.Г., Кифоренко И.К., Шацкий А.И., Колесник Е.Н., Попов Е.В. [2, 4, 10, 11]
Комплексный подход	Предполагает внутреннюю и внешнюю оценку маркетингового потенциала, то есть рассматривает и объективную и субъективную составляющие. Включает в себе преимущества первых двух подходов, но из-за высокой трудоемкости и большого объема информации применить этот метод на практике очень сложно.	Рольбина Е.С., Сандей Э. [12, 13]



Рис. 5. Основные параметры оценки маркетингового потенциала.

Таблица 3. Оценка основных параметров организаций

Название критерия	Next	Levi`s	Zara	Sela
Ценовая политика	4	4	4	5
Наличие и уровень исследований	4	4	5	2
Методы продвижения и стимулирования	4	2	4	3
Реальная доля рынка предприятия	4	3	5	2
Сбор, обработка и анализ информации о конкурентах	4	3	5	2
Исследование будущих нужд и запросов потребителей	5	3	5	3
Исследование рекламы	5	4	5	4

Разумеется, полученный результат не дает нам полного представления относительно маркетингового потенциала каждой из компаний, но данные табл. 5 позволяют сравнить примерный уровень их потенциала. Так, очевидно, что компания Zara обладает наибольшим маркетинговым потенциалом. Популярность данного бренда в настоящее время во многом объясняется тем, что руководство компании успешно, а, главное, полно использует свой маркетинговый потенциал, что обеспечивает постоянное развитие и рост компании.

После оценки маркетингового потенциала следует определить миссию фирмы, которая представляет собой целевые установки организации, необходимые для постановки целей и задач. Миссия является основой, с помощью которой принимаются все дальнейшие решения, поэтому ее определение имеет большое значение.

На основе предыдущего этапа формулируются конкретные цели и задачи. Чаще всего целями организации являются: завоевание и удержание большой доли на конкретном рынке, высокое качество товара, максимальное использование имеющихся ресурсов, повышение прибыльности и пр. Важно правильно сформулировать цели, руководствуясь методикой *SMART*. Она подразумевает под собой, что цели должны быть: *specific* (конкретны), *measurable* (измеримы), *achievable* (достижимы), *realistic* (реальны), *timetable* (с конкретным сроком исполнения). В противном случае постановка цели не имеет смысла, а значит, и дальнейшие действия по ее достижению тоже [14–16].

Далее необходимо разработать и проанализировать стратегические альтернативы развития маркетингового потенциала, на основе которых в дальнейшем будет выбрана стратегия. Данный процесс требует серьезного внимания, так как на выбор стратегии влияет обширный набор всевозможных факторов, каждый из которых требует учета. К ним можно отнести: отрасль фирмы, внутреннюю структуру организации, состояние внешней среды (стабильность, предсказуемость изменений и др.), характер поставленных целей, уровень риска, фактор времени и пр. Именно большой набор факторов обуславливает наличие нескольких стратегических альтернатив, из которых в дальнейшем с помощью оценки альтернативных путей деятельности фирмы выбирается наиболее оптимальная стратегия.

Из всего множества стратегий управления маркетинговым потенциалом можно выделить три основных:

- развитие маркетингового потенциала (расширение воспроизводства);
- сохранение маркетингового потенциала (поддержание существующего воспроизводства);
- сокращение маркетингового потенциала (снижение воспроизводства).

За этапом выбора стратегии следует составление и реализация стратегического плана. Стратегическое планирование является основой для принятия дальнейших управленческих решений и функционирования фирмы в целом. Неиспользование стратегического планирования, безусловно, обрекает фирму на проигрыш. Так как стратегический план составляется на долгосрочную перспективу, в процессе реализации он постоянно детализируется текущим планированием.

Для успешного управления маркетинговым потенциалом фирмы его необходимо контролировать и вести учет выполнения всех показателей. Только в этом случае

деятельность фирмы будет эффективна, а ее маркетинговый потенциал – использоваться в полной мере.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно заключить, что тема маркетингового потенциала фирмы является одной из самых неоднозначных в научной литературе. Единого мнения нет ни по самому понятию, ни по оценке маркетингового потенциала, ни по этапам процесса управления этим потенциалом. Поэтому организации сложно управлять своей деятельностью с высокой эффективностью, полностью учитывая свой маркетинговый потенциал. Зачастую маркетинговый потенциал рассматривается просто как одна из составляющих рыночного потенциала фирмы, и соответственно, ему не уделяется должного внимания. В таком случае целесообразно применить концепцию, рассматривающую маркетинговый потенциал как самостоятельную категорию, сущность которой заключается в максимальной возможности использования предприятием всех передовых наработок в области маркетинга. В каждой фирме должна осуществляться постоянная и планомерная работа по организации управления маркетинговым потенциалом. Только в этом случае организация будет способна приспосабливаться к постоянно меняющимся условиям рынка, выявлять новые открывающиеся рыночные возможности и уметь пользоваться ими.

### Литература:

1. Батова Т.Н., Крылова В.А. Маркетинговый потенциал предприятия. М.: Академия Естествознания, 2016. 234 с.
2. Попов Е.В. Рыночный потенциал предприятия. М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2002. 559 с.
3. Толстых Д.В. Формирование маркетингового потенциала предприятия // Перспективы науки. 2010. № 4 (06). С. 126–132.
4. Баранчев В. П., Стрижов С.Г. Анализ и оценка маркетингового потенциала предприятия // Маркетинг. 1996. № 5. С. 42–50.
5. Родионова А. П. Оценка и реализация маркетингового потенциала развития машиностроительных предприятий региона // Регионология. № 3. 2009. С. 115–122.
6. Колесник Е. Н. Процесс управления маркетинговым потенциалом на промышленном предприятии // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. 2013. № 1. С. 127–134.
7. Кунев С.В., Епифанова Л.В., Мальченков Е.Н., Направления развития производственно-маркетинговой системы российских фармацевтических производителей в современных условиях // Креативная экономика. 2012. Т. 6. № 5. С. 83–85.
8. Бесфамильная С.В., Рожков А.А. Организация мониторинга системы воспроизводства рабочих мест, созданных по программам местного развития в углепромышленных регионах // Уголь. 2002. № 3. С. 20–24.
9. Юлдашева О.У. К вопросу теории и методологии формирования маркетингового потенциала компании // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2006. № 2. С. 95–110.
10. Колесник Е.Н. Маркетинговый потенциал: классификация подходов к его изучению и оценке // Вопросы экономики и права. 2011. № 42. С. 140–145.

11. Шацкий А.И. Оценка эффективности управления маркетинговым потенциалом // Креативная экономика. 2013. № 5(77). С. 111–116.
12. Акифьева В. А., Батова Т. Н. Анализ и классификация методик оценки маркетингового потенциала предприятия // VII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум - 2015». Санкт-Петербург, 2015. С. 1–15. Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2015/pdf/13277.pdf>.
13. Рольбина Е.С. Управление маркетинговым потенциалом организации // Вестник Казанского государственного финансово-экономического института. 2011. № 2. С. 17–21.
14. Веснин В.Р. Основы управления. М.: Проспект, 2015. 272 с.
15. Какаева А.Е., Дуненкова Е.Н. Инновационный бизнес. Стратегическое управление развитием. М.: ИД «Дело» РАНХиГС, 2016. 176 с.
16. Котлер Ф., Гари А. Основы маркетинга: 5-е европейское изд. М.: Вильямс, 2015. 752 с.

#### References:

1. Batova T.N., Krylova V.A. Marketing potential of the company. Moscow: Akademiya Estestvoznaniya Publ., 2016. 234 p. (in Russ.).
2. Popov E.V. Market potential of the enterprise. Moscow: ZAO «Ekonomika» Publ., 2002. 559 p. (in Russ.).
3. Tolstykh D.V. Buildup of enterprise marketing potential // Perspektivy nauki (Science Prospects). 2010. № 4 (06). P. 126–132 (in Russ.).
4. Baranchev V.P., Strizhov S.G. Analysis and evaluation of marketing potential of an enterprise // Marketing. 1996. № 5. P. 42–50 (in Russ.).
5. Rodionova A.P. Estimation and implementation of marketing potential of machine-building enterprises of the region // Regionologiya (Regionology). 2009. № 3. P. 115–122 (in Russ.).
6. Kolesnik E.N. Management process in marketing potential at the industrial enterprise // VestnikVolzhskogo Universiteta imeni V.N. Tatischeva (Proceed. of the V.N. Tatischev Volzhsk University). 2013. № 1. P. 127–134 (in Russ.).
7. Kunev S.V., Epifanova L.V., Mal'chenkov E.N., The development directions of production-marketing system of russian pharmaceutical manufacturers in modern conditions // Kreativnaya ehkonomika (Creative Economy). 2012. V. 6. № 5. P. 83–85. (inRuss.).
8. Besfamil'naya S.V., Rozhkov A.A. Organization of monitoring system of reproduction jobs created by local development in coal-producing regions // Ugol' (Coal). 2002. № 3. P. 20–24. (in Russ.).
9. Youldasheva O.U. On the theory and methodology of forming the firm's marketing potential // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ehkonomicheskogo universiteta (Proceed. of the Saint-Petersburg State Economic University). 2006. № 2. P. 95–110 (in Russ.).
10. Kolesnik E.N. Marketing potential: The classification of approaches to its study assessment// Voprosy ehkonomiki i prava (Economic and Law Issues). 2011. № 42. P. 140–145 (in Russ.).
11. Shatskiy A.I. Assessment of effectiveness of marketing potential management // Kreativnaya ehkonomika (Creative Economy). 2013. № 5(77). P. 111–116 (in Russ.).

12. Akif'eva V.A., Batova T.N. Analysis and classification methodologies for assessing the marketing potential companies. Sankt-Petersburg, 2015. Rezhimostupa: <http://www.scienceforum.ru/2015/pdf/13277.pdf> (in Russ.).

13. Rol'bina E.S. Managing marketing potential of an organization // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo finansovo-ehkonomicheskogo institute (Bull. of the Kazan State Finance and Economics Institute). 2011. № 2. P. 17–21 (in Russ.).

14. Vesnin V.R. Fundamentals of management. Moscow: Prospekt Publ., 2015. 272 p.

15. Kakaeva A.E., Dunenkova E.N. Innovative business. Strategic management development. Moscow: Publishing House "Delo", Russian Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA), 2016. 176 p. (in Russ.).

16. Kotler F., Gari A. Principles of Marketing: 5th European ed. Moscow: Vil'yams Publ., 2015. 752 p. (in Russ.).

*Об авторах:*

*Краснянская Ольга Владимировна*, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Института инновационных технологий и государственного управления ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, просп. Вернадского, д. 78).

*Мандыч Ирина Александровна*, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Института инновационных технологий и государственного управления ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (119454, Россия, Москва, просп. Вернадского, д. 78).

*About the authors:*

*Olga V. Krasnyanskaya*, Ph.D. (Economics), Associate Professor, Department of Management, Institute of Innovative Technologies and Public Administration, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

*Irina A. Mandych*, Ph.D. (Economics), Associate Professor, Department of Management, Institute of Innovative Technologies and Public Administration, Moscow Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

УДК 37; 378.09; 378.3; 378.11

**ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОСЧЕТЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ СССР  
В ПОСЛЕВОЕННЫЙ ПЕРИОД**

**В.В. Калинов**

*Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Москва 119991, Россия*

*@Автор для переписки, e-mail: kafedra-i@yandex.ru*

В статье исследуются отдельные аспекты одной из актуальных, наименее изученных и дискутируемых в настоящее время проблем отечественной истории, связанной с научно-технической политикой СССР в послевоенный период. На основе анализа научной литературы и ранее не опубликованных архивных документов предпринимается попытка выявить факторы, определившие корректировку и суть промышленной и научно-технической политики в послевоенный период, характер и результаты реорганизаций в сфере управления научно-технической сферой. Формулируется вывод о том, что успешная реализация послевоенных масштабных проектов свидетельствовала о единственно возможной стратегии, выбранной руководством страны. В частности, послевоенная геополитическая ситуация и необходимость скорейшего восстановления и укрепления экономики СССР потребовали от советского руководства максимально прагматичного подхода в вопросе «заимствований». Был сформирован и собственный мощный научно-технический комплекс. Достижения проявлялись, прежде всего, в оборонной сфере. Вместе с тем исследование показало, что активизация научно-технических исследований, превращение науки в определяющий фактор экономического развития страны в те годы так и не стали приоритетом. Подчеркивается, что торможение, снижение эффективности управления было обусловлено возрастанием роли партийного аппарата в работе государственных органов; реорганизациями в системе управления народным хозяйством; ведомственным подходом, недостатками планирования; недостаточным профессионализмом советского руководства.

**Ключевые слова:** научно-техническая политика, восстановительный период, научный потенциал, общенациональные проекты.

## THE ACHIEVEMENTS AND FAILURES OF THE STATE SCIENTIFIC AND TECHNICAL POLICY OF THE USSR IN THE POSTWAR PERIOD

**V.V. Kalinov**

*Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University),  
Moscow 119991, Russia*

*@Corresponding author e-mail: kafedra-i@yandex.ru*

The article investigates certain aspects of one of the current issues of the Russian history, the least studied and discussed at present. On the basis of the analysis of scientific literature and previously unpublished archival documents, attempts to identify the factors that determined the adjustment and essence of the industrial and scientific-technical policy in the postwar period, the essence and results of the reorganization in the management of scientific and technical sphere. We conclude that successful implementation of post-war large-scale projects proves that there was only one possible strategy chosen by the country's leadership. In particular, the postwar geopolitical realities and the need for early recovery and strengthening of the Soviet economy demanded from the Soviet leadership a most pragmatic approach as to the issue of "borrowing". Besides, a strong research and technical complex was formed, and very impressive results were achieved, especially in the defense sphere. However, the study showed that the intensification of scientific and technical research, transformation of science into a determining factor of economic development of the country in those years failed to become a priority. The slowdown and deficiency of control were due to the increasing role of the party apparatus in the state bodies, due to the reorganizations in the system of national economy management, due to the departmental approach and shortcomings in planning, due to the insufficient professionalism of the Soviet leadership.

**Keywords:** scientific-technical policy, recovery period, scientific potential, national projects.

При разработке и реализации государственной инновационной политики в настоящее время большинством экспертов признается критическая значимость точного выбора приоритетов дальнейшего развития Российской Федерации, научной обоснованности и последовательности. В связи с этим требует изучения опыт ее осуществления советским государством в один из самых сложных периодов отечественной истории – послевоенный, когда все силы были направлены, главным образом, на восстановление экономики, сохранение технико-экономической независимости от ведущих держав мира, достижение военно-стратегического паритета. После войны приоритетным направлением продолжала оставаться тяжелая промышленность, но ставка делалась и на создание собственной научно-технической базы.

События, связанные с исследованием и оценкой экономической модели послевоенного развития СССР, являются наименее изученными современными историками. В конце 1990-х–начале 2000-х гг. превалировали резко негативные оценки. Для их подтверждения вводились в научный оборот ранее не доступные, весьма ценные для науки архивные материалы [1–5]. И сегодня ряд авторов, отстаивающих необходимость либе-

ральных реформ, продолжают придерживаться подобных оценок [6]. Однако все больше исследователей настаивает на неправильности отнесения «ответственности» за жесткие, трудно поддающиеся модернизационному воздействию конструкции сложившейся экономической модели, полностью на счет идеологической зашоренности позднесталинского руководства. Так, В.В. Журавлев и Л.Н. Лазарева полагают правильным указывать и на такие объективные факторы, как инерция мобилизационной экономики кануна Великой Отечественной войны и самой войны, реальные и неотложные в этот период потребности государства не только в восстановлении экономики, но и значительной части страны, оказавшейся в руинах [7]. Одновременно сохранялся курс на построение коммунизма в обозримом будущем. Сложное взаимодействие указанных факторов и определило, по мнению авторов, характер становления и реальное содержание экономической теории и практики послевоенного периода.

Одним из дискуссионных продолжает оставаться и вопрос определения эффективности государственной промышленной и научно-технической политики в эти годы. Так, Г.И. Ханин говорит о произошедшей тогда подлинной технической революции в машиностроении, наметившихся качественных сдвигах в электроэнергетике, химической промышленности, черной и цветной металлургии [8, сс. 114–115, 118]. Сконцентрировать ресурсы на приоритетных направлениях позволили поддерживающиеся в экономике диспропорции, широкое использование труда заключенных, низкий жизненный стандарт населения. Одним из важнейших достижений того времени явилось производство металлорежущего оборудования: по сравнению с довоенным уровнем общее производство станков выросло на 60%. Впервые в массовом масштабе начали выпускаться автоматические линии. Станкостроение вышло на технический уровень самых передовых капиталистических стран всего лишь за 5 лет после тяжелейшей войны. Была создана фактически новая отрасль – радиоэлектроника. Появились десятки научно-исследовательских институтов и промышленных предприятий, что потребовало значительных средств и высокого уровня квалификации кадров. Без всякого сомнения, наибольшие достижения были достигнуты в оборонной сфере, но и в гражданских отраслях удалось повысить производительность труда по сравнению с довоенным уровнем, прежде всего, благодаря техническому прогрессу и улучшению организации производства. Снижалась себестоимость продукции.

В числе факторов, ускоряющих научно-технический прогресс, справедливо назвать и реорганизации в сфере управления. Речь идет, прежде всего, о перестройке Госплана, о создании Госкомитета по новой технике, Госкомитета по материально-техническому снабжению и др.

Ряд историков связывает высокие темпы советской индустриализации и восстановления народного хозяйства с заимствованием западных научно-технических достижений, утверждая, что массовые поставки зарубежного оборудования, по сути, являлись повторением практики 1930-х гг., однако за послевоенные ремонтные поставки не нужно было платить [8, с. 115; 9, с. 139–142]. Г.И. Ханин оценивает роль ленд-лиза, репараций и вывоза из Германии технической документации в экономическом чуде, наблюдаемом в послевоенном СССР, как «немалую». Исследователь подчеркивает и весьма значимую роль промышленного шпионажа в то время и в последующие годы [10, сс. 73–74]. Тем более это было важно в условиях, когда по политическим мотивам

сократился экспорт США в СССР: до 4% совокупного американского экспорта в 1946 г. и уже до 1% – в 1947 г. [11, с. 94].

Согласно данным, опубликованным Г.И. Ханиным, общий объем немецких репараций (4.3 млрд. долларов в ценах 1938 г.) во внутренних ценах составил 86 млрд. рублей, в том числе, промышленного оборудования – 70 млрд. рублей [12, с. 182]. В такую сумму оценивались 2/3 авиационной и электротехнической промышленности Германии, большая часть ракетостроения, автомобильные, военные, станкостроительные, металлургические, машиностроительные, судостроительные и другие заводы [13, р. 414].

А. Ваксер утверждает [14], что после капитуляции с территории Германии и ее сателлитов в качестве трофеев и репараций вывозились целые заводы. Все это именовалось «специмпортом». На улицах советских городов появлялись новенькие легковые машины; на письменных столах – пишущие машинки, как две капли воды напоминавшие немецкие модели; в строй вступали подводные лодки, закладывавшиеся на германских верфях. Этот своеобразный допинг и стал одним из немаловажных источников «чуда возрождения», полагает автор.

Изученные нами опубликованные данные и архивные документы частично подтверждают этот вывод. Так, например, В.К. Иванов ссылается на докладную записку в центральные партийные органы президента Академии наук А.Н. Несмеянова, председателя Государственного комитета по новой технике В.А. Малышева и министра высшего образования СССР В.П. Елютина о состоянии науки в 6-й пятилетке [15, с. 104]. В записке признавалось, что главные усилия ученых в предшествующий период были направлены на освоение советской промышленностью зарубежных достижений, то есть предпочтение отдавалось уже испытанному ранее варианту заимствования: апробированное внедрять быстрее, надежнее, чаще – и дешевле. Одновременно авторы акцентировали внимание на том факте, что ряд разработок отечественных ученых быстрее внедрялся за рубежом, нежели в собственной стране.

Послевоенные геополитические реальности и необходимость скорейшего восстановления и укрепления экономики СССР потребовали от советского руководства максимально прагматичного подхода в вопросе «заимствований». Нам представляется правомерным вывод о том, что в послевоенный период экономическое превосходство США оказалось возможным компенсировать только достижением паритета в военной сфере путем использования всех имеющихся ресурсов, включая «заимствования». Немецкие «высокие» технологии, «интеллектуальные репарации» из Германии в Советский Союз сыграли огромную роль в развитии ряда отраслей советской промышленности в послевоенный период и, в первую очередь, советского военно-промышленного комплекса. Исследования последних лет, публикация ныне открываемых архивных материалов позволяют с большой степенью точности определить размеры «заимствований» и их характер. Так, например, еще в 1945 г. специальной комиссией были намечены к перебазированию из Германии в Ухту Беленский и Треглицкий гидрогенизационные заводы [16, л. 168].

В то же время документы свидетельствуют, что в ряде случаев у отечественных специалистов не хватало квалификации, чтобы разобраться в «заимствованных» чертежах и оборудовании. В частности, было допущено завышение веса оборудования прокатных станов в три раза по сравнению с указанным в американской технической докумен-

тации. В июне 1949 г. группой инженеров (А.И. Ефремовым и др.) в письме на имя Л.П. Берия подобный факт интерпретирован как «очковтирательство», преступление: «...Более позорного случая в конструировании машин не найти, когда, имея богатейшую практику конструкторских бюро Ижорского, Ново-Краматорского и др. заводов, стан получился в 3 раза тяжелее американского и почти в 5 раз немецкого стана подобного типа... Конструкторы стана имели не только чертежи американского стана, но и изготовленный в Америке стан». Поэтому с их стороны, по мнению авторов письма, превышение веса «...есть не только ошибка, но и государственное преступление. Причину этого преступления нужно искать или в неопытности конструкторов, взявшихся не за свое дело, или в чем-то злом умысле... Пожалуй, имеет место и то, и другое, но, вернее всего, – последнее, так как неопытный инженер, или студент последнего курса советского вуза прекрасно осведомлен о значении экономии в подобных вопросах». Утверждалось, что «...А.И. Целиков<sup>1</sup> – «ученый»-авантюрист, а его окружение (Носаль, Королев, Ирошников, Шор, Гуревич, Кругликов, Закк, Рокотин и др.) – сборище космополитов и карьеристов. Вот они-то, не допускающие опытных русских конструкторов (Чайку, Ползикова, Дмитриева и др.) к ответственному делу, привели к тому, что сконструированный ими стан оказался в три раза тяжелее американского... Мы уверены, что Вы, стоящий на страже нашего государства, разберетесь, кто прав, кто виноват в допущении ошибки и очковтирательстве, и осведомите Советское правительство, в чем причина этой ошибки: в неопытности или в злом умысле» [17, лл. 69–73]. Документ свидетельствует о все той же атмосфере доноительства, поиске врагов и объяснениях просчетов, что и в предвоенный период.

Между тем, значительное число экспертов справедливо, на наш взгляд, полагает, что собственный научный потенциал страны в послевоенные годы был достаточно высоким, многое удавалось осуществлять самим, дополняя созданное зарубежными разработками. Так, Е.Т. Артемов отводит зарубежному научно-техническому опыту роль катализатора в становлении атомной и радиоэлектронной промышленности, ракетостроения и авиастроения, но не столь значительную, как в 1930-е гг. Многие оригинальные отечественные исследования и разработки использовались после войны в горном деле, машиностроении, металлургии, электроэнергетике, судостроении. К середине 1950-х гг. преимущественно на собственной основе развивались ракетостроение, ядерная энергетика, производство средств связи, радиолокационного оборудования и электронно-вычислительной техники, авиация. Продукция этих отраслей не уступала зарубежным аналогам. Ученый утверждает, что именно в этот период наметился отход от имитационной модели научно-технического развития [18, с. 155]. Более того, напоминая о советских достижениях в космосе, ядерной физике, авиации, Г.А. Быковская объясняет их лучшей организацией науки [19, с. 21]. Этот вывод подтверждает и исследователь А.М. Судариков [20]: атомная индустрия, авиастроение, радиоэлектронная промышленность, ракетостроение являются весьма наукоемкими отраслями и зависят от итогов систематических фундаментальных исследований.

«Холодная война» стимулировала и реализацию проектов в сфере информационных технологий, аппаратных платформ. Появление большого числа различных отечественных ЭВМ в начале 1950-х гг. было обусловлено поддержкой на государственном уровне

<sup>1</sup>Целиков А.И. – лауреат Сталинской премии (1947, 1951, 1948), причем в 1947 г. – за научный труд «Прокатные станы», лауреат Ленинской премии (1964).

проведения самостоятельных, независимых от западных аналогов, разработок. К сожалению, в конце 1960-х гг. выбранный курс изменили на прямо противоположный, что в значительной степени определило технологическое отставание СССР в последние десятилетия его существования [21, сс. 189–202].

Ограниченность международных научных связей, практическое отсутствие публикаций по ряду направлений негативным образом, на наш взгляд, сказывалась на развитии фундаментальной науки, на подготовке и переподготовке высококвалифицированных специалистов. Так, в фондах РГАНИ сохранилось письмо заведующего отделом науки и культуры Аппарата ЦК КПСС А.М. Румянцева на имя Н.С. Хрущева, в котором констатировалось недостаточное освещение в специализированных научных журналах результатов исследований советских ученых в области физики. В частности, автор указывал, что «...публикуется лишь небольшая часть получаемых в СССР научных результатов по общетеоретическим вопросам ядерной физики. В печати освещаются лишь исследования по теории ядра и элементарных процессов, по космическим лучам и ядерной спектроскопии». Но даже по этим разделам публиковалось незначительное число статей: «...Так, например, за девять месяцев 1953 г. в СССР опубликовано около десяти работ по ядерной спектроскопии; за тот же период в американском реферативном журнале «Нуклеар сайнс абстрактс» аннотированы 367 работ по ядерной спектроскопии. Аналогичное положение имеется и в публикации результатов исследования по физике космических лучей и применения метода меченых атомов». Автором также отмечалось отсутствие в СССР опубликованных работ по физике нейтронов и нейтронографии, по работе мощных ускорителей и свойствам частиц больших энергий. В то же время за рубежом подобные работы издавались. В частности, в американском журнале «Физикал ревью» только за 3 месяца 1953 г. напечатано свыше 60 статей по этим разделам физики [22, л. 4]. Нами также выявлена информация о том, что из 750 рефератов научных работ по теоретической и ядерной физике, опубликованных в 1954 г. в реферативном журнале «Физика», только 67 основывались на советских публикациях [22, л. 6].

В письме А.М. Румянцева предлагалось «...принять меры для улучшения научной информации о ведущихся в СССР исследованиях по общетеоретическим вопросам ядерной физики, не связанным с производственно-технологическими проблемами» с целью развития исследований по ядерной физике в научных институтах и вузах, а также подготовки специалистов в ряде технических вузов и на физических факультетах университетов. Отделом науки и культуры ЦК КПСС было рекомендовано Президиуму АН СССР и Министерству среднего машиностроения СССР совместно рассмотреть вопрос о публикации научных работ по общетеоретическим вопросам ядерной физики с учетом состояния зарубежной научной информации и внести предложения в Совмин СССР [22, л. 4].

По нашему мнению, убедительным примером активизации собственных научно-технических изысканий в послевоенный период стал, благодаря формированию единого научно-производственного цикла, несомненно, ВПК. В августе 1945 г. для управления работами по использованию внутриатомной энергии урана был создан Специальный комитет при ГКО под руководством Л.П. Берии [23, сс. 11–14]. Позже планирование «специальных работ» было изъято из ведения Госплана СССР [24, сс. 366–367]. При Спецкомитете функционировали Технический и Инженерно-технический советы, позднее объединен-

ные с целью укрепления научно-производственных связей в Научно-технический совет. Его председателем стал Б.Л. Ванников, заместителями – И.В. Курчатова и М.Г. Первухина. Первое главное управление при Спецкомитете руководило рядом организаций, предприятий, значительным количеством научно-исследовательских, проектных, конструкторских организаций, привлекаемых к решению атомной проблемы. В феврале 1951 г. для активизации научно-технических исследований в области создания управляемых ракет, самолетов (носителей оружия) и ракет дальнего действия при Спецкомитете и Совмине СССР было организовано Третье главное управление [25, сс. 103–106]. После упразднения Специального комитета в июне 1953 г. и ареста Л.П. Берии задача осуществления прорывов в научно-технической сфере легла на отраслевые министерства. Лишь одним из таких ведомств, в целом не имеющих возможности самостоятельно решать проблемы межотраслевого характера, реализовывать стратегические проекты общенационального масштаба, стало Министерство среднего машиностроения, образованное 26 июня 1953 г. на основе Первого, Второго и Третьего главных управлений [26, с. 50].

Представляется неправомерным преуменьшение значения Минсредмаша (переименован в 1963 г. в Государственный производственный комитет по среднему машиностроению), сменившего Спецкомитет, но он действительно оказался изолированным от других научных структур. Произошло еще большее разделение гражданской и оборонной отраслей науки, центр тяжести при принятии стратегических решений стал перемещаться в партийные инстанции. В 1954 г. был сформирован Отдел оборонной промышленности ЦК, отраслевые же бюро Совмина СССР, отвечающие за развитие крупных народнохозяйственных комплексов, прекратили свое существование. Одновременно в феврале 1955 г. в качестве постоянно действующего органа создан Совет Обороны, при нем – Военный научно-технический комитет по атомному, водородному и ракетному оружию. Обе эти структуры возглавлялись Первым секретарем ЦК КПСС Н.С. Хрущевым. Особое внимание к модернизации ВПК было обусловлено «холодной войной», ядерным вызовом, стремлением добиться и сохранить военно-стратегический паритет. Это же предопределило и специфику ГНТП в исследуемый период в целом. Напомним, что британский премьер-министр У. Черчилль уже 23 июля 1945 г. заявил членам Комитета начальников штабов: «Секрет создания бомбы и возможность ее использования полностью нарушат равновесие сил на международной арене, которое складывалось после поражения Германии... сейчас мы можем сказать русским, что если вы действительно хотите сделать то-то и то-то, что ж ... русским нечем будет на это ответить» [27, сс. 138–139]. Он поручил военным разработку проекта, получившего предварительное название «Операция «Немыслимое» (Operation Unthinkable). Согласно убеждению многих исследователей, уже 21 сентября 1945 г. и США окончательно решили идти по пути «атомной дипломатии», но по-настоящему широкомасштабные работы по развитию атомного оружия развернулись лишь в 1946 г., тогда же, в мае 1946 г. там было сформировано третье направление – становление ракетной техники. Вызовами для СССР стали: создание в 1947 г. Западного союза, в 1949 г. – НАТО. Стараясь выиграть время, И.В. Сталин использовал все возможные средства и ресурсы, чтобы как можно быстрее создать собственное ядерное оружие и тем самым нейтрализовать атомную угрозу со стороны США. Приняв этот вызов, полагает В.А. Шестаков, Сталин в значительной мере лишил своих возможных преемников по власти выбора и

альтернатив дальнейшего развития страны [28, сс. 102, 104, 105]. В качестве последствий курса на гонку вооружений исследователь называет «...фактическую изоляцию страны, отгороженность ее от мировой экономики...», «...автоматическое выпадение из бурно развивающихся инновационных процессов, что неизбежно вело к усугублению отставания и маргинализации страны...». Несмотря на это, автором подчеркивается и безальтернативность выбранного курса: опасаться бывших союзников Сталин имел все основания, после 1945 г. любой советский лидер должен был поставить перед собой цель создания ядерного оружия (а в перспективе – и достижения ядерного паритета), хотя бы в силу того, что оно имелось у потенциального противника. Сталин не стремился к гонке вооружений, писал о желании добиться мирного сосуществования. Тем не менее, именно этот курс, согласно выводу В.А. Шестакова, уже в середине 1940-х гг. определил условия, делающие весьма вероятным назревание внутреннего социально-политического кризиса в СССР, а его проявление становились лишь вопросом времени.

И.В. Быстрова также придерживается подобной точки зрения: «Беспокойство имело под собой почву: в 40-60-х годах<sup>2</sup> СССР действительно отставал от США в области новейших вооружений в среднем на 3-5 лет» [29, с. 347]. Ряд авторов указывает, например, и на такой фактор милитаризации экономики и научно-технической сферы, как влияние определенных кругов советского ВПК [28, с. 103]. Поэтому, как писали А.В. Пыжиков и А.А. Данилов [4, с. 152], «...военнизированная модель экономики, заложенная в соответствии со сталинскими замыслами, развивалась по своему сценарию, неуклонно подчиняя своим правилам экономическую и социальную жизнь советского общества».

Опыт реализации оборонных программ, если и не имел широкого распространения, то способствовал повышению общего уровня научно-исследовательских работ, в частности, по использованию ядерной энергии в различных областях, укреплению материально-технической базы и статуса Академии наук, отраслевых НИИ [30, сс. 144–145; 31, сс. 93–94]. Впрочем, возможности решать проблемы межотраслевого характера, реализовывать проекты общенационального масштаба, действительно, были весьма ограничены. Наибольшим научным потенциалом располагали базовые отрасли промышленности: нефте- и угледобыча, металлургический комплекс, машиностроение, химическая промышленность (15% всех научных учреждений, находившихся в ведении союзных министерств и ведомств в конце пятой пятилетки) [18, с. 162].

Архивные данные свидетельствуют о том, что руководство АН СССР осознавало суть проблемы, пыталось создать соответствующие механизмы. Предлагалось осуществлять научные исследования на плановой основе, выделяя приоритетные направления, подчеркивалась необходимость организационной перестройки системы НИИ, кооперирования деятельности научных коллективов, создания специализированных конструкторских и проектных организаций для обеспечения быстрого внедрения достижений науки в производство [32, лл. 98, 200–202; 33, лл. 8–9, 709–787]. Однако в руководстве гражданской наукой определяющим оставался ведомственный подход, академический сектор руководствовался решениями Президиума АН СССР, конкретизирующими общие директивы партии и правительства. Совет Министров СССР, рассматривая вопросы, связанные с

---

<sup>2</sup>1940–1960 гг.

научно-технической сферой, ориентировался на предварительную экспертизу, проведенную отделом науки ЦК, позицию секретаря ЦК, курировавшего этот отдел.

Отсутствие органа, отвечающего за разработку и реализацию НТП, имело весьма серьезные негативные последствия: распыление средств, дублирование тем и мелкотемье, крайне недостаточные межотраслевые научные связи. Причина сложившейся ситуации видится в непонимании руководителями страны основных направлений развития научно-технического прогресса, который принимал все более межотраслевой характер. Для ликвидации очевидных недостатков еще в январе 1948 г. был создан Государственный комитет Совета Министров СССР по внедрению передовой техники в народное хозяйство – Гостехника СССР<sup>3</sup>, в распоряжение которой передавались Комитет по изобретениям и открытиям, Комитет стандартов, Технический совет по механизации трудоемких и тяжелых работ. В ее составе функционировало и Специальное управление научно-исследовательскими работами. Анализ стенограмм заседаний Гостехники СССР позволяет согласиться с утверждением исследователей, которые оценивали возможности этого органа управления как весьма ограниченные: разрабатываемые им планы основывались на планах министерств и ведомств, контроль за их выполнением сводился к отчетам. Чаще всего обсуждались вопросы, связанные с состоянием научно-технической информации, утверждались госстандарты на различные механизмы, изделия и материалы. Предметом многочасовых и многодневных обсуждений в 1949 г., например, явилось определение качества производимого в стране керосина; особенностей сварочного процесса; процентного содержания меди в прокатной стали и других вопросов. Нельзя утверждать, что Гостехника совершенно устранилась от решения вопросов по внедрению новаций. Так, на одном из заседаний, в частности, слушался вопрос о срыве темпов внедрения в промышленность автоматических ткацких станков конструкции инженера Г.И. Кананина. Модель была представлена на международной выставке и получила высокую оценку зарубежных экспертов. Однако из 300 запланированных станков советской промышленностью было выпущено в десять раз меньше, причем в ходе их изготовления было допущено значительное отступление от инженерных требований. Контрольная Комиссия забраковала почти треть деталей. В итоге Государственный комитет Совета Министров СССР по внедрению передовой техники 8 февраля 1949 г. принял решение «...доложить правительству о невыполнении Министерством машиностроения и приборостроения постановления правительства о выпуске 300 ткацких станков-автоматов конструкции инженера Кананина и о безобразном выполнении этих станков Климовским заводом» [34, лл. 56, 90]. Изученные материалы также говорят, что на заседаниях Гостехники неоднократно поднимался вопрос о невыполнении министерствами Постановления Совмина СССР от 14 марта 1947 г. «О решительном улучшении руководства делом изобретательства и открытий в СССР». Например, на одном из заседаний в 1949 г. обсуждалась проблема низкого процента внедрений на предприятиях тяжелого машиностроения. Отмечалось, что за предыдущие 3–4 года в системе министерства внедрено только 23 изобретения, тогда как в 1947–1948 гг. рост числа авторских заявок, подаваемых по линии изобретений, технических усовершенствований и рационализаторских предложений составил

<sup>3</sup>Гостехника СССР просуществовала до 1957 г. сначала в виде Государственного комитета Совета Министров СССР по внедрению передовой техники в народное хозяйство (1948–1955), затем Государственного комитета Совета Министров СССР по новой технике (1955–1957).

50%. Констатировалось отсутствие у Министерства тяжелого машиностроения развернутого плана внедрения важнейших изобретений и технических усовершенствований как за прошедший период (1947–1948 гг.), так и на дальнейшую перспективу. Показано, что никаких рычагов воздействия на министерства у Гостехники в этой ситуации не было [35, л. 1].

Новая ориентация развития экономики, меры по устранению диспропорций в развитии народного хозяйства были предложены еще на августовской (1953 г.) сессии Верховного Совета СССР в докладах Г.М. Маленкова и министра финансов СССР А.Г. Зверева. Они могли бы способствовать улучшению работы промышленных предприятий на основе использования хозрасчета [36, с. 141]. Однако страна долго развивалась по инерционному сценарию, утвержденному еще в предвоенный период: повышение темпов и объемов производства определяло экономическую политику, шло экстенсивное развитие науки и техники. Министерствам и ведомствам, научным организациям рекомендовалось при разработке проектов новых и реконструкции действующих предприятий предусматривать более высокие плановые показатели по сравнению с достигнутыми на отечественных и зарубежных предприятиях [37].

Академия наук выступала с рекомендациями оптимизировать соотношение прикладных и фундаментальных исследований, активизировать процесс расширения сети научных учреждений [38]. По мнению руководства Минвуза СССР, недостаточная эффективность научных исследований объяснялась отсутствием планирования и координации научной деятельности в общегосударственном масштабе, параллелизмом и дублированием исследований, наличием огромного числа научных организаций, которые были мало озабочены проблемами внедрения достижений науки в народное хозяйство. Предлагалось существенным образом изменить организацию научной деятельности в стране, создав единое руководство, сосредоточив основные силы в высшей школе, сократив научно-исследовательские институты, увеличив число лабораторий и конструкторских бюро, занимающихся внедрением передовых достижений [39]. Однако эти предложения поддержки не встретили.

Акцентируем внимание на еще одном управленческом решении, на самом деле, во многом определившем характер и результаты реализации государственной научно-технической политики в рассматриваемый период. В 1955 г. составление сводных планов вновь было передано Госплану СССР, в составе которого функционировал отдел техники. За разработку и внедрение новой техники отвечали теперь министерства и ведомства. При планировании основная инициатива шла «снизу», далее эти предложения корректировались вышестоящими органами и сводились воедино. Контролировался процесс реализации планов развития техники достаточно формально. По оценкам Госплана, они выполнялись на 75% [40, с. 62]. Взаимодействие науки и производства обеспечивалось планово-распорядительными методами, этой схеме соответствовало и бюджетное финансирование, на которое были переведены в 1950 г. все научно-исследовательские и проектные институты.

Таким образом, на наш взгляд, успешная реализация послевоенных масштабных проектов свидетельствовала о единственно возможной стратегии, выбранной руководством страны. По сути, в ВПК формировалась локальная инновационная система, опира-

ющаяся не только на передовые зарубежные разработки, но и на собственные. Только за вторую половину 1940-х гг. в СССР произошло практически полное техническое обновление вооруженных сил [4, с. 152]. Вместе с тем наше исследование показало, что активизация научно-технических исследований, превращение науки в определяющий фактор экономического развития страны не стали приоритетом. Факторами, определившими торможение, снижение эффективности управления в этот период, явились:

- возрастание роли партийного аппарата в работе государственных органов;
- реорганизации в системе управления народным хозяйством;
- ограниченность международных связей;
- недостаточный профессионализм советского руководства.

Необходимость поддержки технического прогресса, собственных фундаментальных исследований не отрицалась, но требовалась разработка и реализация комплексной научно-технической политики на общегосударственном уровне, ориентирующейся на интенсификацию исследовательской деятельности, активизацию научно-исследовательских разработок и их внедрение в производство.

#### Литература:

1. Зубкова Е.Ю. Общество и реформы (1945–1964). М.: Изд. центр «Россия молодая», 1993. 200 с.
2. Советское общество: возникновение, развитие, исторический финал. Т. 1. От вооруженного восстания в Петрограде до второй сверхдержавы мира / под ред. В.С. Лельчука. М.: Изд-во Рос. госуд. гуманитарного ун-та, 1997. 510 с.
3. Попов В.П. Экономическая политика советского государства. 1946–1958 гг. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2000. 221 с.
4. Пыжиков А.В., Данилов А.А. Рождение сверхдержавы. 1945–1953 годы. М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2002. 320 с.
5. Востриков В.Н. Послевоенное восстановление и противоречия этого периода, 1945–1955 гг. Новосибирск: Сиб. ун-т потреб. кооп., 2002. 27 с.
6. Мау В.А. В поисках планомерности: экономические дискуссии 1930–1960-х гг. Сочинения: в 6-ти т. Т. 1. Государство и экономика: опыт экономической политики. М.: Дело, 2010. С. 518–702.
7. Сталинское экономическое наследие: планы и дискуссии. 1947–1953 гг.: Документы и материалы / сост.: д-р ист. наук, проф. В.В. Журавлев, канд. ист. наук Л.Н. Лазарева. М.: Политическая энциклопедия, 2017. 647 с.
8. Ханин Г. Советское экономическое чудо: миф или реальность? Статья третья // Свободная мысль. 2003. № 9. С. 103–125.
9. Семиряга М.И. Как мы управляли Германией. М.: РОССПЭН, 1995. 417 с.
10. Ханин Г.И. Экономическая история России в новейшее время: в 2-х т. Новосибирск: Гос. тех. ун-т, 2008. Т. 1. Экономика СССР в конце 30-х годов – 1987 год. 516 с.
11. Фоглесонг Д.С. Американские надежды на преобразование России во время Второй мировой войны // Новая и новейшая история. 2003. № 1. С. 100–133.
12. Ханин Г. Динамика экономического развития СССР. Новосибирск: Наука, 1991. 274 с.

13. Sutton A. Western technology and Soviet economic development. 1930 to 1945. Stanford: Hoover Institution Press Stanford University, 1971. 487 p.
14. Ваксер А. Малоизвестные страницы периода послевоенного возрождения // Аргументы и факты. № 20. 17.05.1994. [Электронный ресурс] URL: <http://www.aif.ru/archive/1642503> (дата обращения: 28.08.2017).
15. Иванов В.К. Как создавался образ советской науки // Вестник РАН. 2001. Т. 71. № 2. С. 99–113.
16. Российский государственный архив социально-политической истории (РГАСПИ). Ф. 17. Оп. 121. Д. 378.
17. РГАСПИ. Ф. 82. Оп. 2. Д. 456.
18. Артемов Е.Т. Научно-техническая политика в советской модели постиндустриальной модернизации. М.: РОССПЭН, 2006. 356 с.
19. Быковская Г.А. Государственная поддержка научно-технических инноваций: из истории вопроса в России. М.: МИФИ, 2007. 611 с.
20. Судариков А.М. Советское руководство и изменение научно-технической политики страны в 1945–1953 гг. [Электронный ресурс] URL: <http://economics.open-mechanics.com/articles/123.pdf> (дата обращения: 16.09.2017).
21. Бодрова Е.В., Кашкин Е.В. Технологическое отставание как фактор распада СССР // Российский технологический журнал. 2017. № 3. Т. 5. С. 189–202.
22. Российский государственный архив новейшей истории (РГАНИ). Ф. 5. Оп. 17. Д. 458.
23. Постановление ГОКО № 9887сс/оп «О Специальном комитете при ГОКО». 20 августа 1945 г. // Атомный проект СССР: документы и материалы: в 3-х т. / под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945–1954 / сост. Г.А. Гончаров. Саров: 1, 1999. Кн. 1. С. 11–14.
24. Постановление Совета Министров СССР № 5475-2089сс/оп «О Первом управлении Госплана СССР». 1 декабря 1949 г. // Атомный проект СССР: документы и материалы: в 3-х т. / под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945-1954 / сост. Г.А. Гончаров. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999. Кн. 4. С. 366–367.
25. Круглов А.К. Штаб Атомпрома. М.: ЦНИИАтоминформ, 1998. 493 с.
26. Государственная власть СССР. Высшие органы власти и управления, их руководители. 1923–1991: историко-библиографический справочник / сост. В.И. Ивкин. М.: РОССПЭН, 1999. 639 с.
27. Цит. по: Дилкс Д. Черчилль и операция «Немыслимое», 1945 г. // Новая и новейшая история. 2002. № 3. С. 138–139.
28. Шестаков В.А. Социально-экономическая политика советского государства в 1950-е – середине 1960-х годов. М.: Наука, 2006. 418 с.
29. Быстрова И.В. Советский ВПК: Теория, история, реальность // Свободная мысль. 1997. № 6. С. 30–44.
30. Протокол № 29 заседания Специального комитета при Совете Министров СССР. 27 ноября 1946 г. // Атомный проект СССР: документы и материалы: в 3-х т. / под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945-1954 / сост. Г.А. Гончаров. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999. Кн. 1. 718 с.
31. Постановление Совета Министров СССР № 2697-1113 сс «О развитии научно-ис-

следовательских работ по изучению атомного ядра и использованию ядерной энергии в технике, химии, медицине и биологии» 16 декабря 1946 г. // Атомный проект СССР: документы и материалы: в 3-х т. / под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945-1954 / сост. Г.А. Гончаров. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999. Кн. 3. 640 с.

32. Архив РАН. Ф. 2. Оп. 69. Д. 122.

33. РГАНИ. Ф. 5. Оп. 17. Д. 412.

34. Российский государственный архив экономики (РГАЭ). Ф. 9480. Оп. 1. Д. 21.

35. РГАЭ. Ф. 9480. Оп. 1. Д. 23.

36. XX съезд КПСС и его исторические реальности. М.: Политиздат, 1991. 416 с.

37. Бодрова Е.В., Калинов В.В. Технологическое отставание как фактор распада СССР и вызов для современной России. М.: МАОРИ, 2017. 514 с.

38. Вавилов С.И. О путях развития советской науки. Доклад на собрании научных работников Ленинского района г. Москвы // Вестник АН СССР. 1946. № 4. С. 3–12.

39. Есаков В.Д. Эпизоды из истории атомного проекта // Природа. 2003. № 10. [Электронный ресурс] URL:[http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/10\\_03/АТОМ.HTM](http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/10_03/АТОМ.HTM) (дата обращения: 17.09.2017).

40. Пыстина Л.И. «Буржуазные специалисты» в Сибири в 1920-е – начале 1930-х годов (социально-правовое положение и условия труда). Новосибирск: Изд-во института археологии и этнографии, 1999. 160 с.

#### References:

1. Zubkova E.Yu. Society and Reforms (1945–1964). Moscow: Publ. Center «Rossiya molodaya», 1993. 200 p. (in Russ.)

2. Soviet Society: The Origin, Development, Historical Final. V. 1. From armed uprising in Petrograd to the second superpower of the world / Ed. by V.S. Lelchuk. Moscow: Russian State Humanitarian University Publ., 1997. 510 p. (in Russ.)

3. Popov V.P. Economic policy of the Soviet state. 1946–1958. Tambov: TGTU Publ., 2000. 221 p. (in Russ.)

4. Pyzhikov A.V., Danilov A.A. The Birth of a Superpower. 1945–1953. Moscow: OLMA-PRESS Publ., 2002. 320 p. (in Russ.)

5. Vostrikov V.N. Post-war reconstruction and contradictions of this period, 1945–1955. Novosibirsk: Siberian University of Consumer Cooperatives Publ., 2002. 27 p. (in Russ.)

6. Mau V.A. In search of sustainability: Economic discussions of 1930–1960. Compositions: in 6 vols. V. 1: State and economy: The experience of economic policy. Moscow: «Delo» Publ., 2010. P. 518–702. (in Russ.)

7. Stalin's economic legacy: Plans and discussions. 1947–1953: Documents and materials / compilers: V.V. Zhuravlev, L.N. Lazarev. Moscow: «Politicheskaya encyclopedia» Publ., 2017. 647 p. (in Russ.)

8. Khanin G. Soviet economic miracle: Myth or reality? The third article // Svobodnaya mysl' (Free Thought – XXI). 2003. № 9. P. 103–125. (in Russ.)

9. Semiryaga M.I. As we ruled Germany. Moscow: ROSSPEN Publ., 1995. 417 p. (in Russ.)

10. Khanin G.I. Economic history of Russia in modern times: in 2 vols. Novosibirsk: State

Technical University, 2008. V. 1. The economy of the USSR in the late of thirties – 1987. 516 p. (in Russ.)

11. Foglesong D.S. American hopes for the transformation of Russia during the Second world war // *Novaya i noveyshaya istoriya* (New and Recent History). 2003. № 1. P. 100–133. (in Russ.)

12. Khanin G. Dynamics of economic development of the USSR. Novosibirsk: Nauka Publ., 1991. 274 p. (in Russ.)

13. Sutton A. Western technology and Soviet economic development. 1930 to 1945. Stanford: Hoover Institution Press Stanford University, 1971. 487 p.

14. Waxer A. little-known pages of the post-war revival of the// *Arguments and Facts*. № 20 17.05.1994. [Electronic resource] URL: <http://www.aif.ru/archive/1642503> (date accessed: 28.08.2017). (in Russ.)

15. Ivanov V.K. How the image of Soviet science was created // *Vestnik RAN* (Herald of the Russian Academy of Sciences). 2001. V. 71. № 2. P. 99–113. (in Russ.)

16. Russian State Archive of Socio-Political History (RGASPI). F. 17. Op. 121. D. 378. (in Russ.)

17. RGASPI. F. 82. Op. 2. D. 456. (in Russ.)

18. Artiymov E.T. Scientific and technical politics in the Soviet model of late industrial modernization. Moscow: ROSSPAN Publ., 2006. 356 p. (in Russ.)

19. Bykovskaya G.A. State support of scientific and technical innovations: From the history of the issue in Russia. Moscow: MEPhI Publ., 2007. 611 p. (in Russ.)

20. Sudarikov A.M. The Soviet leadership and the current scientific and technical policy of the country in 1945–1953. [Electronic resource] // URL:<http://economics.open-mechanics.com/articles/123.pdf> (date accessed: 16.09.2017). (in Russ.)

21. Bodrova E.V., Kashkin E.V. Technological backwardness as a factor in the collapse of the USSR // *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal* (Russian Technological Journal) 2017. № 3. V. 5. P. 189–202. (in Russ.)

22. Russian State Archive of Recent History (RGANI). F. 5. Op. 17. D. 458. (in Russ.)

23. The GFCS Regulation No. 9887cc/op "About the Special Committee for the GFCS". 20 August 20, 1945 // *Atomic project of the USSR: Documents and materials: in 3 vols. / under the general editorship of L.D. Ryabev. V. II. Atomic bomb. 1945–1954 / Compiler G.A. Goncharov. Sarov: RFNC-VNIIEF Publ., 1999. Book 1. P. 11–14. (in Russ.)*

24. The resolution of Council of Ministers of the USSR № 5475-2089cc/op "About the First administration of the GosPlan of the USSR". December 1, 1949 // *Atomic project of the USSR: Documents and materials: in 3 vols. / under the general editorship of L.D. Ryabev. V. II. Atomic bomb. 1945–1954 / Compiler G.A. Goncharov. Sarov: RFNC-VNIIEF Publ., 1999. Book 4. P. 366–367. (in Russ.)*

25. Kruglov A.K. Headquarters of Atomprom. Moscow: CNIIatominform Publ., 1998. 493 p. (in Russ.)

26. The state power of the USSR. Supreme authorities and administrations, their leaders. 1923–1991: Historical and Bibliographic Handbook / Comp. V.I. Ivkin. M.: ROSSPAN Publ., 1999. 639 p. (in Russ.)

27. Quoted from: Dilks D. Churchill and the "Operation Unthinkable", 1945 // *Novaya i*

noveyshaya istoriya (New and Recent History). 2002. № 3. P. 138–139. (in Russ.)

28. Shestakov V.A. The socio-economic policy of the Soviet state in the 1950s – the mid-1960s. Moscow: Nauka Publ., 2006. 418 p. (in Russ.)

29. Bystrova I.V. Soviet military-industrial complex: Theory, history, reality // *Svobodnaya mysl'* (Free Thought). 1997. № 6. P. 30–44. (in Russ.)

30. Protocol No. 29 of the meeting of the Special Committee under the Council of Ministers of the USSR. November 27, 1946 // Atomic project of the USSR: Documents and materials: in 3 vols. / under the general editorship of L.D. Ryabev. V. II. Atomic bomb. 1945–1954 / Compiler G.A. Goncharov. Sarov: RFNC-VNIIEF Publ., 1999. Book 1. 718 p. (in Russ.)

31. The resolution of the Council of Ministers of the USSR No. 2697-1113 ss "On the development of research works on the study of atomic nucleus and nuclear energy in engineering, chemistry, medicine and biology", December 16, 1946 // Atomic project of the USSR: Documents and materials: in 3 vols. / under the general editorship of L.D. Ryabev. V. II. Atomic bomb. 1945–1954 / Compiler G.A. Goncharov. Sarov: RFNC-VNIIEF Publ., 1999. Book 3. 640 p. (in Russ.)

32. Archives of RAS. F. 2. Op. 69. D. 122. (in Russ.)

33. RGANI. F. 5. Op. 17. D. 412. (in Russ.)

34. Russian State Archive of Economy (RGAE). F. 9480. Op. 1. D. 21. (in Russ.)

35. RGAE. F. 9480. Op. 1. D. 23. (in Russ.)

36. XX Congress of the CPSU and its historical reality. M.: Politizdat, 1991. 416 p. (in Russ.)

37. Bodrova E.V., Kalinov V.V. Technological backwardness as a factor in the collapse of the Soviet Union and a challenge for contemporary Russia. M: MAORI Publ., 2017. 514 p. (in Russ.)

38. Vavilov S.I. On the ways of development of Soviet science. Report on the meeting of scientific workers of the Lenin district of Moscow // *Vestnik AN SSSR* (Bulletin of the USSR Academy of Sciences). 1946. № 4. P. 3–12. (in Russ.)

39. Esakov V.D. Episodes from the history of the atomic project // *Priroda* (Nature). 2003. № 10. [Electronic resource] URL: [http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/10\\_03/ATOM.HTM](http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/10_03/ATOM.HTM) (date accessed: 17.09.2017). (in Russ.)

40. Pystina L.I. "Bourgeois specialists" in Siberia in the 1920s and early 1930s (socio-legal status and working conditions). Novosibirsk: Institute of Archeology and Ethnography Publ., 1999. 160 p. (in Russ.)

*Об авторе:*

*Калинов Вячеслав Викторович*, доктор исторических наук, доцент, заведующий кафедрой истории ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65, корп. 1).

*About the author:*

*Vyacheslav V. Kalinov*, D.Sc. (History), Associate Professor, Head of the Chair of History, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (65, building 1, Leninsky Prospect, Moscow, 119991, Russia).

---

Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС77-65315 от 12 апреля 2016 г.

Дата опубликования 30 января 2018 г.

Московский технологический университет  
119454, Москва, пр. Вернадского, 78.

*<http://rtj.mirea.ru>*