

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сигов А.С. Главный редактор журнала, академик РАН, профессор, д.ф.-м.н., президент РТУ МИРЭА

Кудж С.А. Профессор, д.т.н., ректор РТУ МИРЭА

Банис Ю.Й. Профессор, хабилированный доктор наук, проректор Вильнюсского университета, Литва

Боков А.А. Старший научный сотрудник, химический факультет и 4D LABS, Университет Саймона Фрейзера, Ванкувер, Британская Колумбия, Канада

Буслаева Т.М. Профессор, д.х.н., РТУ МИРЭА

Буш А.А. Профессор, д.т.н., директор Института материалов твердотельной электроники РТУ МИРЭА

Вахрушев С.Б. Профессор, д.ф.-м.н., зав. лабораторией нейтронных исследований Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, профессор кафедры Физической электроники СПбГПУ

Голованова Н.Б. Профессор, д.э.н., заместитель первого проректора РТУ МИРЭА

Гуляев Ю.В. Академик РАН, член Президиума РАН, профессор, д.ф.-м.н., научный руководитель Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Жуков Д.О. Профессор, д.т.н., зав. кафедрой интеллектуальных технологий и систем РТУ МИРЭА

Кимель А.В. Доцент, к.ф. - м.н., Университет Радбауд, г. Наймеген, Нидерланды

Козлов Г.В. Профессор, д.ф.-м.н., заместитель руководителя аппарата генерального директора АО «Концерн ВКО „Алмаз-Антей“»

Кондратенко В.С. Профессор, д.т.н., зав. кафедрой оптических и биотехнических систем и технологий РТУ МИРЭА

Крамаров С.О. Профессор, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Сургутского государственного университета

Мишина Е.Д. Профессор, д.ф.-м.н., зав. специализированной учебно-научной лабораторией фемтосекундной оптики для нанотехнологий РТУ МИРЭА

Пасечник С.В. Профессор, д.ф.-м.н., профессор кафедры оптических и биотехнических систем и технологий РТУ МИРЭА

Перно Ф. Профессор, проректор по научной работе, Центральная Школа г. Лилль, Франция

Романов М.П. Профессор, д.т.н., директор Института кибернетики РТУ МИРЭА

Савиных В.П. Член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, президент Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)

Скотт Дж. Профессор, член Лондонского Королевского общества, Университет Кембриджа, Великобритания

Соколов В.В. Профессор, д.ф.-м.н., советник по научной работе РТУ МИРЭА

Тимошенко А.В. Профессор, д.т.н., проректор по учебной работе РТУ МИРЭА

Фетисов Ю.К. Профессор, д.ф.-м.н., профессор кафедры нанoeлектроники РТУ МИРЭА

Харин Ю.С. Член-корреспондент НАН Беларуси, профессор, д.ф.-м.н., директор Научно-исследовательского института прикладных проблем математики и информатики Белорусского государственного университета, Беларусь

Цветков В.Я. Профессор, д.т.н., советник ректората РТУ МИРЭА

РЕДАКЦИЯ:

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

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

EDITORIAL BOARD

Alexander S. Sigov – Editor-in-Chief of the Journal, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Phys.-Math.), Professor, President of RTU MIREA

Stanislav A. Kudzh – Professor, D.Sc. (Eng.), Rector of RTU MIREA

Yuras Banis – Professor, Habilitated Doctor of Sciences, Vice-Rector of Vilnius University, Lithuania

Tatyana M. Buslaeva – Professor, D.Sc. (Chem.), RTU MIREA

Alexander A. Bush – Professor, D.Sc. (Eng.), Director of the Institute of Materials of Solid State Electronics, RTU MIREA

Sergey B. Vakhrushev – Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Head of the Laboratory of Neutron Research, A.F. Ioffe Physico-Technical Institute RAS, Professor of the Department of Physical Electronics of SPbSPU

Nataliya B. Golovanova – Professor, D.Sc. (Economics), Deputy First Vice-Rector of RTU MIREA

Yury V. Gulyaev – Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Supervisor of V.A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS

Dmitry O. Zhukov – Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Intelligent Technologies and Systems, RTU MIREA

Alexey V. Kimmel – Associate Professor, Ph.D. (Phys.-Math.), Radboud University, Nijmegen, Netherlands

Gennady V. Kozlov – Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Deputy Head of the Office of the General Director of JSC Concern “VKO Almaz-Antey”

Vladimir S. Kondratenko – Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Optical and Biotechnical Systems and Technologies, RTU MIREA

Sergey O. Kramarov – Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Surgut State University

Elena D. Mishina – Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Head of the Specialized Educational and Research Laboratory of Femtosecond Optics for Nanotechnologies, RTU MIREA

Sergey V. Pasechnik – Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Professor of the Department of Optical and Biotechnical Systems and Technologies, RTU MIREA

Philippe Pernod – Professor, Dean of Research, Ecole Centrale de Lille, France

Mikhail P. Romanov – Professor, D.Sc. (Eng.), Director of the Institute of Cybernetics, RTU MIREA

Viktor P. Savinykh – Member-Correspondent of the Russian Academy of Sciences, Professor, D.Sc. (Eng.), President of Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Twice Hero of the Soviet Union

James F. Scott – Professor, Fellow of the Royal Society of London, Cambridge University, UK

Viktor V. Sokolov – Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Adviser on Scientific Work of RTU MIREA

Andrey V. Timoshenko – Professor, D.Sc. (Eng.), Vice Rector for Academic Affairs of RTU MIREA

Yury K. Fetisov – Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Professor of the Department of Nanoelectronics, RTU MIREA

Yury S. Kharin – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, D.Sc. (Phys.-Math.), Director of the Research Institute of Applied Problems of Mathematics and Informatics of the Belarusian State University, Belarus

Viktor Y. Tsvetkov – Professor, D.Sc. (Eng.), Councilor of the Administration of RTU MIREA

EDITORIAL:

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

Address:

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ИНФОРМАТИКА. ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Дубов С.С., Месенгисер Я.Я.

Об электронной подписи и ее перспективах в цифровой экономике

5

МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Юрасов А.Н., Грановский Н.В.

Экваториальный эффект Керра и учет размерного фактора в
нанокомпозитах на примере CoFeB

15

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Бердников В.П.

Повышение эффективности процедуры построения сплайн-функций
Ляпунова для нелинейных нестационарных систем

25

Лебо И.Г., Симаков А.И.

Моделирование развития вихревых структур в сверхзвуковом
газовом потоке

45

МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ И ОБЩЕСТВА

Бодрова Е.В.

Академия наук в условиях распада СССР

55

Гриценко С.А., Чернова Н.И., Катахова Н.В.

Диалог культур России и Швеции в контексте формирования
мировоззрения студенческой молодежи

77

CONTENTS

INFORMATION SYSTEMS. INFORMATICS. PROBLEMS OF INFORMATION SECURITY

- Dubov S.S., Mesengiser Y.Y.*** 5
About electronic signature and its prospects in the digital economy

MICRO- AND NANOELECTRONICS. CONDENSED MATTER PHYSICS

- Yurasov A.N., Granovsky N.V.*** 15
Special aspects of the transverse Kerr effect with consideration of the size effect in nano-composites as exemplified by CoFeB

MATHEMATIC MODELING

- Berdnikov V.P.*** 25
Improving the efficiency of the procedure of Lyapunov spline-functions construction for nonlinear nonstationary systems

- Lebo I.G., Simakov A.I.*** 45
Modeling the evolution of whirl structures in a supersonic gas stream

PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF TECHNOLOGY AND SOCIETY

- Bodrova E.V.*** 55
Academy of sciences in the conditions of the decay of the USSR

- Gritsenko C.A., Chernova N.I., Katakova N.V.*** 77
Dialogue of cultures of Russia and Sweden in the context of formation of the world outlook of students

ОБ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСИ И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВАХ В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

**С.С. Дубов,
Я.Я. Месенгисер@**

*Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва 105064, Россия
@Автор для переписки, e-mail: Dubovss@gmail.com*

В условиях цифровой экономики, когда информация в цифровой форме является ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности, бумажные документы будут активно заменяться на электронные, а собственноручная подпись – на ее цифровые аналоги. Однако переход к данным в цифровом виде требует переработки и обновления существующих технологий и концепций. В статье описаны основные аспекты и некоторые особенности применения электронной подписи в Российской Федерации. 28 июля 2017 года Правительство Российской Федерации утвердило программу «Цифровая экономика Российской Федерации». В программе уделяется серьезное внимание вопросу создания доверенного контура, в рамках которого будет возможно производить обмен различными данными в цифровой форме, их хранение и обработку, а также обеспечение необходимого и достаточного уровня доверия к этим данным. В отличие от знакомого всем бумажного документа, для которого однозначно установить подлинность информации, заверенной собственноручной подписью автора, может специальная почерковедческая экспертиза, ответ на вопрос, как убедиться в подлинности информации в цифровой форме в электронном виде – не очевиден. Как определять автора – создателя информации? Каким образом следует присваивать информации уникальную метку автора? Необходимо иметь специальный инструмент, который позволит однозначно выполнить проверку и определить подлинность информации в электронной форме, определить создателя или создателей информации. Основным атрибутом обеспечения достаточного уровня доверия к данным в электронной форме является в настоящее время электронная подпись. В этом вопросе существуют свои тонкости, особенности и правила работы с данной технологией, которые необходимо знать для того, чтобы электронная подпись прочно вошла в нашу жизнь.

Ключевые слова: цифровая экономика, информационные системы, электронная подпись, виды электронных подписей, объектные идентификаторы электронных подписей.

ABOUT ELECTRONIC SIGNATURE AND ITS PROSPECTS IN THE DIGITAL ECONOMY

**S.S. Dubov,
Y.Y. Mesengiser@**

*Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow 105064, Russia
@Corresponding author e-mail: Dubovss@gmail.com*

On July 28, 2017, the Government of the Russian Federation approved the program "Digital Economy of the Russian Federation". In the conditions of digital economy, when information in digital form is a key factor in the production of all spheres of socioeconomic activity, paper documents will be actively replaced by electronic ones, and handwritten signature – by its digital counterparts. However, the transition to digital data requires the updating of existing technologies and concepts. Special attention in the program "Digital Economy of the Russian Federation" is given to the issue of creating a trusted circuit, within the framework of which it will be possible to exchange various data in digital form, store and process data, and provide the necessary and sufficient level of confidence in this data. Unlike a paper document signed by analog signatures, the authenticity of which can be verified by handwriting examination, the authentication of the document raises a number of questions. How is it possible to confirm the authenticity of information in digital (electronic) form? How to identify the information creator? How should the author's unique label be assigned to information? And so on. It is necessary to have some tool that uniquely confirms the authorship in electronic form. One of the fastest-growing areas and, to date, the main attribute of ensuring a sufficient level of trust in the data in electronic form is the electronic signature. However, there are subtleties, specific features and rules for working with this technology, which you need to know in order for the electronic signature to become more tightly integrated into our life. This article describes the main aspects and some features of using electronic signatures in the Russian Federation.

Keywords: digital economy, information systems, electronic signature, types of electronic signatures, OIDs.

Введение

В настоящее время мы все чаще используем различные виды электронных подписей в повседневной жизни: одни для совершения банковских операций, другие при входе в информационные системы, в том числе и государственные, третьи – при взаимодействии с операторами связи. Количество систем, использующих электронную подпись, велико, и оно продолжает активно расти [1, 2]. Интенсивное внедрение электронной подписи для обеспечения юридической значимости электронных документов породило термин «юридически значимый электронный документооборот». В принятой в 2017 г. программе «Цифровая экономика» указано [3], что данная тенденция сохранится. Ведь одной из основных целей, выделенных в этой программе, является переход на данные в цифровой форме во всех сферах социально-экономической деятельности: развитие сетей связи, создание доверенного контура, оказание услуг в электронном виде, переход на электронный документооборот. Отсюда следует, что электронная подпись имеет большие перспективы развития.

Однако согласно исследованию, проведенному по предложению Всемирного экономического форума для оценки готовности стран к цифровой экономике, Российская Федерация занимает 41-е место со значительным отрывом от десятки лидирующих стран, таких, как Сингапур, Финляндия, Швеция, Норвегия, Соединенные Штаты Америки, Нидерланды, Швейцария, Великобритания, Люксембург и Япония. Значительное отставание в развитии цифровой экономики от мировых лидеров объясняется пробелами нормативной базы, недостаточно благоприятной средой для ведения бизнеса и инноваций. Более того, хотя все большее число граждан Российской Федерации признает необходимость обладания цифровыми компетенциями, уровень использования персональных

компьютеров и информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в России все еще ниже, чем в Европе. Существует серьезный разрыв в цифровых навыках между отдельными группами населения. Поэтому одним из основных направлений, выделенных в данной программе, является создание условий для развития общества знаний и повышения степени информированности и цифровой грамотности граждан Российской Федерации [3]. В направлении «Кадры и образование» выделены следующие основные цели:

- создание ключевых условий для подготовки кадров цифровой экономики;
- совершенствование системы образования, которая должна обеспечивать цифровую экономику компетентными кадрами;
- рынок труда, который должен опираться на требования цифровой экономики;
- создание системы мотивации по освоению необходимых компетенций и участию кадров в развитии цифровой экономики России.

Для успешного внедрения электронной подписи во все сферы деятельности общества гражданам необходимо:

- понимать, что такое электронная подпись;
- различать виды электронных подписей;
- разбираться в том, какие документы нужно предоставить в удостоверяющий центр для изготовления ключа электронной подписи и сертификата ключа проверки электронной подписи;
- понимать, как ими пользоваться;
- разбираться в том, почему сертификаты ключей проверки электронных подписей покупаются для определенных целей;
- понимать условия и требования, при которых электронная подпись признается юридически значимой;
- владеть юридическими аспектами применения электронной подписи.

Классификация электронных подписей

В соответствии с ФЗ № 149 «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», электронный документ (далее ЭД) – документированная информация, представленная в электронной форме, то есть в виде, пригодном для восприятия человеком, с использованием электронных вычислительных машин, а также для передачи по информационно-телекоммуникационным сетям или обработки в информационных системах [4]. Однако под этим определением может пониматься и скан-копия аналогового документа, и электронный документ с его электронной подписью.

Основное назначение электронной подписи (далее ЭП) – подтверждение авторства и подлинности электронного документа, а, значит, и придания ему юридической силы. Электронная подпись может быть использована также для входа в различные системы.

Основным нормативно-правовым актом, регулирующим использование ЭП, является ФЗ № 63 «Об электронной подписи». Данный акт определяет основные понятия и устанавливает требования для признания электронного документа с электронной подписью аналогом документа с собственноручной подписью. В Федеральном законе дается определение электронной подписи: электронная подпись – информация в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации)

или иным образом связана с такой информацией и которая используется для определения лица, подписывающего информацию [5]. В цитируемом документе определены виды электронных подписей: простая, неквалифицированная и квалифицированная.

Простая ЭП (далее ПЭП) – электронная подпись, которая посредством использования кодов, паролей или иных средств подтверждает факт формирования электронной подписи определенным лицом [5]. Примером может служить использование одноразовых СМС-кодов. Для формирования таких кодов может быть использована хеш-цепочка – последовательность, каждый элемент которой является значением хеш-функции от предыдущего элемента. Одноразовые СМС-коды являются развитием карт переменных кодов. Основное назначение ПЭП – подтверждение намерения человека на выполнение той или иной операции. Для признания электронного документа с ПЭП аналогом бумажного документа с собственноручной подписью требуется регламент или соглашение об использовании ПЭП, в котором должны быть указаны:

- правила, по которым подписанта определяют по его простой электронной подписи;
- права и обязанности каждой из сторон.

Неквалифицированная электронная подпись (далее НЭП) – подпись, которая:

- 1) получена в результате криптографического преобразования информации с использованием ключа электронной подписи;
- 2) позволяет определить лицо, подписавшее электронный документ;
- 3) позволяет обнаружить факт внесения изменений в электронный документ после момента его подписания;
- 4) создается с использованием средств электронной подписи [5].

Ключевым отличием ПЭП и НЭП является получение подписи путем криптографического преобразования информации с использованием ключа электронной подписи. Происходит это так. У подписанта имеется пара «ключ ЭП – ключ проверки ЭП». Ключ проверки ЭП находится по ключу ЭП с помощью специальных криптографических алгоритмов, а восстановление ключа ЭП по ключу проверки ЭП является довольно трудным занятием. Ключ ЭП доступен только подписанту, а ключ проверки ЭП – всем заинтересованным сторонам:

1. Подписант находит значение хеш-функции от подписываемого ЭД.
2. Подписант зашифровывает полученное значение ключом ЭП.
3. Полученное зашифрованное значение хеш-функции от электронного документа является НЭП ЭД.

4. Подписант отправляет получателю НЭП вместе с ЭД.

Проверка НЭП происходит следующим образом:

1. Получатель использует ключ проверки ЭП для расшифровки зашифрованного значения хеш-суммы от ЭД.
2. Получатель находит значение хеш-функции от полученного ЭД.
3. Если расшифрованное значение хеш-функции совпадает с найденным, то документ признается подлинным.

Неквалифицированная электронная подпись применима для внутреннего и внешнего юридически значимого электронного документооборота при условии, что стороны заключили соглашение об использовании НЭП, в котором должны быть указаны:

- правила выработки ключей ЭП;
- порядок использования ключей и их хранение;
- правила, по которым подписанта определяют по его неквалифицированной электронной подписи;
- порядок признания неквалифицированной электронной подписи;
- права и обязанности сторон соглашения.

Квалифицированная электронная подпись (далее КЭП) – электронная подпись, которая соответствует всем признакам неквалифицированной электронной подписи и следующим дополнительным признакам:

- 1) ключ проверки электронной подписи указан в квалифицированном сертификате;
- 2) для создания и проверки электронной подписи используются средства электронной подписи, имеющие подтверждение соответствия требованиям, установленным в Федеральном законе [5].

Сертификат ключа проверки ЭП – документ в бумажном или электронном виде, в котором в соответствии с приказом ФСБ от 27.12.2011 г. № 795 «Об утверждении Требований к форме квалифицированного сертификата ключа проверки электронной подписи» [6] заполнены необходимые поля, позволяющие однозначно идентифицировать подписанта. Содержание полей определено в ФЗ № 63 и продублировано в приказе ФСБ № 795. Ключ ЭП хранится на специальном носителе. Самым распространенным видом носителя является токен – устройство, похожее на USB. На токене может храниться и сертификат ключа проверки ЭП.

Средства ЭП – криптографические средства, которые используются для реализации хотя бы одной из следующих функций: создание ЭП, проверка ЭП, создание ключа ЭП и ключа проверки ЭП. Требования к средствам ЭП определены в приказе ФСБ от 27.12.2011 г. № 796 «Об утверждении Требований к средствам электронной подписи и Требованиям к средствам удостоверяющего центра» [7]. В отличие от НЭП, документы с КЭП признаются юридически значимыми без каких-либо дополнительных соглашений или регламентов. Квалифицированный сертификат ключа проверки ЭП также может выдать только удостоверяющий центр, который прошел аккредитацию Минкомсвязи. Требования к квалифицированному удостоверяющему центру определены в ФЗ № 63.

Область применения КЭП довольно обширна. Это и использование КЭП в юридически значимом электронном документообороте, при отправке электронной отчетности в контролирующие органы, для оказания государственных услуг в электронном виде, для электронных торгов и т.п. Однако существуют требования, при несоблюдении которых электронная подпись не будет признана юридически значимой. При использовании ПЭП или НЭП такие требования устанавливаются в соглашении; в случае КЭП требования определены Федеральным законом № 63 «Об электронной подписи»:

- 1) квалифицированный сертификат создан и выдан аккредитованным удостоверяющим центром, аккредитация которого действительна на день выдачи указанного сертификата;
- 2) квалифицированный сертификат действителен на момент подписания электронного документа (при наличии достоверной информации о моменте подписания электронного документа) или на день проверки действительности указанного сертификата, если момент подписания электронного документа не определен;

3) имеется положительный результат проверки принадлежности владельцу квалифицированного сертификата квалифицированной электронной подписи, с помощью которой подписан электронный документ, и подтверждено отсутствие изменений, внесенных в этот документ после его подписания. При этом проверка осуществляется с использованием средств электронной подписи, имеющих подтверждение соответствия требованиям, установленным Федеральным законом № 63, и с использованием квалифицированного сертификата лица, подписавшего электронный документ;

4) квалифицированная электронная подпись используется с учетом ограничений, содержащихся в квалифицированном сертификате лица, подписывающего электронный документ (если такие ограничения установлены) [5]. Более того, при получении информации о нарушении конфиденциальности ключа электронной подписи требуется в течение не более чем одного рабочего дня со дня получения информации о таком нарушении уведомить удостоверяющий центр (УЦ), который выдал сертификат и ключ [5].

Таким образом, электронная подпись – результат определенного преобразования исходной информации, который логически связан с ней. Электронная подпись не используется для подписания электронного документа, а прикрепляется к нему. Поэтому приобрести электронную подпись нельзя. Можно приобрести пару «ключ ЭП – ключ проверки ЭП», хотя для удобства, чтобы не вводить потенциального клиента в замешательство, многие УЦ в своих предложениях указывают именно покупку ЭП, что неправильно.

Процесс изготовления квалифицированного сертификата ключа проверки ЭП и ключа ЭП состоит из нескольких этапов:

- 1) формирование необходимого пакета документов (заявление, доверенности, заверенные копии документов);
- 2) подача документов в УЦ;
- 3) оплата;
- 4) получение сертификата ключа проверки ЭП и ключа ЭП;
- 5) проверка работоспособности;
- 6) составление акта о приеме работ.

Объектные идентификаторы

Сегодня аккредитованные удостоверяющие центры выдают сертификаты и ключи электронной подписи по различным тарифам: тариф «Ключ директора», тариф «ЕГАИС ФСРАР», тариф «Торги Банкротов максимальный», тариф «Росреестр» и т.д. Каждый из тарифов предполагает использование электронной подписи в определенных системах, которые указаны на сайте продавца. Тариф «Росреестр» включает ЭП, которой можно пользоваться только при взаимодействии с Росреестром, а тариф «ЕГАИС ФСРАР» позволяет работать только с системой Росалкогольрегулирования. На рис. 1 приведена круговая диаграмма, отражающая долевое участие систем, в которых клиент может работать, приобретая сертификаты и ключи электронной подписи по тому или иному тарифу.

Очевидно, что приобретя сертификат и ключ ЭП по тарифу «Росреестр», невозможно будет их использование в других системах. Отечественная система сертификации не предлагает возможности самостоятельного формирования содержимого сертификата, отсутствует и эффективная система его изменения. Нельзя добавить полномочия в серти-

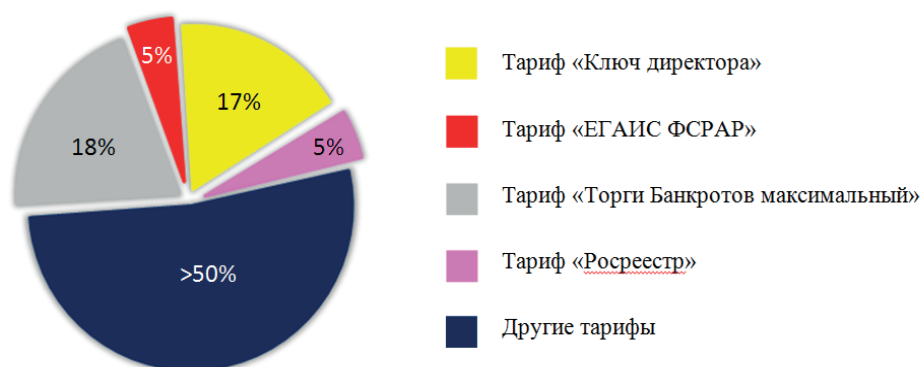


Рис. 1. Тарифы для приобретения сертификатов и ключей электронной подписи, доступные клиенту в РФ.

фигат. В настоящее время отсутствует механизм самостоятельного формирования списка площадок и порталов, на которых нужно работать; нет механизма оперативного изменения сертификата: можно его либо перевыпустить, либо купить новый. Хотя на рынке и присутствуют подписи, которые предназначены для многих систем, но стоят они значительно дороже. Поэтому часто у сотрудника имеется несколько подписей, в которых он порой путается. Более того, регулярно появляются новые системы, а, соответственно, и новые полномочия для работы в них. Может сложиться ситуация, при которой требуется работа в новой системе, а полномочий для работы с ней нет. Это обусловлено тем, что в сертификате ключа проверки ЭП УЦ, помимо сведений, которые позволяют однозначно идентифицировать владельца сертификата, указывают определенные коды – последовательности чисел, разделенных точками, которые можно найти в пункте «Сведения о сертификате».

Рассмотрим произвольный сертификат ключа проверки электронной подписи (рис. 2).

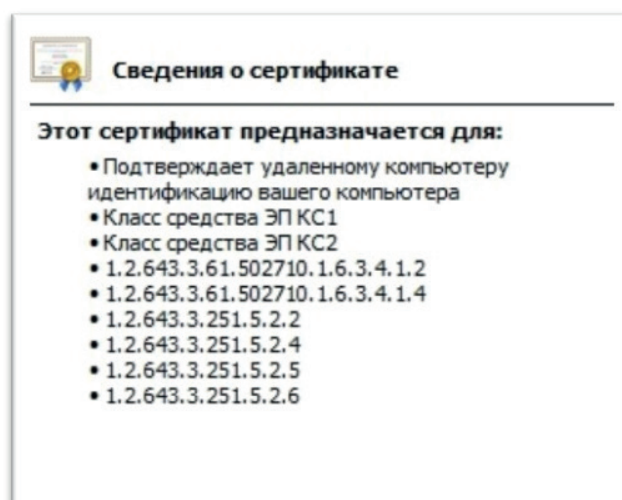


Рис. 2. Сведения о квалифицированном сертификате ключа проверки электронной подписи.

Приведенные в сертификате последовательности являются кодами и называются объектными идентификаторами (OID). Существует целое дерево таких идентификаторов с множеством ответвлений. Каждый идентификатор определяет уникальную функцию, полномочие, стандарт. Расположение корня и верхних дуг дерева регламентирует международный стандарт ISO 9834-1. В каждой стране существует уполномоченный орган по ведению данного дерева. В нашей стране таким органом является организация ОАО «ИнфоТеКС Интернет траст» [8]. Дерево объектных идентификаторов РФ опубликовано на сайте *oid.iitrust.ru*. Дерево, однако, не поможет при поиске отдельного идентификатора. В РФ нет нормативно-правового акта, который бы описывал правила ведения данного дерева, поэтому организации вправе не предоставлять компании ОАО «ИнфоТеКС Интернет траст» информацию об объектных идентификаторах, используемых в их системах. Поэтому дерево в РФ включает в себя только организации, которые получили свой идентификатор. Ознакомиться с идентификаторами, которые используются в определенной системе, можно либо на ее сайте, либо в приказе, который выпустила организация (к примеру, «Росреестр» [9]).

Все УЦ задают приобретающим КЭП вопросы: «Для чего Вам нужна электронная подпись? В каких системах Вы будете с ней работать?» На рынке присутствуют электронные подписи самых разных видов: для директора организации, для доверенных лиц, для работы с порталом закупок в качестве поставщика или закупщика и т.д. В зависимости от выбора «начинки» ЭП ее использование возможно только в этих системах. Полномочия записываются в сертификате в виде объектных идентификаторов.

Изначально права администратора системы выдаются директору организации, а он уже должен сделать администратором одного из сотрудников. Руководитель организации должен быть специально обучен работе с системами и распределением ролей между сотрудниками и работе по формированию электронных подписей. На текущий момент программное обеспечение (ПО), которое используется для формирования подписей и ее проверки, одного производителя может конфликтовать с ПО другого производителя. При формировании подписи или аутентификации в системе в окне выбора сертификата отображается их список с Ф.И.О. владельца сертификата и датами его действия. Руководитель может различать сертификаты только по дате их выпуска. Если же сертификаты выпущены в один день, то отличить их удастся, только перепробовав все варианты. Не все руководители организаций являются IT-специалистами, поэтому они передают или копируют свои сертификаты другим членам организации [10].

Заключение

Чтобы электронная подпись более прочно вошла в нашу жизнь, необходимо:

- совершенствовать нормативно-правовую базу;
- освещать тему электронной подписи в рамках основного учебного процесса образовательных учреждений среднего профессионального и высшего образования;
- формировать более гибкую и оперативную систему выдачи сертификатов и их замены;
- сделать возможным добавление объектных идентификаторов без процедуры перепродажи сертификата;
- создать сертификат с необходимыми объектными идентификаторами;
- усовершенствовать интерфейсы программ, которые позволяют осуществлять подпись, проверку подписи и их аутентификацию.

Литература:

1. Майоров А.А., Дубов С.С., Левина Н.И. Об архитектуре системы автоматизированного мониторинга реализации мероприятий схемы территориального планирования Российской Федерации в области высшего образования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 6. С. 111–115.
2. Дубов С.С., Левина Н.И. Методика мониторинга данных об организации летнего отдыха // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 10. С. 151–155.
3. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>
4. Федеральный закон № 149 «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» с поправками на 19.07.2018, статья 2, пункт 11.1. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901990051>
5. Федеральный закон № 63 «Об электронной подписи» с поправками на 23.06.2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902271495>
6. Приказ ФСБ № 795 от 27.12.2011 «Об утверждении Требований к форме квалифицированного сертификата ключа проверки электронной подписи». URL: <http://base.garant.ru/70133464/>
7. Приказ ФСБ № 796 от 27.12.2011 «Об утверждении Требований к средствам электронной подписи и Требованиям к средствам удостоверяющего центра». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70039150/>
8. Соглашение о регистрирующем уполномоченном органе в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 9834-1-2009 между Открытым акционерным обществом «ИнфоТеКС Интернет Траст» и Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. URL: https://oid.iitrust.ru/downloads/soglashenie_o_registrirushem_organe.pdf
9. Приказ Федеральной Службы Государственной Регистрации, Кадастра и Картографии от 14 января 2011 г. № П/1 «О требованиях к совместимости, сертификату ключа подписи, обеспечению возможности подтверждения подлинности электронно цифровой подписи при оказании Федеральной Службой Государственной Регистрации, Кадастра и Картографии государственных услуг в электронном виде». URL: https://rosreestr.ru/upload/Doc/prikaz_p_1.doc
10. Худкина Е.А., Долгова Т.Г. Проблемы использования электронно-цифровой подписи на электронных торгах // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. № 10. С. 397–398.

References:

1. Majorov A.A., Dubov S.S., Levina N.I. About the architecture of the automated monitoring system for the implementation of the activities of the territorial planning scheme of the Russian Federation in the field of higher education. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geodesiya i aerofotos'yemka* (Proceedings of the Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerophotosurveying). 2016; (6): 111-115. (in Russ.)
2. Dubov S.S., Levina N.I. Methods of monitoring data for the organization of summer holidays. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* (Proceedings of the Tula State University. Technical Sciences). 2017; (10): 151-155. (in Russ.)

3. The program “Digital Economy of the Russian Federation”. URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>. (in Russ.)
4. The Federal Law No. 149 “About Information, Information Technologies and Information Protection” as amended on 07/19/2018, Article 2, paragraph 11.11. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901990051>. (in Russ.)
5. The Federal Law No. 63 “About electronic signature” as amended on 06/23/2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902271495>. (in Russ.)
6. The Order of the FSS No. 795 “About approval of the Requirements to the form of the qualified certificate of the electronic signature verification key”. 12/27/2011. URL: <http://base.garant.ru/70133464/>. (in Russ.)
7. The Order of the FSS No. 796 “About approval of the Requirements for electronic signature tools, and tool requirements of the certification center”. 12/27/2011. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70039150/>. (in Russ.)
8. The agreement on the registering authorized body in accordance with the standard GOST R ISO/IEC 9834-1-2009 between the Company “InfoTech Internet Trust” and the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. URL: https://oid.iitrust.ru/downloads/soglashenie_o_registrirushem_organe.pdf. (in Russ.)
9. The Order of the Federal State Registration Service, Cadastre and Cartography No. П/1 “On compatibility requirements, certificate key certificate, ensuring the possibility of confirming the authenticity of digital signatures in the provision of state services by the Federal State Registration Service, Cadastre and Cartography in electronic form”. URL: rosreestr.ru/upload/Doc/prikaz_p_1.doc. (in Russ.)
10. Khudkina E.A., Dolgova T.G. The problems of using electronic digital signature in electronic trading. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavtiki* (Actual Problems of Aviation and Cosmonautics). 2014; (10): 397-398. (in Russ.)

Об авторах:

Дубов Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационно-измерительных систем ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», директор Центра отраслевых мониторинговых систем и информационной безопасности ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (105064, Россия, Москва, Гороховский пер., д. 4).

Месенгисер Якоб Якобович, студент кафедры информационно-измерительных систем ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», сотрудник Центра отраслевых мониторинговых систем и информационной безопасности ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (105064, Россия, Москва, Гороховский пер., д. 4).

About the authors:

Sergey S. Dubov, Ph.D. (Eng.), Associated Professor, Chair of Information-Measuring Systems, Director of the Center for Sectoral Monitoring Systems and Information Security, Moscow State University of Geodesy and Cartography (4, Gorokhovskiy per., Moscow 105064, Russia).

Yakob Y. Mesengiser, Student, Chair of Information-Measuring Systems, Employee of the Center for Sectoral Monitoring Systems and Information Security, Moscow State University of Geodesy and Cartography (4, Gorokhovskiy per., Moscow 105064, Russia).

Для цитирования: Дубов С.С., Месенгисер Я.Я. Об электронной подписи и ее перспективах в цифровой экономике // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 5. С. 5–14. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-5-14.

For citation: Dubov S.S., Mesengiser Y.Y. About electronic signature and its prospects in the digital economy. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(5): 5-14. (in Russ.). DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-5-14.

УДК 538.958

DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-15-24

ЭКВАТОРИАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ КЕРРА И УЧЕТ РАЗМЕРНОГО ФАКТОРА В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ПРИМЕРЕ CoFeB

**А.Н. Юрасов[@],
Н.В. Грановский**

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

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

С помощью экваториального эффекта Керра (ЭЭК) в работе проанализированы свойства нанокompозитов на примере CoFeB. В данном нанокompозите наблюдаются аномальный эффект Холла и значительная магнитооптическая активность, что представляет фундаментальный и практический интерес. Рассмотрены возможности весьма широкого применения нанокompозита в различных областях: от медицины и химии до строительства и ракето- и самолетостроения. Описан способ получения нанокompозита CoFeB. По результатам эксперимента и в рамках теории эффективной среды и размерного эффекта объяснены особенности его магнитооптических спектров и структуры. Проведен поиск оптимальных значений параметров нанокompозита, как то: размер частиц, форм-фактор, угол падения света. Фиксируя все выбранные параметры, кроме одного изменяемого, удастся описать спектры экваториального эффекта Керра нанокompозита. Установлена важность учета размерного эффекта. Построены спектральные зависимости ЭЭК и наглядно показано изменение знака и величины эффекта в ближней ИК-области, обусловленное внутризонными переходами.

Ключевые слова: размерный эффект, нанокompозиты, экваториальный эффект, размерный эффект Керра, магнитооптические свойства.

SPECIAL ASPECTS OF THE TRANSVERSE KERR EFFECT WITH CONSIDERATION OF THE SIZE EFFECT IN NANO-COMPOSITES AS EXEMPLIFIED BY CoFeB

**A.N. Yurasov[@],
N.V. Granovsky**

MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

[@]Corresponding author e-mail: alexey_yurasov@mail.ru

The article deals with the analysis of the properties of nanocomposites as exemplified by CoFeB using the transverse Kerr effect (TKE). This nanocomposite has strong magnetic properties. It shows such effects as anomalous Hall effect and significant magneto-optical activity, which is of both fundamental and practical interest. In this article, in addition to calculating the optimal values in the modeling of nanocomposites, the possibility of their very wide application in a variety of fields is considered: from medicine and chemistry to the building industry, rocket engineering and aircraft construction. An important task is to study the structure of nanocomposites, which allows producing magneto-optical devices. The method of obtaining the CoFeB nanocomposite is described. The specific features of its magneto-optical spectra are explained in view of the results of the experiment in the framework of the effective medium theory and the size effect. Using the CoFeB nanocomposite this article allows explaining the value of the TKE, the spectra of which change their sign in the near IR region and, significantly, their shape. This behavior can be explained only by particle size distribution, i.e., size effect. The obtained results allow explaining experimental optical and magneto-optical spectra in nanocomposites, mainly, in the near and visible IR region. This article deals with the research on the optimal values of the parameters describing the nanocomposite. The following parameters of the nanocomposite were considered during the simulation: particle size, form-factor and light incidence angle. Fixing all the chosen parameters except the changeable one and carrying out corresponding calculations the author has succeeded in obtaining several different values describing the transverse Kerr effect influence on the nanocomposite. The importance of considering the size effect in the near IR region of the spectra is explained in the article. The description of the optical and magneto-optical spectra of the nanocomposite (CoFeB) is provided. Spectral dependences of the TKE were obtained, which allowed clearly demonstrating the change in signs and values of the effect in the near IR region. The size effect in the near IR region of the spectrum is associated with interband transitions.

Keywords: size effect, nanocomposites, transverse Kerr effect, magneto-optical properties.

Введение

Нанокompозиты – это перспективные многокомпонентные материалы с интересными магнитными, электрическими, оптическими, теплоизоляционными и механическими свойствами. Поэтому сфера применения нанокompозитов весьма широка: от медицины, химии, строительства до ракето- и самолетостроения. Так, аккумуляторы на основе кремний-углеродных нанокompозитов имеют отличные показатели: большую емкость и значительную силу тока. Теплоизоляционная плитка для многоразового корабля «Буран» сделана из нанокompозита на основе карбида кремния. В последнее время нанокompозиты широко применяются для выращивания костных имплантатов в стоматологии. Использование нанокompозитов в упаковке позволяет уменьшить количество и общую стоимость материала при одновременном повышении барьерных свойств упаковки. Весьма перспективно применение композитов на основе углеродных нанотрубок и нановолокон. Нанокompозиты прекрасно подходят для иммобилизации протеинов, вирусов и бактерий [1, 2].

Одним из наиболее интересных и важных разделов с точки зрения практического применения и исследования нанокompозитов является магнитооптика [1, 2]. Магнитооптика изучает явления, возникающие в результате взаимодействия оптического излучения с веществом, находящимся в магнитном поле. Наличие магнитного поля изменяет

дисперсионные кривые коэффициента поглощения и показателя преломления и приводит к появлению или изменению оптической анизотропии среды. Магнитооптические эффекты можно классифицировать различными способами, например, разделить их на эффекты, наблюдающиеся на проходящем через магнитный кристалл свете, и эффекты влияния на отраженный от кристалла свет. Известна классификация магнитооптических эффектов на продольные и поперечные по характеру распространения света относительно плоскости его падения [3–5].

Экваториальный эффект Керра (ЭЭК) заключается в изменении интенсивности и фазы отраженного от образца линейно-поляризованного света при перемагничивании образца в направлении, перпендикулярном плоскости падения света. Большим преимуществом экваториального эффекта Керра заключается в том, что на p -компоненте эффект линейно-поляризованного света определяется гироэлектрическими свойствами вещества, а на s -компоненте – гиромангнитными свойствами вещества. Это обстоятельство позволяет с помощью экваториального эффекта Керра определять недиагональные компоненты тензоров, а в практическом отношении «отсеять» шумы и наводки в экспериментальной установке [3–5]. Яркий пример использования магнитооптических эффектов – магнитооптическая запись информации. Магнитооптический диск – носитель информации, сочетающий свойства оптических и магнитных накопителей. Для чтения информации используется магнитная система, для записи – одновременно оптическая и магнитная.

В магнитных нанокompозитах ферромагнитные частицы, близкие к однодоменным, помещены в полупроводниковую или диэлектрическую матрицу. Магнитные нанокompозиты представляют большой практический интерес в связи с наличием в них туннельного магнитосопротивления и аномального эффекта Холла (АЭХ) [6, 7].

К наиболее перспективным с точки зрения магнитооптических свойств относятся следующие структуры: стекла, содержащие оксид свинца (флинты, кроны); плавленый кварц; ферромагнетики ($Y_3Fe_5O_{12}$, $CdFe_3O_{12}$); ортоферриты ($MnBi$, EuO , $CdTFe$); пленки феррит-гранатов $((Bi, Y, Gd)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$, $(Bi, Tm, Gd)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$).

Целью работы явилось моделирование и объяснение экспериментальных спектров ЭЭК, полученных для нанокompозита $(Co_{41}Fe_{39}B_{20})_x(SiO_2)_{100-x}$, который является типичным представителем перспективного класса наноматериалов.

Экспериментальная часть

Нанокompозит «аморфный ферромагнетик – диэлектрик» состава $(Co_{41}Fe_{39}B_{20})_x(SiO_2)_{100-x}$ получали в Воронежском государственном техническом университете методом ионно-лучевого напыления в атмосфере аргона [5]. Выбор столь сложного состав гранул $Co_{41}Fe_{39}B_{20}$ обусловлен устойчивостью аморфной структуры такого ферромагнетика при комнатной температуре. С целью изготовления образцов использовали вакуумную камеру с тремя источниками ионно-лучевого распыления. Для напыления брали сплавные или составные мишени: сплавную мишень $Co_{41}Fe_{39}B_{20}$ (кобальт чистотой 99.98%, карбонильное железо и бор) получали методом индукционной вакуумной плавки. Составная мишень представляла собой сплавную мишень с закрепленными на ее поверхности пластинами из монокристалла кварца/алюмооксида. Толщина полученных пленочных образцов составляла 0.15–6.5 мкм [5].

Важно отметить, что спектральные зависимости ЭЭК для послойно напыленных композитов $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$ отличаются не только от зависимости для *bulk*-композита, но и между собой. В разных условиях получения образцов формируются гранулы разных размеров. При непрерывном напылении образец находится при высокой температуре достаточно долгое время, и в нем успевают образоваться равновесные гранулы. Образование равновесных гранул может происходить практически в полном его объеме, а размер равновесных гранул определяется, в первую очередь, концентрацией ферромагнитной фазы. При последовательном напылении образование гранул возможно только внутри последнего, еще горячего напыляемого слоя. Таким образом, можно говорить, что средний размер гранул послойно напыленного композита не превышает толщины отдельных его слоев.

Состав полученных композитов контролировали электронно-зондовым рентгеноспектральным микроанализом. Измерение электрических и магниторезистивных свойств полученных образцов осуществляли двухзондовым потенциометрическим методом. На основе исследования концентрационной зависимости удельного электросопротивления определяли порог перколяции ($x_{\text{пер}}$), который составил $x_{\text{пер}} \approx 49\%$ для $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$. Исследование магнитосопротивления полученных материалов показало, что они обнаруживают эффект туннельного магнитосопротивления (ТМС) с ярко выраженным максимумом вблизи порога перколяции [5].

Экспериментальные исследования ЭЭК проводили на кафедре магнетизма МГУ им. М.В. Ломоносова на магнитооптической установке в диапазоне от 0.5 до 3.5 эВ при комнатной температуре динамическим методом [5]. Величина магнитного поля не превышала 2.5 кЭ. Угол падения света менялся от 40° до 85°. Источником излучения служила галогенная лампа TESLA.CHS-150 с излучением в диапазоне 0.5–4 эВ. Использовали призмный двойной монохроматор ДМР-4 и поляризатор Франка-Риттера. В качестве приемников излучения применяли: в ИК-области спектра (0.5–1.5 эВ) фотосопротивление PbS, а в видимой и ближней ИК-области – фотоэлектрический умножитель ФЭУ-106 (или ФЭУ-79). Величину ЭЭК рассчитывали по уравнению

$$\delta(\omega) = k[\Delta R(\omega)/R(\omega)],$$

где k – калибровочный коэффициент;

$\Delta R(\omega)$ – глубина модуляции;

$R(\omega)$ – постоянная составляющая.

Такой способ измерения практически исключает влияние нестабильности работы источника света и других приборов электронной части установки [см., например, 5].

Результаты моделирования экваториального эффекта Керра для нанокompозитов $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$

Для описания нанокompозитов и моделирования с учетом неоднородности их состава целесообразно применять методы эффективной среды [8, 9]. Согласно определению, частица, находящаяся в эффективной среде, не может быть обнаружена экспериментально, если использовать электромагнитное излучение ограниченного диапазона длин волн. Другими словами, поглощение частицы должно быть таким же, как если бы она была

заменена эффективной средой с диэлектрической проницаемостью, характеризующей эту среду в целом величиной ε . Это фундаментальное свойство эффективной среды. Оно показывает, что распространение волн заданного диапазона внутри такой среды происходит без изменения волнового фронта [8, 9].

Тензор диэлектрической проницаемости (ТДП) имеет вид:

$$\hat{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon & i\gamma & 0 \\ -i\gamma & \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon \end{pmatrix} \quad (1)$$

Если объемная концентрация частиц мала, то можно воспользоваться приближением Максвелла–Гарнетта ($x < 0.3$), при средних значениях объемной концентрации – приближением Бруггемана ($0.3 < x < 0.7$) [8, 9].

В пределе малых размеров сферических частиц получаем формулу приближения $\varepsilon = \varepsilon^{EMA}$ [9]:

$$X \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon^{EMA})}{\varepsilon^{EMA} + (\varepsilon_1 - \varepsilon^{EMA})L_{xx}} + (1 - X) \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon^{EMA})}{\varepsilon^{EMA} + (\varepsilon_0 - \varepsilon^{EMA})L_{xx}} = 0 \quad (2)$$

где ε_1 – диэлектрическая проницаемость первой компоненты (в нашем случае металла);

ε_0 – диэлектрическая проницаемость второй компоненты (в нашем случае кварца);

ε^{EMA} – эффективная диэлектрическая проницаемость;

L_{xx} – форм-фактор частиц.

Используем формулу с учетом размерного эффекта (РЭ) в диагональных компонентах ТДП [7]:

$$\varepsilon_{\text{mod}} = \varepsilon + \frac{\omega^2}{p} \frac{1}{\omega(\omega + i/\tau_{\text{bulk}})} - \frac{\omega^2}{p} \frac{1}{\omega(\omega + i/\tau_{\text{part}})}, \quad (3)$$

здесь: ε – диэлектрическая проницаемость металла без учета РЭ;

ω – частота света;

ω_p – плазменная частота;

τ_{part} – время свободного пробега электронов в грануле;

τ_{bulk} – время свободного пробега электронов в массивном образце.

Для учета размерного эффекта в недиагональных компонентах ТДП возьмем формулу [10]:

$$\gamma_{\text{mod}} = \gamma + \frac{4\pi\sigma_{xy}^{\text{bulk}}(0)/\tau_{\text{bulk}}^2}{\omega(\omega + i/\tau_{\text{bulk}})^2} - \frac{4\pi\sigma_{xy}^{\text{gr}}(0)/\tau_{\text{part}}^2}{\omega(\omega + i/\tau_{\text{part}})^2}, \quad (4)$$

где $\sigma_{xy}^{\text{bulk}}(0) = 4\pi M_s R_{\text{bulk}} / \rho_{\text{bulk}}^2$;

$$\sigma_{xy}^{gr}(0) = 4\pi M_s R_{gr} / \rho_{gr}^2;$$

M_s – намагниченность насыщения;

R_{gr} – коэффициент АЭХ;

τ_{bulk} – время свободного пробега в массивном образце;

τ_{gr} – время свободного пробега в грануле;

ρ_{bulk} – удельное сопротивление массивного образца;

ρ_{gr} – удельное сопротивление гранулы.

Далее полученные результаты подставляем в формулы экваториального эффекта Керра на p -компоненте:

$$\delta_P = (A\gamma_1 + B\gamma_2) \frac{2\sin 2\varphi}{A^2 + B^2}, \quad (5)$$

где $\varepsilon = \varepsilon_1 - i\varepsilon_2$;

$$A = \varepsilon_2(2\varepsilon_1 \cos^2 \varphi - 1);$$

$$B = \cos^2 \varphi(\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2 + 1) + \varepsilon_1 - 1;$$

φ – угол падения света.

Рассмотрим теперь смоделированные спектры наноккомпозитов и сравним их с экспериментальными данными [5]. В ходе моделирования анализируется влияние таких параметров, как размер частицы, форм-фактор, угол падения.

На рис. 1 представлены спектры наноккомпозита $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$, рассчитанные по формуле (5), для разных размеров частицы r_0 с учетом размерного эффекта в диагональных компонентах ТДП. Видно, что основное отличие наблюдается в ближней ИК-области спектра, что обусловлено внутризонными переходами.

На рис. 2 приведены спектры ЭЭК в зависимости от угла падения света. На них видно, что варьирование параметра угла приводит к значительному изменению формы спектра, а также величины эффекта.

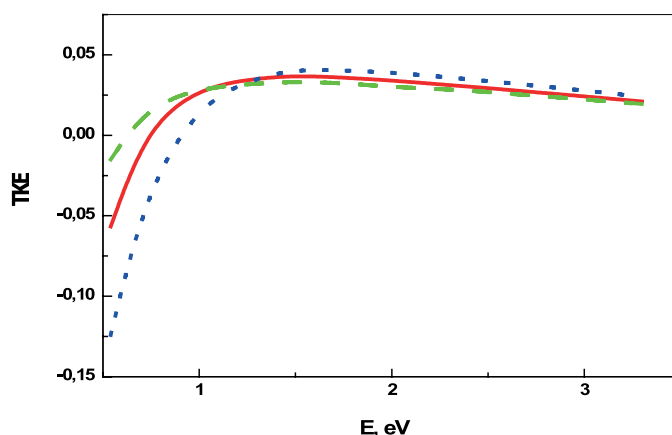


Рис. 1. Спектральная зависимость экваториального эффекта Керра (учет РЭ в диагональных компонентах ТДП): сплошная линия – $r_0 = 2$ нм; пунктир – $r_0 = 2.5$ нм; точки – $r_0 = 1.5$ нм.

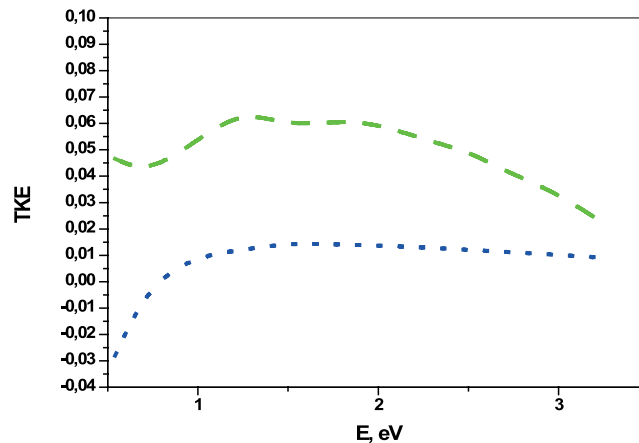


Рис. 2. Спектральная зависимость экваториального эффекта Керра при изменении угла падения света φ : пунктир – для $\varphi = 40^\circ$; точки – для $\varphi = 80^\circ$.

Как видно из рис. 3, на котором приведен спектр зависимости ЭЭК с учетом полного размерного эффекта (уравнения 4, 5), РЭ меняет величину, форму и даже знак ЭЭК в ближней ИК-области спектра, что также, по нашему мнению, связано с внутризонными оптическими переходами.

В случае изменения форм-фактора вид спектральных кривых меняется незначительно (рис. 4).

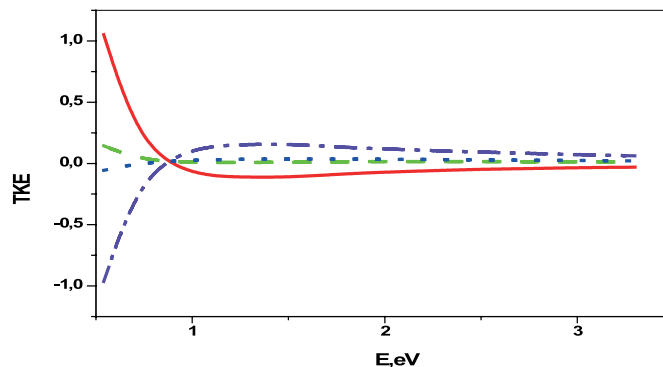


Рис. 3. Спектральная зависимость экваториального эффекта Керра при учете полного размерного эффекта: сплошная линия – параметр $\beta = R_{gr}/R_s = -10$; пунктир – для $\beta = -1$; точки – для $\beta = 1$; штрих-пунктир – для $\beta = 10$.

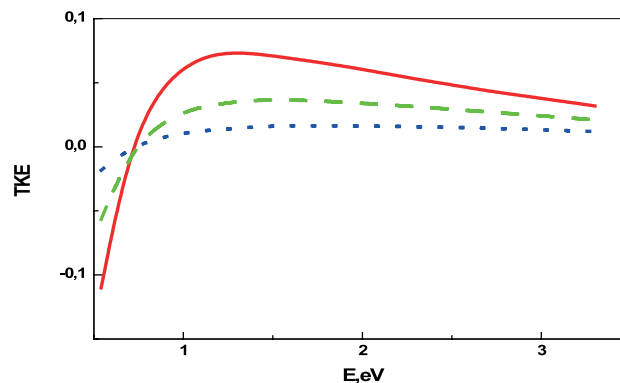


Рис. 4. Спектральная зависимость экваториального эффекта Керра при изменении форм-фактора L_{xx} : сплошная линия – для $L_{xx} = 0.4$; пунктир – для $L_{xx} = 0.33$ (сферические частицы); точки – для $L_{xx} = 0.2$.

Сопоставление оптимальных параметров, полученных в ходе моделирования (размер частицы $r_0 = 1.75$ нм, угол падения света $\varphi = 85^\circ$, значение параметра размерного эффекта $\beta = R_{gr}/R_s = -2.55$ и форм-фактор $L_{xx} = 0.23$), и экспериментальных значений для ЭЭК в видимом диапазоне и ближней ИК-области (рис. 5) позволяет утверждать, что средний размер гранул соответствует толщине отдельных его слоев, что хорошо согласуется с экспериментом [5].

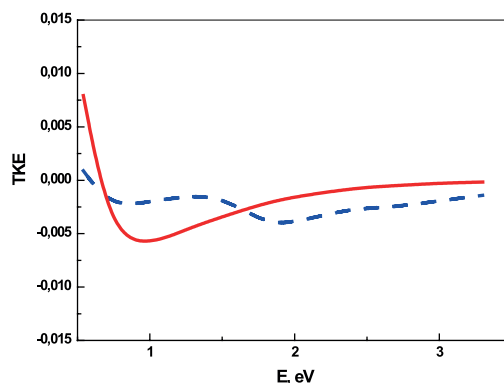


Рис. 5. Спектральные зависимости экваториального эффекта Керра:

сплошная линия – теоретический спектр; пунктирная линия – экспериментальный спектр.

Отметим, что для более детального описания экспериментальных данных следует учитывать зависимость оптических и магнитооптических эффектов от распределения по размерам частиц среды.

Заключение

В статье исследованы спектры экваториального эффекта Керра на примере нанокompозита $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_{\text{x}}(\text{SiO}_2)_{100-\text{x}}$ с учетом размерного эффекта. Показано, что в ближней ИК-области ЭЭК может изменять знак, форму и свою величину, особенно в зависимости от размеров частиц нанокompозита. В ходе моделирования путем варьирования основных параметров, таких, как размер частицы, форм-фактор, угол падения света, получены оптимальные значения величин для описания экспериментальных зависимостей ЭЭК. Показано, что именно размерный эффект оказывает существенное влияние на оптические и магнитооптические свойства нанокompозита. Доказан значительный вклад размерного фактора в аномальный эффект Холла, что играет важную роль для магнитных наноструктур. Таким образом, учет размерного эффекта очень важен для описания оптических и магнитооптических спектров нанокompозитов, особенно в ближней ИК-области спектра.

Результаты работы могут найти применение для объяснения оптических и магнитооптических свойств широкого класса нанокompозитов.

Литература:

1. Ajayan P.M, Schadler L.S., Braun P.V. Nanocomposite science and technology. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003. 230 p. DOI: 10.1002/3527602127.ch11.
2. Ткачева В.Р. Нанокompозиты – будущее машиностроения // Техника. Технологии. Инженерия. 2016. № 1. С. 37–40.
3. Khan H.R., Granovsky A.B., Brouers F., Ganshina E., Clerc J.P., Kuzmichev M.

Magneto-optical spectra of ferromagnetic composites $\text{Co}_x\text{CuO}_{(1-x)}$ // J. Magn. Magn. Mater. 1998. V. 183. № 1-2. P. 127–131.

4. Ganshina E., Granovsky A., Gushin V., Kuzmichov M., Podrugina P., Kravetz A., Shipil E. Optical and magneto-optical spectra of magnetic granular alloys // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 1997. V. 241. № 1-2. P. 45–51.

5. Буравцова В.Е., Ганьшина Е.А., Дмитриев А.А., Иванова, О.С., Калинин Ю.Е., Ситников А.В. Магнитооптические свойства аморфных многослойных пленок // Известия РАН, серия физическая. 2009. Т. 73. № 9. С. 1374–1376.

6. Bozec D., Kravets V.G., Matthew A.D., Thompson S.M. Calculation of the magnetorefractive effect in giant magnetoresistive granular films // J. Appl. Phys. 2002. V. 91 (10). P. 8587–8589.

7. Юрасов А.Н. О распределении по размеру гранул в наноккомпозитах // Российский технологический журнал. 2016. Т. 4. № 1 (10). С. 25–27.

8. Niklasson G.A., Granqvist C.G. Optical properties and solar selectivity of coevaporated $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ composite films // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. P. 3382–3410.

9. Bruggeman D.A.G. Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen // Ann. Phys. (Leipzig). 1935. V. 24. P. 636–679.

10. Юрасов А.Н., Яшин М.М. Теория эффективной среды, как инструмент анализа оптических свойств наноккомпозитов // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 2. С. 56–66.

11. Telegin A.V., Sukhorukov Yu.P., Loshkareva N.N., Mostovshchikova E.V., Bebenin, E.A., Gan'shina N.G., Granovsky A.B. Giant magnetotransmission and magnetoreflexion in ferromagnetic materials // J. Magn. Magn. Mater. 2015. V. 383. P. 104–109.

12. Сухоруков Ю.П., Телегин А.В., Грановский А.В., Ганьшина Е.А., Жуков А., Гонзалес Х., Херранз Г., Кайседо Х.М., Юрасов А.Н., Бессонов В.Д., Кауль А.Р., Горбенко О.Ю., Корсаков И.Е. Магниторефрактивный эффект в манганитах с колоссальным магнитосопротивлением в видимой области спектра // Журнал эксперим. и теор. физики. 2012. Т. 141. № 1. С. 160–168.

References:

1. Ajayan P.M., Schadler L.S., Braun P.V. Nanocomposite science and technology. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003. 230 p. DOI: 10.1002/3527602127.ch11.

2. Tkacheva V.R. Nanocomposites – the future of machine building. *Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya* (Technique. Technologies. Engineering). 2016; (1): 37-40. (in Russ.)

3. Khan H.R., Granovsky A.B., Brouers F., Ganshina E., Clerc J.P., Kuzmichev M. Magneto-optical spectra of ferromagnetic composites $\text{Co}_x\text{CuO}_{(1-x)}$. *J. Magn. Magn. Mater.* 1998; 183(1-2): P. 127-131.

4. Ganshina E., Granovsky A., Gushin V., Kuzmichov M., Podrugina P., Kravetz A., Shipil E. Optical and magneto-optical spectra of magnetic granular alloys. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 1997; 241(1-2): 45-51.

5. Buravtsova V.E., Ganshina E.A., Dmitriev A.A., Ivanova O.S., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V. Magneto-optical properties of amorphous multilayer films. *Izvestiya RAN, seriya fizicheskaya* (Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics). 2009; 73(9): 1374-1376. (in Russ.)

6. Bozec D., Kravets V.G., Matthew A.D., Thompson S.M. Calculation of the magnetorefractive effect in giant magnetoresistive granular films. *J. Appl. Phys.* 2002; 91(10): 8587-8589.
7. Yurasov A.N. About distribution on the granule size in nanocomposites. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal* (Russian Technological Journal). 2016; 4(1): 25-27. (in Russ.)
8. Niklasson G.A., Granqvist C.G. Optical properties and solar selectivity of coevaporated Co-Al₂O₃ composite films. *J. Appl. Phys.* 1984; 55: 3382-3410.
9. Bruggeman D.A.G. Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen. *Ann. Phys. (Leipzig)*. 1935; 24: 636-679.
10. Yurasov A.N., Yashin M.M. The effective medium theory as a tool for analyzing the optical properties of nanocomposites. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(2): 56-66. (in Russ.)
11. Telegin A.V., Sukhorukov Yu.P., Loshkareva N.N., Mostovshchikova E.V., Bebenin, E.A. Gan'shina N.G., Granovsky A.B. Giant magnetotransmission and magnetoreflexion in ferromagnetic materials. *J. Magn. Magn. Mater.* 2015; 383: 104-109.
12. Sukhorukov Yu.P., Telegin A.V., Granovsky A.V., Ganshina E.A., Zhukov A., Gonzales H., Herranz G., Kaicedo H.M., Yurasov A.N., Bessonov V.D., Kaul A.R., Gorbenko O.Yu., Korsakov I.E. Magnetorefractive effect in manganites with colossal magnetoresistance in the visible spectral region. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. 2012; 141(1): 141-149.

Об авторах:

Юрасов Алексей Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры нанoeлектроники Физико-технологического института ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Грановский Никита Вадимович, аспирант кафедры нанoeлектроники Физико-технологического института ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

About the authors:

Alexey N. Yurasov, D.Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Professor of the Chair of Nanoelectronics, Physico-Technological Institute, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia).

Nikita V. Granovsky, Postgraduate Student of the Chair of Nanoelectronics, Physico-Technological Institute, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia).

Для цитирования: Юрасов А.Н., Грановский Н.В. Экваториальный эффект Керра и учет размерного фактора в нанокompозитах на примере CoFeB // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 5. С. 15–24. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-15-24.

For citation: Yurasov A.N., Granovsky N.V. Special aspects of the transverse Kerr effect with consideration of the dimensional effect in nanocomposites as exemplified by CoFeB. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(5): 15-24. (in Russ.). DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-15-24.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ПОСТРОЕНИЯ СПЛАЙН-ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ

В.П. Бердников

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

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

В статье предлагается численный алгоритм построения функций Ляпунова для исследования абсолютной устойчивости нелинейных нестационарных систем. В случае асимптотической устойчивости выполнение алгоритма приведет к построению множества уровня функции Ляпунова в виде гладкой замкнутой поверхности размерности, равной размерности исходной системы. Для построения гладкого множества уровня функции Ляпунова разработан новый тип поверхности, что позволило свести задачу построения поверхности уровня к серии простых оптимизационных задач. Это гарантирует сходимость алгоритма. В отличие от алгоритма построения кусочно-линейных функций Ляпунова предлагаемый алгоритм обеспечивает возможность проведения анализа систем, находящихся вблизи границы устойчивости, за приемлемое время. Показана связь данного алгоритма и методов, основанных на частотных критериях и квадратичных функциях Ляпунова. Продемонстрировано значительное улучшение точности оценок границы устойчивости по сравнению с классическими методами. Выданы рекомендации по выбору начальных условий, обеспечивающие достижения баланса между точностью и скоростью работы алгоритма.

Ключевые слова: дифференциальные включения, нелинейные нестационарные системы, абсолютная устойчивость, функции Ляпунова, области устойчивости, Безье-сплайны, полиномы Бернштейна.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PROCEDURE OF LYAPUNOV SPLINE-FUNCTIONS CONSTRUCTION FOR NONLINEAR NONSTATIONARY SYSTEMS

V.P. Berdnikov

MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

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

The paper proposes a numerical algorithm for constructing Lyapunov functions for investigating the absolute stability of nonlinear nonstationary systems. In the case of asymptotic stability of the system, the implementation of the algorithm will lead to the construction of the Lyapunov function level set in the form of a smooth closed surface of dimension equal to the dimension of the original system. To construct a smooth level set of the Lyapunov function, a new type of surface has been developed. Thus, the task of constructing the level set was reduced to a series of simple optimization problems, which guarantees the convergence of the algorithm. Unlike the algorithm for constructing piecewise linear Lyapunov functions, this algorithm analyses systems located near the stability boundary in an acceptable time. The relationship of this algorithm and methods based on frequency criteria and quadratic Lyapunov functions is shown. A significant improvement in the accuracy of estimates of the stability boundary was demonstrated in comparison with the classical methods. To achieve a balance between the accuracy and speed of the algorithm, recommendations on the choice of initial conditions are given.

Keywords: differential inclusions, nonlinear nonstationary systems, absolute stability, Lyapunov functions, stability areas, Bezier splines, Bernstein polynomials.

Настоящая статья является логическим продолжением и развитием работ по созданию алгоритмов построения функций Ляпунова, определяющих необходимые и достаточные условия устойчивости систем с секторными нестационарными нелинейными элементами [1, 2], и опробование этих алгоритмов на практике. В статье [1] предложен алгоритм построения кусочно-линейных функций Ляпунова. В результате работы алгоритма происходит построение выпуклого многогранника, который является поверхностью уровня функции Ляпунова. В ходе численных экспериментов показано, что при приближении к границе устойчивости количество граней поверхности уровня неограниченно возрастает. Это совпадает с теоретическими выводами работ [3–5]. Таким образом, применение алгоритма, предложенного в [1], для построения полных областей устойчивости в пространстве параметров системы затруднено с практической точки зрения, так как требует чрезмерно большого времени расчета и вычислительных ресурсов.

Затем в [2] был разработан алгоритм построения кусочно-гладких поверхностей уровня, время работы которого в меньшей степени зависит от близости системы к границе устойчивости. С каждой гранью многогранника сопоставляется некоторая гладкая сплайн-поверхность Безье [6–8], благодаря чему замкнутые поверхности сложной формы удастся воспроизвести на основе многогранников с малым количеством граней. Так, в [2] приведен пример системы 3-го порядка, для которой граница устойчивости определяется с помощью сплайн-поверхности функции Ляпунова на основе многогранника всего с восемью гранями. Использование алгоритма из [1] дает существенно менее точную оценку границы устойчивости для того же примера, а количество граней многогранной поверхности уровня превышает несколько тысяч. Таким образом, задача построения функции Ляпунова сведена к задаче оптимизации параметров сплайн-поверхности и вершин многогранников [2]. Эта оптимизационная задача является нелинейной, ее основные ограничения – неравенства формулируются с помощью определителей матриц. Так как в большинстве эффективных и быстрых методов оптимизации требуется вычисление градиентов и гессианов целевого функционала и ограничений [9, 10], а вычисление

производных от определителя матрицы по параметру сопряжено с рядом трудностей, то алгоритм построения поверхности уровня может в некоторых случаях не сходиться к нужному результату.

В связи с вышеизложенным в настоящей работе предлагается несколько измененная по сравнению с [2] концепция построения поверхности уровня функции Ляпунова, благодаря которой удастся свести задачу определения устойчивости систем с секторными нестационарными нелинейными элементами к последовательности простых задач оптимизации. Такой подход значительно улучшает сходимость алгоритма построения поверхности уровня функции Ляпунова.

1. Постановка задачи

Рассмотрим систему управления, в структуре которой есть один или несколько нелинейных нестационарных элементов (см. также [2]). Уравнение такой системы можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Ax + \sum_{j=1}^m b^j \varphi_j(\sigma_j, t) \\ \sigma_j &= (c^j, x) = \sum_{i=1}^d c_i^j x_i, \quad \varphi_j(0, t) \equiv 0 \end{aligned} \quad (1)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$ – d -мерный вектор-столбец переменных состояния;

A – постоянная $(d \times d)$ матрица;

b^j и c^j ($j = 1, \dots, m$) – постоянные d -мерные вектор-столбцы;

m – число нестационарных нелинейных элементов;

$(\cdot, \cdot)$ – скалярное произведение векторов.

Предполагается, что нелинейные нестационарные элементы $\varphi_j(\sigma_j, t)$ удовлетворяют секторным ограничениям

$$\begin{aligned} \delta_j^1 \leq \frac{\varphi_j(\sigma_j, t)}{\sigma_j} \leq \delta_j^2 \\ (-\infty < \delta_j^1 \leq \delta_j^2 < \infty, \quad j = 1, \dots, m) \end{aligned}$$

при всех σ_j и t .

Ранее [3–5] было показано, что вопрос об устойчивости системы (1) можно свести к вопросу об устойчивости эквивалентного (эквивалентность понимается в смысле совпадения множеств решений при одинаковых начальных условиях) дифференциального включения

$$\frac{dx}{dt} \in F(x), \quad F(x) = \text{conv} \bigcup_{k=1}^N A_k x, \quad (2)$$

где $conv$ – выпуклая оболочка объединения точек (рис. 1);

$\bigcup_{k=1}^N$ – знак объединения;

A_k – квадратные матрицы размера $(d \times d)$.

Дифференциальные включения описывают класс объектов, в которых в каждый момент времени вектор направления движения в фазовом пространстве принадлежит множеству $F(x)$, определяемому правой частью дифференциального включения.

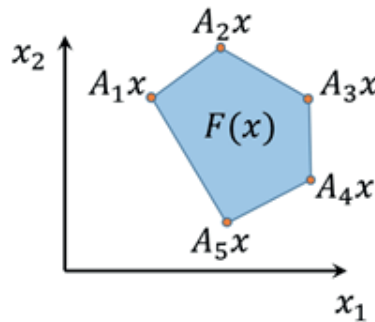


Рис. 1. Графическое представление правой части дифференциального включения (2).

Матрицы A_k для представления системы (1) в виде (2) формируются следующим образом:

$$A_k = A + \sum_{j=1}^m \lambda_j b^j (c^j)^T, \quad k = 1, \dots, 2^m, \quad (3)$$

где числа λ_j принимают значения δ_j^1 или δ_j^2 .

Таким образом, общее количество матриц A_k равно 2^m , что соответствует количеству всех возможных комбинаций чисел λ_j .

Из [3–5] следует, что для асимптотической устойчивости системы (2), а вместе с ней и соответствующей системы с нелинейными нестационарными элементами (1), необходимо существование строго выпуклой во всем пространстве $\mathbb{R}^d$ однородной функции $v(x)$ ($x \in \mathbb{R}^d, x \neq 0, v(0) = 0$), с отрицательно определенной производной в силу дифференциального включения $dv(x)/dt$. Если функция $v(x)$ гладкая, то производная функции Ляпунова в силу дифференциального включения вычисляется следующим образом:

$$\frac{dv(x)}{dt} = \max_{y \in F(x)} (grad v(x), y), \quad (4)$$

где $grad v(x)$ – градиент функции $v(x)$ в точке x .

В силу однородности функции Ляпунова и дифференциального включения (2) вместо построения функции Ляпунова целиком можно ограничиться построением только ее поверхности уровня, как это сделано в [1, 2]. Тогда $grad v(x)$ можно трактовать как нормаль к поверхности уровня, а x – как точку на поверхности уровня. В [2] поверхность уровня строилась на основе полиномов Бернштейна-Безье, т.е. поверхность была задана параметрически. Чтобы найти нормаль к поверхности, заданной параметрически в пространстве размерности d , первоначально необходимо найти $d-1$ касательных в точке x , а уже потом найти вектор, ортогональный к этим касательным. Построение ортогонального вектора можно выполнить с помощью вычисления определителя матрицы [11]:

$$\begin{pmatrix} \bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \cdots & \bar{e}_d \\ \tau_1^1 & \tau_1^2 & \cdots & \tau_1^d \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_{d-1}^1 & \tau_{d-1}^2 & \cdots & \tau_{d-1}^d \end{pmatrix},$$

где $\bar{e}_1 = (1, 0, \dots, 0)$, $\bar{e}_2 = (0, 1, \dots, 0)$, ..., $\bar{e}_d = (0, 0, \dots, 1)$ – d векторов ортонормированного базиса пространства, а $\tau_i = (\tau_i^1, \tau_i^2, \dots, \tau_i^d)$ – $d-1$ касательных в точке x . Поэтому в [2] для вычисления значения (4) используются определители.

Как отмечалось во введении, для реализации эффективных алгоритмов нелинейной оптимизации приходится вычислять градиенты и гессианы (вторые смешанные производные) от матриц, зависящих от параметра, что представляет определенную трудность. Так, если матрица T зависит от параметра s , то производная определителя этой матрицы по параметру будет иметь следующий вид [12]:

$$\frac{d}{ds} \det(T(s)) = \det(T(s)) \operatorname{tr}(T(s)^{-1} \frac{d}{ds} T(s)) = \operatorname{tr}(\operatorname{adj}(T(s)) \frac{d}{ds} T(s)),$$

здесь $\det$ – определитель матрицы;

tr – след матрицы;

adj – присоединенная матрица.

Видно, что производная определителя по параметру выражается либо через обратную матрицу, либо через присоединенную. В первом случае при $\det(T(s)) \approx 0$ вычисление $T(s)^{-1}$ дает неопределенный результат, а во втором – требуется вычисление d^2 алгебраических дополнений $T(s)$, что существенно снижает скорость процесса оптимизации.

В представленной нами работе рассматривается проблема разработки алгоритма, сводящего задачу построения функции Ляпунова к серии простых оптимизационных задач. При этом схема построения поверхности уровня функции Ляпунова для систем (1) и (2) состоит из следующих этапов:

- 1) построение произвольного выпуклого многогранника с непустой внутренностью в пространстве размерности d ;
- 2) сопоставление каждой гиперграни полученного многогранника специальной гладкой поверхности, благодаря чему обеспечивается непрерывная гладкая стыковка соседних граней;
- 3) определение параметров поверхности с целью достижения отрицательного значения (4) в каждой точке поверхности, если это возможно (т.е. если система (1), (2) устойчива), в ходе выполнения серии простых оптимизационных задач.

Ниже подробно описаны указанные этапы построения поверхности уровня функции Ляпунова. В ходе описания используются свойства и определения для многогранников, приведенные в работе [1], а также – для полиномов Бернштейна-Безье из работы [2].

2. Построение замкнутой поверхности

По аналогии с [2], на первом этапе строится выпуклый центрально-симметричный многогранник, для чего достаточно произвольным образом задать m точек p_i в пространстве размерности d ($m \geq d$), далее воспользоваться алгоритмом построения выпуклых

оболочек множества точек (см., например [1], [13]). В множество точек, на основе которого строится выпуклая оболочка, входят как p_i , так и $-p_i$. Чтобы у многогранника была непустая внутренность, необходимо иметь все точки не лежащими в одной $(d-1)$ -плоскости, проходящей через начало координат. На следующем этапе происходит формирование непрерывной замкнутой поверхности уровня. С каждой гипергранью f_r $((d-1)$ -симплекс) сопоставляется некоторая гладкая поверхность s_r (рис. 2)¹. Выше уже были отмечены трудности, возникающие при формировании оптимизационной задачи на основе таких поверхностей. Более того, при необходимости формирования полностью гладкой поверхности уровня в задачу оптимизации необходимо включать ограничения типа равенств, состоящих из определителей матриц, что также усложняет процесс оптимизации. Возможно использование других типов поверхностей (см., например, [6–8]), однако они имеют более сложную структуру, чем полиномы Бернштейна-Безье, что также негативно отразится на оптимизационном процессе.

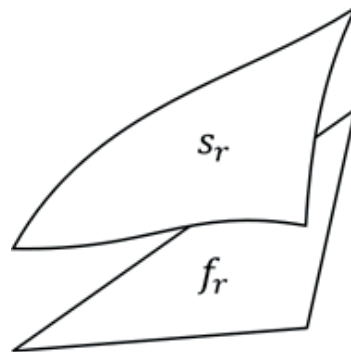


Рис. 2. Гипергрань f_r и соответствующая ей гладкая поверхность s_r в трехмерном пространстве.

Следовательно, становится очевидной необходимость разработки нового типа поверхностей в контексте решаемой задачи. Предлагаемая ниже идея позволяет решить сразу две задачи: упрощение процедуры оптимизации и разработка эффективного инструмента создания гладких замкнутых поверхностей. Последнее может иметь самостоятельный интерес и в других областях, например, в компьютерной графике. Дальнейшее изложение в данном разделе будет посвящено разработке нового типа поверхности, благодаря чему станет возможным упрощение оптимизационной процедуры из [2].

Суть идеи состоит в следующем: сначала задается уравнение нормали, а уже потом, на основе уравнения нормали, вычисляется сама поверхность. Очевидно, что для однозначности «порождаемой» таким способом поверхности на уравнения нормали должны быть наложены какие-то ограничения. Ниже дается общий вид уравнений нормали, ограничений и уравнений поверхности для произвольной размерности пространства.

Нами предлагается задавать уравнение нормали $n(u)$ в виде многомерных полиномов Бернштейна-Безье (Безье-сплайнов) порядка l :

$$n(u) = \sum_{|\lambda|=l} n_\lambda B_\lambda^l(u), \quad B_\lambda^l(u) = \frac{l!}{\lambda!} u^\lambda, \quad |\lambda| = \sum_{i=1}^d \lambda_i = l, \quad \lambda_i \geq 0, \quad (5)$$

$$\lambda! = \lambda_1! \cdot \lambda_2! \cdot \dots \cdot \lambda_d!, \quad u^\lambda = u_1^{\lambda_1} \cdot u_2^{\lambda_2} \cdot \dots \cdot u_d^{\lambda_d}$$

¹В [2] с этой целью используются многомерные многочлены Бернштейна-Безье [6].

где $\lambda_i \in \mathbb{Z}$, а n_λ – опорные нормали. Вектор $u = (u_1, u_2, \dots, u_d) \in \mathbb{R}^d$ представляет собой барицентрические координаты, которые удовлетворяют условиям

$$|u| = \sum_{i=1}^d u_i = 1, \quad u_i > 0. \quad (6)$$

Используя барицентрические координаты, получим уравнение гиперграницы:

$$p(u) = \sum_{i=1}^d p_i u_i. \quad (7)$$

Уравнение поверхности будем искать в следующем виде:

$$s(u) = p(u)h(u), \quad (8)$$

где $h(u)$ является неизвестной скалярной функцией. Далее $h_r(u)$ будем называть высотой гиперграницы f_r или просто высотой.

Таким образом, необходимо найти функцию $h(u)$ такую, чтобы заданная $n(u)$ являлась нормалью к поверхности $s(u)$. Это возможно только в том случае, когда касательная по любому направлению $\tau(u)$ к поверхности $s(u)$ ортогональна нормали $n(u)$ для всех u , откуда получаем основное уравнение для поиска $h(u)$:

$$(\tau(u), n(u)) = 0. \quad (9)$$

Первоначально рассмотрим ситуацию на плоскости, а позже обобщим результаты на произвольную размерность пространства. Для удобства вместо двух связанных соотношениями (6) барицентрических координат u_1, u_2 введем один независимый параметр t :

$$u_1 = 1 - t, \quad u_2 = t, \quad t \in [0, 1]$$

Тогда уравнение (7) запишется как:

$$p(t) = p_1(1 - t) + p_2 t.$$

При изменении параметра t от 0 до 1 точка p проходит по прямой от вершины p_1 до p_2 (рис. 3).

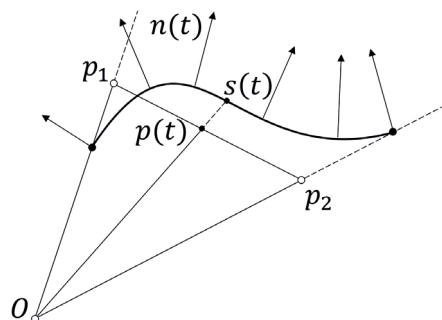


Рис. 3. Грань (отрезок $p(t)$) и соответствующая ей поверхность (кривая $s(t)$) в двумерном случае.

Тогда касательная $\tau(t)$ к кривой $s(t)$ определяется с помощью производной по параметру t :

$$\tau(t) = \frac{ds(t)}{dt} = \frac{dp(t)}{dt}h(t) + p(t)\frac{dh(t)}{dt}$$

Подставляя уравнение $\tau(t)$ в (9), получим следующие соотношения, где для большей наглядности зависимость величин от параметра t опущена:

$$\left(\frac{dp}{dt}, n\right)h + (p, n)\frac{dh}{dt} = 0,$$

$$\frac{dh}{dt} = -h \frac{\left(\frac{dp}{dt}, n\right)}{(p, n)}.$$

Очевидно, что последнее уравнение представляет собой линейное однородное дифференциальное уравнение первого порядка с переменным коэффициентом. Общее решение его дано ниже:

$$h(t) = C \exp \left(- \int \frac{\left(\frac{dp}{dt}, n\right)}{(p, n)} dt \right) \quad (10)$$

В формуле (10) C – константа интегрирования. Отсюда поиск неизвестной функции $h(t)$ свелся к вычислению определенного интеграла. Поскольку $p(t)$, $n(t)$ являются полиномами от t , то и скалярные произведения (p, n) , $(dp/dt, n)$ также являются полиномами от t , а значит, под знаком интеграла находится рациональная функция.

Чтобы проинтегрировать рациональную функцию, ее необходимо разложить на простейшие дроби, для чего придется вычислять корни знаменателя. Так как в ходе оптимизационного процесса поиска поверхности уровня функции Ляпунова параметры поверхности будут меняться, то корни знаменателя и последующее разложение на простейшие дроби придется вычислять на каждой итерации, что может оказаться чересчур затратным с точки зрения вычислений. Поэтому необходимо найти соотношения, при выполнении которых подынтегральная функция может быть преобразована к иному виду, что, в свою очередь, упростит вычисление интеграла.

Найдем производную от знаменателя по t :

$$\frac{d(p, n)}{dt} = \left(\frac{dp}{dt}, n\right) + \left(p, \frac{dn}{dt}\right).$$

Видно, что левое слагаемое уже содержится в числителе. Если при этом выполняется равенство

$$\left(p, \frac{dn}{dt}\right) = \alpha \left(\frac{dp}{dt}, n\right), \quad (11)$$

где α – некоторое действительное число, то

$$\left(\frac{dp}{dt}, n\right) = \frac{1}{(1+\alpha)} \frac{d(p, n)}{dt}.$$

Следовательно, интеграл в формуле (10) преобразуется к следующему виду:

$$\int \frac{\left(\frac{dp}{dt}, n\right)}{(p, n)} dt = \frac{1}{(1+\alpha)} \int \frac{d(p, n)}{(p, n)}.$$

Он является табличным и равен

$$\frac{1}{(1+\alpha)} \int \frac{d(p, n)}{(p, n)} = \frac{1}{(1+\alpha)} \ln|(p, n)|.$$

Подставив результат решения интеграла в (10), имеем:

$$h(t) = C \exp \left(- \int \frac{\left(\frac{dp}{dt}, n\right)}{(p, n)} dt \right) = C \exp \left(- \frac{1}{(1+\alpha)} \ln|(p, n)| \right) = C \frac{1}{(p, n)^{1/(1+\alpha)}}.$$

Последнее справедливо при выполнении следующего условия:

$$(p, n) > 0 \tag{12}$$

Полагая константу интегрирования $C = 1$, окончательно получаем уравнение поверхности

$$s(t) = p(t)h(t) = p(t) \frac{1}{(p(t), n(t))^{1/(1+\alpha)}},$$

которое справедливо, если выполняются условия (11) и (12).

Проверим полученный результат.

$$(\tau, n) = \left(\frac{ds}{dt}, n\right) = \left(\frac{dp}{dt} h, n\right) + \left(p \frac{dh}{dt}, n\right) = \left(\frac{dp}{dt}, n\right) \frac{1}{(p, n)^{1/(1+\alpha)}} - \frac{1}{(1+\alpha)} (p, n) (p, n)^{-1/(1+\alpha)-1} \frac{d(p, n)}{dt}$$

Учитывая (11), приходим к соотношению

$$\begin{aligned} & \left(\frac{dp}{dt}, n\right) \frac{1}{(p, n)^{1/(1+\alpha)}} - \frac{1}{(1+\alpha)} (p, n) (p, n)^{-1/(1+\alpha)-1} \frac{d(p, n)}{dt} = \\ & = \frac{1}{(1+\alpha)(p, n)^{1/(1+\alpha)}} \frac{d(p, n)}{dt} - \frac{1}{(1+\alpha)(p, n)^{1/(1+\alpha)}} \frac{d(p, n)}{dt} = 0 \end{aligned}$$

которое доказывает, что нормалью к полученной поверхности действительно является $n(t)$.

Распространим полученный результат на пространства произвольной размерности d . Поверхность, для которой $n(u)$ является нормалью, будем искать в виде

$$s(u) = p(u)h(u) = p(u) \frac{1}{(p(u), n(u))^{1/(1+\alpha)}}, \quad (13)$$

откуда сразу получаем условие:

$$(p(u), n(u)) > 0, \quad (14)$$

гарантирующее, что при возведении $(p(u), n(u))$ в степень $1/(1+\alpha)$ получится действительное число.

Отличие от двумерного случая заключается в том, что теперь в каждой точке поверхности проходит касательная $(d-1)$ -гиперплоскость. Данная гиперплоскость однозначно определяется $d-1$ линейно независимыми векторами, касательными к поверхности в данной точке. Так как барицентрические координаты не являются независимыми величинами, то для поиска касательной к поверхности, заданной с помощью барицентрических координат, необходимо использовать концепцию производных по направлению [6, 8].

Пусть ε_i барицентрические координаты d различных точек:

$$\varepsilon_1 = (1, 0, \dots, 0), \varepsilon_2 = (0, 1, \dots, 0), \dots, \varepsilon_d = (0, 0, \dots, 1)$$

С помощью данных координат зададим $d-1$ направлений σ_i :

$$\sigma_i = \varepsilon_{i+1} - \varepsilon_1.$$

Производная по направлению $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_d)$ функции от барицентрических $f(u)$ определяется в виде [6]:

$$D_\rho f(u) = \sum_{i=1}^d \frac{\partial f(u)}{\partial u^i} \rho^i.$$

Тогда касательные к поверхности $s(u)$ по направлению σ_i вычисляются по формуле

$$\tau_i(u) = D_{\sigma_i} s(u) = \frac{\partial s(u)}{\partial u^{i+1}} - \frac{\partial s(u)}{\partial u^1} = \left(\frac{\partial p(u)}{\partial u^{i+1}} - \frac{\partial p(u)}{\partial u^1} \right) h(u) + p(u) \left(\frac{\partial h(u)}{\partial u^{i+1}} - \frac{\partial h(u)}{\partial u^1} \right).$$

Соотношение (9), которое должно выполняться для касательной по любому направлению, здесь можно заменить на $d-1$ уравнений для касательных по направлениям σ_i :

$$(\tau_i(u), n(u)) = 0$$

Подставляя значение $h(u)$ и опуская запись аргументов, получим:

$$\begin{aligned}
(\tau_i, n) &= (p_{i+1} - p_1, n) \frac{1}{(p, n)^{l/(1+\alpha)}} - \frac{1}{(1+\alpha)} (p, n) \left((p, n)^{(-l/(1+\alpha)-1)} \frac{\partial (p, n)}{\partial u^{i+1}} - (p, n)^{(-l/(1+\alpha)-1)} \frac{\partial (p, n)}{\partial u^1} \right) = \\
&= (p_{i+1} - p_1, n) \frac{1}{(p, n)^{l/(1+\alpha)}} - \frac{1}{(1+\alpha)(p, n)^{l/(1+\alpha)}} \left((p_{i+1} - p_1, n) + (p, \frac{\partial n}{\partial u^{i+1}} - \frac{\partial n}{\partial u^1}) \right)
\end{aligned}$$

Из анализа формулы видно, что данное значение обращается в ноль, если выполняется равенство:

$$(p_{i+1} - p_1, n) - \frac{1}{(1+\alpha)} \left((p_{i+1} - p_1, n) + (p, \frac{\partial n}{\partial u^{i+1}} - \frac{\partial n}{\partial u^1}) \right) = 0,$$

или, после преобразований,

$$\left(p(u), \frac{\partial n(u)}{\partial u^{i+1}} - \frac{\partial n(u)}{\partial u^1} \right) = \alpha (p_{i+1} - p_1, n(u)), \quad i = 1, \dots, d-1. \quad (15)$$

Следовательно, при выполнении условий (15) Безье-сплайн $n(u)$ является нормалью к поверхности $s(u)$, заданной в виде (13). В уравнениях (15) слева и справа от знака «равно» находятся многомерные Безье-сплайны порядка l , где l – порядок Безье-сплайна $n(u)$. Хорошо известно [6, 8], что сплайны равны тогда, когда равны их опорные точки. Опорные точки сплайна, стоящего справа от знака «равно», обозначим c_λ^p , слева – c_λ^n . Приведенные ниже формулы позволяют вычислить опорные узлы сплайнов из (15):

$$\begin{aligned}
c_\lambda^p &= \alpha (p_{i+1} - p_1, n_\lambda), \quad c_\lambda^n = \sum_{j=1}^d \lambda^j (p_j, n_{\lambda-e_j+e_i} - n_{\lambda-e_j+e_1}), \\
\lambda &= (\lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^d), \quad e_1 = (1, 0, \dots, 0), \quad e_2 = (0, 1, \dots, 0), \quad e_d = (0, 0, \dots, 1), \quad |\lambda| = l, \quad i = 1, \dots, d-1.
\end{aligned}$$

Теперь соотношение (15) можно переписать в виде системы уравнений, связывающих напрямую опорные узлы сплайнов $p(u)$, $n(u)$, а не сами сплайны:

$$\sum_{j=1}^d \lambda^j (p_j, n_{\lambda-e_j+e_i} - n_{\lambda-e_j+e_1}) - \alpha (p_{i+1} - p_1, n_\lambda) = 0, \quad |\lambda| = l, \quad i = 1, \dots, d-1. \quad (16)$$

Неравенство (14) также можно переписать, используя только опорные узлы $p(u)$, $n(u)$:

$$\frac{1}{l+1} \sum_{j=1}^d \lambda^j (p_j, n_{\lambda-e_j}) > 0, \quad |\lambda| = l+1. \quad (17)$$

Наконец, рассмотрим вопросы непрерывности и гладкости поверхностей, построенных на основе многогранников. Если каждой гипергранице f_r многогранника отвечает поверхность s_r , то для непрерывной и гладкой стыковки двух соседних поверхностей $s_l(u)$ и $s_2(u)$ опорные нормали сплайнов $n_l(u)$ и $n_2(u)$ должны совпадать. Более того, если функция высоты гиперграницы f_r удовлетворяет соотношению $h_r(\varepsilon_i) = 1, i = 1, \dots, d$, то гладкая по-

верхность будет проходить через все вершины гиперграней. Если отказаться от требования гладкости, то для непрерывной стыковки s_1 и s_2 на общей подгранице соответствующие опорные точки Безье-сплайнов $(p_1(u), n_1(u))$ и $(p_2(u), n_2(u))$ должны совпадать. Однако в данной работе будут использоваться лишь полностью гладкие поверхности (рис. 4).

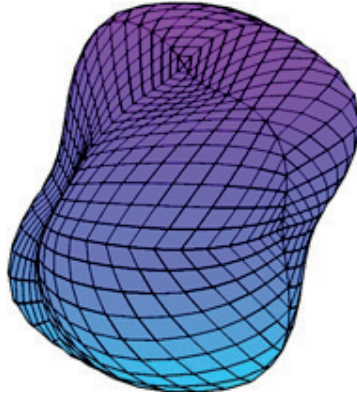


Рис. 4. Гладкая поверхность на основе многогранника с 8 гранями в трехмерном пространстве.

Таким образом, нами предложена новая концепция построения замкнутых гладких поверхностей на основе многогранников в пространстве произвольной размерности. Как видно из рис. 4, на основе многогранника с малым количеством граней можно получать поверхности сложной формы.

Теперь перейдем к описанию последнего этапа схемы построения поверхности уровня функции Ляпунова, предложенной в 1-ом разделе.

3. Формирование оптимизационной задачи

Устойчивость систем (1), (2) гарантирована, если значение (4) будет отрицательно в любой точке x поверхности уровня функции Ляпунова. В этом случае задача оптимизации заключается в поиске таких параметров поверхности, при которых это условие выполнено. Для поверхности, предложенной в предыдущем разделе, такими параметрами являются: вершины многогранника p_i , на основе которого строится поверхность, опорные нормали n_i каждой гиперграней многогранника, а также параметр α , участвующий в уравнениях (16). Тогда уравнение (4) можно записать в следующем виде:

$$\max_{y \in F(x)} (\text{grad } v(x), y) = \max_k (A_k s(u), n(u)) = \max_k (A_k p(u) h(u), n(u)). \quad (18)$$

Заметим, что при выполнении условий (17) значение $h(u)$ будет положительным и не повлияет на знак выражения (18). Учитывая этот факт, а также избавляясь от операции взятия максимума, запишем (18) в виде системы неравенств (19), которые должны соблюдаться при любом u :

$$(A_k p(u), n(u)) < 0, \quad k = 1, \dots, 2^m. \quad (19)$$

Итак, для определения устойчивости необходимо решить систему равенств и неравенств (16), (17), (19), что может быть сделано с использованием численных методов оптимизации [9, 10].

Однако при решении данной задачи возникает ряд трудностей:

во-первых, уравнения и неравенства (16), (17), (19) являются нелинейными, и, как следствие, процесс оптимизации может сходиться к недопустимому решению, даже когда существует допустимое;

во-вторых, неравенства (19) должны быть справедливы при любом u , т.е. задача относится к теории полубесконечной оптимизации (*англ. semi-infinite programming*) и требует особых решений, поэтому в [2] на каждой итерации основного процесса оптимизации предлагалось решать вспомогательную оптимизационную задачу поиска точки x на поверхности, где достигается максимальное значение для (4).

Очевидно, что для решения первой проблемы необходимо свести задачу оптимизации к наиболее простому виду, что позволит гарантировать ее однозначную разрешимость при любых начальных условиях. Обыкновенные поверхности Безье, использованные в [2], таким ресурсом не обладают, однако предлагаемые в настоящей работе поверхности вида (13) обеспечат возможность существенно упростить процесс оптимизации. Действительно, уравнения и неравенства (16), (17), (19) зависят от опорных нормалей n_λ линейно. Следовательно, при фиксированных вершинах многогранника p_i и параметре α , для решения (16), (17), (19) могут быть применены методы линейного программирования, например, методы внутренней точки [14].

Для непосредственного применения методов линейного программирования необходимо аппроксимировать (19) некоторой конечномерной системой неравенств. Например, для каждой поверхности $s_r(u)$, где r – номер гиперграницы, на основе которой построена поверхность, можно ввести сетку значений барицентрических координат u_μ по следующему принципу:

$$u_\mu = \frac{1}{l_u} \mu, \quad |\mu| = l_u.$$

При этом l_u является некоторым натуральным числом, и чем оно больше, тем плотнее сетка значений барицентрических координат. Схематично покрытие поверхности точками $s_r(u_\mu)$ для размерности $d = 3$ показано на рис. 5.

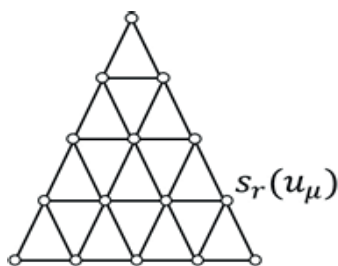


Рис. 5. Покрытие гиперграницы сеткой точек $s_r(u_\mu)$ в трехмерном пространстве.

Подставляя u_μ вместо u в (19), получим конечномерную систему неравенств, линейных относительно опорных нормалей n_λ , которую с учетом других линейных ограничений (16), (17) можно решить с помощью численных методов линейного программирования. Однако данный подход не гарантирует, что неравенство (19) для найденной поверхности уровня функции Ляпунова выполняется при любом u , что легко понять, проанализировав

рис. 6а, на котором проиллюстрирована аппроксимация сплайна (19) в двумерном случае. Из рис. 6а видно, что хотя неравенство (19) выполняется в узлах u_μ (черные точки), между узлами оно может нарушаться (красная точка). В то же время, если задачу не удастся решить даже для определенных u_μ , то ее точно нельзя будет решить для всех u . Отсюда следует, что предложенная схема приводит к необходимым условиям устойчивости (для заданных конфигураций многогранника и значения α), но не к достаточным. Повышение l_u способствует уплотнению сетки значений, а в пределе приведет к тому, что точки $s_r(u_\mu)$ будут покрывать всю поверхность s_r . Таким образом, при увеличении l_u возможно уточнение верхней оценки границы устойчивости системы, а в пределе условия перейдут в необходимые и достаточные (для данных конфигурации многогранника и значения α).

Рассмотрим, как можно получить нижнюю оценку границы устойчивости. По аналогии с (14) и (17), можно заметить, что (19) является сплайном Безье порядка $l+1$, где l – порядок сплайна $n(u)$. Значит, можно вычислить его опорные узлы, линейно зависящие от опорных нормалей n_k и неравенства (19) заменить на конечномерную систему неравенств для опорных узлов. Это возможно благодаря тому, что если все опорные узлы сплайна Безье отрицательны, то и весь сплайн Безье будет также отрицательным. Действительно, многочлены Бернштейна-Безье неотрицательны и не равны все одновременно нулю при любом u , следовательно, отрицательные опорные узлы, умноженные на многочлены Бернштейна-Безье, в сумме дадут отрицательное число. Таким образом, если для всех гиперграней f_r и для всех матриц A_k опорные узлы сплайнов $(A_k p_r(u), n_r(u))$ отрицательны, то система устойчива. Однако, если решение подобной оптимизационной задачи не найдено, то это еще не означает, что система (1), (2) неустойчива.

На рис. 6 изображена ситуация, когда два центральных опорных узла (белые точки) сплайна $(A_k p_r(u), n_r(u))$ больше нуля, но весь сплайн располагается ниже нуля. Поэтому данная схема приводит к достаточным условиям устойчивости (для заданных конфигураций многогранника и значения α). Хорошо известно [6, 8], что любой Безье-сплайн порядка l можно представить в виде сплайна Безье большего порядка $l_u > l$. Повышение l_u приведет к уплотнению сетки опорных узлов сплайна, а сами опорные узлы будут располагаться «ближе» к поверхности сплайна и в пределе покроют всю поверхность. Значит, увеличение l_u способствует уточнению нижней границы устойчивости, а в пределе условия устойчивости перейдут в необходимые и достаточные.

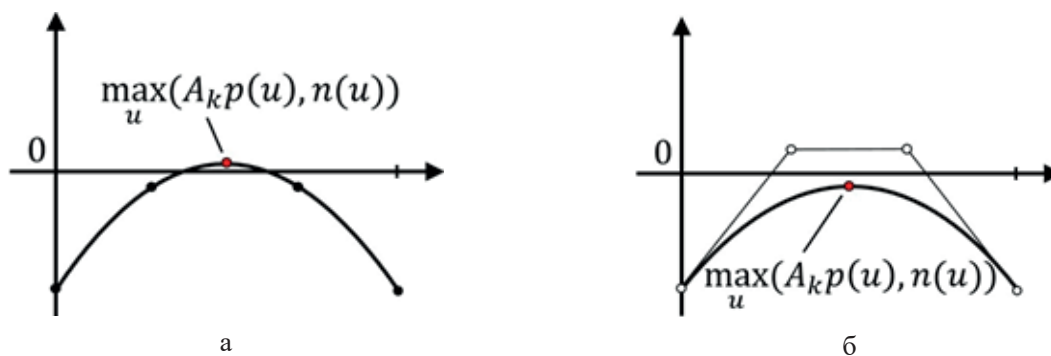


Рис. 6. Аппроксимация сплайна (19) в двумерном случае с помощью: а – сетки значений (черные точки) на сплайне; б – сетки опорных узлов (белые точки) сплайна.

Очевидно, что истинная граница устойчивости находится между верхней и нижней оценкой. Увеличение l_u приведет к сближению оценок, а сами оценки будут стремиться к некоторому значению, которое и станет истинной границей устойчивости. В то же время с ростом l_u растет и количество неравенств, и, как следствие, поиск поверхности уровня требует больших вычислительных ресурсов. На практике значение l_u приходится выбирать меньше 15 уже при размерности пространства $d = 4, 5$.

Стоит отметить, что в описанных выше случаях с ростом l_u в основном происходит добавление «неактивных» неравенств, т.е. тех неравенств, которые будут заведомо выполнены в точке решения. С целью уменьшения общего количества неравенств предлагается задачу поиска уровня функции Ляпунова представить в виде итерационного процесса, причем каждая итерация состоит из двух основных этапов:

- на первом этапе для каждой гиперграницы и для каждой матрицы A_k осуществляется поиск барицентрических координат u_{max} , для которых значение $(A_k p_r(u), n_r(u))$ максимально. Если значение $(A_k p_r(u_{max}), n_r(u_{max})) > 0$, то в множество $\mathcal{M}$ добавляется подмножество $\{r, k, u_{max}\}$, где r – номер гиперграницы.
- на втором этапе для каждого подмножества множества $\mathcal{M}$ формируется неравенство $(A_k p_r(u_{max}), n_r(u_{max})) < 0$. Полученная система линейных неравенств в совокупности с линейными ограничениями (16), (17) решается с помощью численных методов линейного программирования. На основе решения задачи линейного программирования обновляются опорные нормали n_λ каждой гиперграницы.

Если на первом этапе для всех u_{max} значение $(A_k p_r(u_{max}), n_r(u_{max}))$ отрицательно, то система устойчива, а построенная поверхность является поверхностью уровня функции Ляпунова. Если на втором этапе задачу линейного программирования решить не удастся, то при заданной конфигурации многогранника, выбранном параметре α и заданном порядке сплайна Безье $n(u)$ построить поверхность уровня функции Ляпунова невозможно. Повторение этой ситуации для достаточно большого порядка $n(u)$ свидетельствует о неустойчивости системы. Обе перечисленные выше ситуации являются критерием остановки итерационного процесса. Параметр α в данной работе предлагается брать равным единице.

Теперь можно перейти к описанию полного алгоритма построения сплайн-поверхности уровня функции Ляпунова для систем (1) и (2):

Шаг 1. По формуле (3) вычисляются матрицы A_k .

Шаг 2. На единичной сфере размерности d произвольным образом задаются m точек p_i ($m \geq d$). Точки p_i не должны все лежать в $(d-1)$ -плоскости, проходящей через начало координат.

Шаг 3. Строится выпуклая оболочка множества точек, в которое входят как p_i , так и $-p_i$, для чего, например, целесообразно использовать алгоритм *beneath-beyond*, описанный в [1, 13].

Шаг 4. Для каждой гиперграницы полученного центрально-симметричного многогранника вводятся опорные нормали n_λ из (5). Соответствующие опорные нормали n_λ на общем ребре двух смежных граней должны совпадать при дальнейшем изменении в ходе оптимизации. Параметр α принимается равным единице.

Шаг 5. С помощью численных методов нелинейной оптимизации [9, 10] решается задача поиска максимального значения $(A_k p_r(u), n_r(u))$. Если данное значение больше нуля,

то в множество $\mathcal{M}$ добавляется подмножество $\{r, k, u_{\max}\}$, где r – номер гиперграни, k – номер матрицы, $u_{\max}$ – значение барицентрических координат, при которых достигается максимальное значение. Если для всех гиперграней и для всех A_k максимальное значение $(A_k p_r(u), n_r(u))$ меньше нуля, то система устойчива, а построенная поверхность является поверхностью уровня функции Ляпунова; в противном случае осуществляется переход к шагу 6.

Шаг 6. Для каждого подмножества множества $\mathcal{M}$ формируется неравенство $(A_k p_r(u_{\max}), n_r(u_{\max})) < 0$. Полученная система линейных относительно n_λ неравенств вместе с линейными ограничениями (16), (17) решается с помощью методов линейного программирования. На основе решения задачи линейного программирования обновляются опорные нормали n_λ каждой грани. В случае успешного завершения оптимизационного процесса необходимо перейти к шагу 5. Если решение найти не удалось, то определить устойчивость при заданной структуре многогранника, параметре α и порядке сплайна $n(u)$ невозможно. Последнее при высоком порядке $n(u)$ свидетельствует о неустойчивости системы (1), (2).

Теперь можно перейти к оценке эффективности алгоритма на примере исследования конкретной системы.

4. Анализ работы алгоритма

В заключение проведем анализ влияния конфигурации исходного многогранника, а также порядка сплайна Безье $n(u)$ на работу алгоритма. В качестве критериев оценки работы алгоритма примем точность определения границы устойчивости и время расчета поверхности уровня. Для анализа воспользуемся результатами численных экспериментов по анализу устойчивости системы 3-го порядка из [1, 2].

В первую очередь определим степень влияния количества граней исходного многогранника на работу алгоритма. Зададим многогранники с различной конфигурацией: с 8 гранями (рис. 7а), с 32 гранями (рис. 7б) и с 72 гранями (рис. 7в).

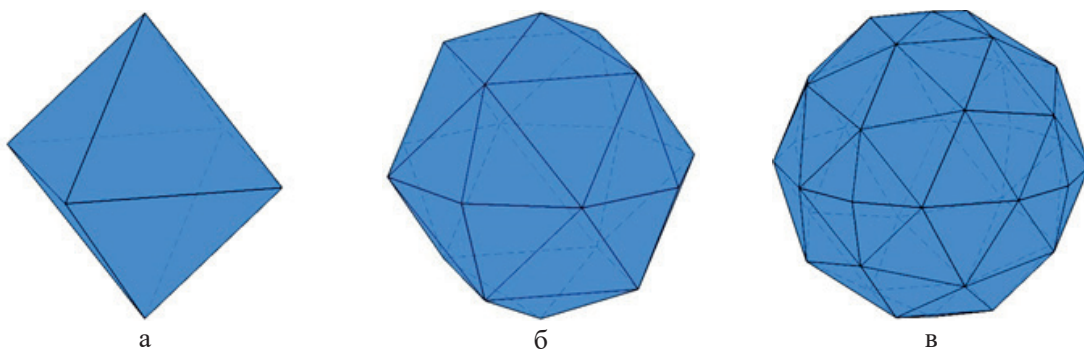


Рис. 7. Многогранники с различным количеством граней:
8 граней (а), 32 грани (б), 72 грани (в).

Определим граничный коэффициент системы δ_{sp} (под граничным понимается наибольший коэффициент, при котором метод дает положительное заключение об устойчивости) и время работы алгоритма t_a при различных конфигурациях многогранника и порядке l Безье-сплайна $n(u)$. Далее количество граней многогранника обозначим символом R , а порядок сплайна Безье $n(u) - l$. Результаты численных экспериментов сведены в таблицу.

Как и следовало ожидать, наиболее точную оценку границы устойчивости $\delta_{ep} = 4.19$ удастся получить при $R = 72$ и $l = 8$. Соответствующая поверхность уровня изображена на рис. 8в. Однако время расчета поверхности составляет 3136 с, что значительно усложняет использование поверхности с таким количеством граней и порядком сплайна $n(u)$ в задачах построения областей устойчивости на плоскости или в пространстве параметров системы. В то же время нужно заметить, что, начиная с $l = 5$, изменение граничного коэффициента δ_{ep} происходит только во втором знаке после запятой, при этом время расчета для $l = 5$ почти в пять раз меньше. Для $R = 8$, $l = 8$ значение граничного коэффициента на 4% меньше максимального и составляет $\delta_{ep} = 4.02$, а время работы алгоритма в 10 раз меньше, чем при $R = 72$, $l = 8$. Таким образом, границу устойчивости системы с менее, чем 5%-ной погрешностью можно определить даже с помощью поверхности, построенной на основе многогранника с малым количеством граней.

Значение граничного коэффициента и время работы алгоритма при различных конфигурациях многогранника

Количество граней многогранника	Порядок сплайна Безье $n(u)$	Граничный коэффициент	Время работы алгоритма, с
8	3	2.52	3
	4	2.86	19
	5	3.74	67
	6	3.85	114
	7	3.92	216
	8	4.02	314
32	3	2.52	14
	4	3.69	239
	5	4.02	188
	6	4.04	429
	7	4.13	520
	8	4.14	933
72	3	3.08	39
	4	3.99	275
	5	4.15	648
	6	4.16	863
	7	4.17	1643
	8	4.19	3136

Из анализа данных таблицы следует вывод, что граничные коэффициенты, рассчитанные для поверхностей $R = 8$, $l = 3$ и $R = 32$, $l = 3$, совпадают. Данный эффект является следствием совпадения построенных поверхностей уровня (рис. 8а,б). Оказывается, система уравнений (16) в этом случае разрешима только, если конструируемая поверхность является эллипсоидом. Вывод справедлив и для $l < 3$, и для других конфигураций многогранника. Так как поверхностью уровня положительно определенной квадратичной формы также является эллипсоид, то в любом случае оценки границы устойчивости системы, полученные на основе предлагаемого нами алгоритма, будут не хуже, чем у методов, основанных на построении квадратичной формы. То же самое касается некоторых частотных критериев, выполнение которых является достаточным (при определенных условиях необходимым

и достаточным) условием существования квадратичной функции Ляпунова [15]. Сравнивая рис. 8а, б и 8в, становится понятно, почему частотные критерии и квадратичные функции Ляпунова являются лишь достаточными условиями устойчивости: с помощью эллипсоидов просто невозможно воспроизвести ту сложную форму поверхности уровня функции Ляпунова, которой обладает система, находящаяся на границе устойчивости.

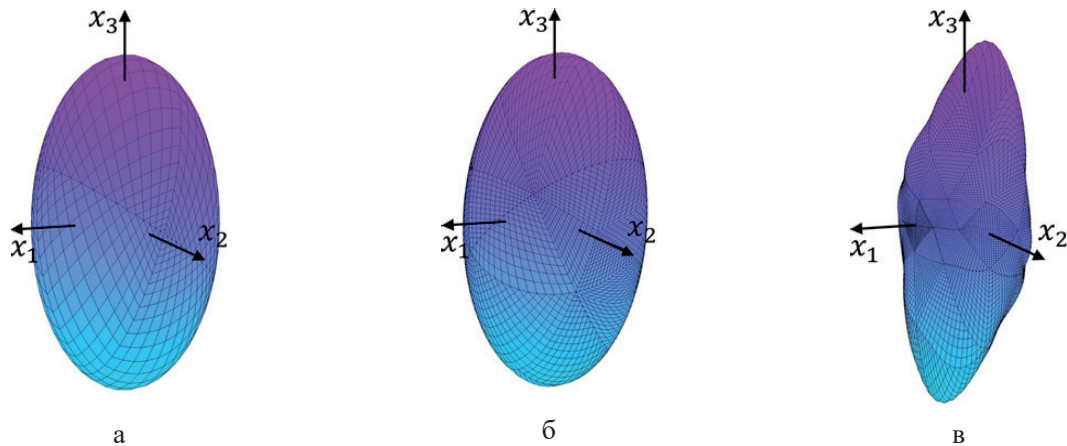


Рис. 8. Поверхность уровня функции Ляпунова в трехмерном пространстве:
а – $R = 8$, $l = 3$; б – $R = 32$, $l = 3$; в – $R = 72$, $l = 8$.

Суммируя все вышесказанное, можно дать следующие рекомендации по использованию предлагаемого алгоритма определения устойчивости:

- количество вершин p_i принять равным d ; в качестве вершин взять $p_i = e_i$, а в качестве многогранника – выпуклую оболочку множества точек $\{p_i, -p_i\}$;
- порядок сплайна Безье $n(u)$ принять равным $l > d$, рассчитать значение граничного коэффициента;
- постепенно увеличивать l до тех пор, пока значение δ_{sp} не замедлит свой рост; при достаточно большом l погрешность оценки границы устойчивости составит около 5%, при $l = 1$ оценка δ_{sp} эквивалентна оценке, получаемой с помощью кругового критерия и квадратичной функции Ляпунова;
- для уточнения оценки увеличить количество граней R многогранника;

Заключение

В работе предложена новая схема построения функций Ляпунова, определяющих необходимые и достаточные условия устойчивости нелинейных нестационарных систем. Главным ее преимуществом является разработка нового типа поверхности, на основе которого строится процедура поиска поверхности уровня функции Ляпунова. Она выгодно отличается от обычных сплайнов Безье тем, что вычисление нормалей к данной поверхности не требует применения определителей матриц, а условия гладкости выражаются в виде обычных линейных равенств относительно параметров поверхности. Это позволяет свести задачу поиска поверхности уровня к итерационной процедуре, основным этапом которой является решение системы линейных равенств и неравенств. Кроме того, в предложенной схеме реализуется возможность построения функций Ляпунова для систем, находящихся вблизи границы устойчивости, за приемлемое время. Алгоритм построения поверхности уровня отличается простотой и гарантирует сходимость при любом началь-

ном многограннике. Даны конкретные рекомендации по выбору параметров алгоритма для получения точных оценок границ устойчивости.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках проекта № 16-19-00052 «Синтез интеллектуальных регуляторов для систем управления мобильных объектов с высокой степенью управляемости».

Литература:

1. Бердников В.П. Алгоритм определения полных областей устойчивости нестационарных нелинейных систем // Российский технологический журнал. 2017. Т. 5. № 6. С. 55–72.
2. Бердников В.П. Модифицированный алгоритм определения полных областей устойчивости нестационарных нелинейных систем // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 3. С. 39–53.
3. Молчанов А.П., Пятницкий Е.С. Функции Ляпунова, определяющие необходимые и достаточные условия абсолютной устойчивости нелинейных нестационарных систем управления I // Автоматика и телемеханика. 1986. № 3. С. 63–73.
4. Молчанов А.П., Пятницкий Е.С. Функции Ляпунова, определяющие необходимые и достаточные условия абсолютной устойчивости нелинейных нестационарных систем управления II // Автоматика и телемеханика. 1986. № 4. С. 5–15.
5. Молчанов А.П., Пятницкий Е.С. Функции Ляпунова, определяющие необходимые и достаточные условия абсолютной устойчивости нелинейных нестационарных систем управления III // Автоматика и телемеханика. 1986. № 5. С. 38–49.
6. Farin G. Triangular Bernstein-Bezier patches // Computer Aided Geometric Design. 1986. V. 3. № 2. P. 83–127.
7. Prautzsch H., Boehm W., Paluszny M. Bezier and B-Spline Techniques. Berlin: Springer-Verlag, 2002. 304 p.
8. Farin G. Curves and surfaces for CAGD: A practical guide (5th Edition). San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001. 520 p.
9. Sun W., Yuan Y. Optimization theory and methods: Nonlinear programming. New York: Springer, 2010. 687 p.
10. Bonnans J., Gilbert J.C., Lemarechal C., Sagastizabal C.A. Numerical Optimization: Theoretical and Practical Aspects. Berlin: Springer, 2006. 490 p.
11. Moreira L.S. Geometric analogy and products of vectors in n dimensions // Advances in Linear Algebra & Matrix Theory. 2013. V. 3. № 1. P. 1–6.
12. Petersen K.B., Pedersen M.S. The matrix cookbook. Technical University of Denmark, 2012. 72 p.
13. Barber C.B., Dobkin D.P., Huhdanpaa H. The Quickhull algorithm for convex hulls // ACM Transactions on Mathematical Software. 1995. V. 22. Iss. 4. P. 469–483.
14. Roos C., Terlaky T., Vial J.-P. Interior point methods for linear optimization. Springer, 2006. 501 p.
15. Lipkovich M., Fradkov A. Equivalence of MIMO circle criterion to existence of quadratic Lyapunov function // IEEE Transactions on Automatic Control. 2016. V. 61. Iss. 7. P. 1895–1899.

References:

1. Berdnikov V.P. Algorithm of determination of non-stationary nonlinear systems full stability areas. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2017; 5(6): 55-72. (in Russ.)

2. Berdnikov V.P. Modified algorithm of determination of non-stationary nonlinear systems full stability areas. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(3): 39-53. (in Russ.)
3. Molchanov A.P., Pyatnitskiy E.S. Lyapunov functions that determine necessary and sufficient conditions for absolute stability of nonlinear time-varying control systems I. *Avtomatika i telemekhanika* (Automation and Remote Control). 1986; (3): 63-73. (in Russ.)
4. Molchanov A.P., Pyatnitskiy E.S. Lyapunov functions that determine necessary and sufficient conditions for absolute stability of nonlinear time-varying control systems II. *Avtomatika i telemekhanika* (Automation and Remote Control). 1986; (4): 5-15. (in Russ.)
5. Molchanov A.P., Pyatnitskiy E.S. Lyapunov functions that determine necessary and sufficient conditions for absolute stability of nonlinear time-varying control systems III. *Avtomatika i telemekhanika* (Automation and Remote Control). 1986; (5): 38-49. (in Russ.)
6. Farin G. Triangular Bernstein-Bezier patches. *Computer Aided Geometric Design*. 1986; 3(2): 83-127.
7. Prautzsch H., Boehm W., Paluszny M. *Bezier and B-Spline Techniques*. Berlin: Springer-Verlag, 2002. 304 p.
8. Farin G. *Curves and surfaces for CAGD: A practical guide* (5th Edition). San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001. 520 p.
9. Sun W., Yuan Y. *Optimization theory and methods: Nonlinear programming*. New York: Springer, 2010. 687 p.
10. Bonnans J., Gilbert J.C., Lemarechal C., Sagastizabal C.A. *Numerical Optimization: Theoretical and Practical Aspects*. Berlin: Springer, 2006. 490 p.
11. Moreira L.S. Geometric analogy and products of vectors in n dimensions. *Advances in Linear Algebra & Matrix Theory*. 2013; 3(1): 1-6.
12. Petersen K.B., Pedersen M.S. *The matrix cookbook*. Technical University of Denmark, 2012. 72 p.
13. Barber C.B., Dobkin D.P., Huhdanpaa H. The Quickhull algorithm for convex hulls. *ACM Transactions on Mathematical Software*. 1995; 22(4): 469-483.
14. Roos C., Terlaky T., Vial J.-P. *Interior point methods for linear optimization*. Springer, 2006. 501 p.
15. Lipkovich M., Fradkov A. Equivalence of MIMO circle criterion to existence of quadratic Lyapunov function. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2016; 61(7): 1895-1899.

Об авторе:

Бердников Василий Петрович, аспирант кафедры проблем управления Института кибернетики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

About the author:

Vasily P. Berdnikov, Postgraduate Student, Chair of Control Problems, Institute of Cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia).

Для цитирования: Бердников В.П. Повышение эффективности процедуры построения сплайн-функций Ляпунова для нелинейных нестационарных систем // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 5. С. 25–44. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-25-44.

For citation: Berdnikov V.P. Improving efficiency of the procedure of Lyapunov spline-functions construction for nonlinear nonstationary systems. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(5): 25-44. (in Russ.). DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-25-44.

УДК 004.9:539.17

DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-45-54

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В СВЕРХЗВУКОВОМ ГАЗОВОМ ПОТОКЕ

**И.Г. Лебо[@],
А.И. Симаков**

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: lebo@mirea.ru

Методами математического моделирования изучена эволюция вихревых структур, перемещающихся в газе за фронтом ударной волны. Сама ударная волна задается с помощью соотношений Гюгонио, которые позволяют определить параметры газа за фронтом ударной волны по заданному числу Маха и значениям газодинамических параметров перед скачком давления. Предложен параллельный алгоритм и модернизирована программа для решения двумерных уравнений газовой динамики. Выполнены численные расчеты, моделирующие взаимодействие ударной волны, как падающей, так и отраженной, с областью, занятой вихрями различной конфигурации (уединенный вихрь, два разнонаправленных вихря). Представлены результаты тестовых решений на параллельном суперкомпьютере с использованием различного числа процессоров. Показано, что при использовании 40 процессоров удается сократить время расчета примерно в 30 раз. Газодинамические параметры на момент времени $t=0$ заданы по закону Бернулли. Показано удовлетворительное совпадение результатов расчетов, моделирующих развитие сложных вихревых структур и выполненных по разным методикам. Рассмотрена возможность проведения натурных экспериментов на ударных трубах или с помощью лазерной ударной трубы. Подобные исследования позволили бы сравнить экспериментальные данные с результатами численных расчетов и на их основе развить более совершенные модели турбулентных движений.

Ключевые слова: численное моделирование, сверхзвуковые течения, вихри, TVD-разностные схемы.

MODELING THE EVOLUTION OF WHIRL STRUCTURES IN A SUPERSONIC GAS STREAM

**I.G. Lebo[@],
A.I. Simakov**

MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

[@]Corresponding author e-mail: lebo@mirea.ru

With the help of mathematical modeling methods we studied the evolution of whirl structures moving in a gas behind a shock wave front. This shock wave is defined by the Hugoniot relations. The Hugoniot relations allow finding the parameters of the gas behind the shock wave front, if the Mach number and gas parameters before the pressure jump are known.

We developed a parallel algorithm and a numerical code for solving 2D gas dynamics equations. We made numerical simulations that modeled the shock wave interaction with whirl structures of different configurations (single whirl, two whirls with different directions of their vectors). We demonstrated the results of test simulations in a supercomputer with a different number of processors. It was shown that using 40 processors allows decreasing the duration of a test simulation approximately by the factor of 30.

We described the results of the calculation of interaction of one/two whirls with the incident wave and the reflected waves. The gas dynamics parameters at the moment $t = 0$ were set with the help of Bernoulli law. Besides, we made a comparison with a similar program based on another algorithm (particle-in-cell method).

It was shown that the interaction of two whirls with opposite directions does not lead to their compensation, but the interaction area (turbulent zone) has a complicated shape. The possibility of natural experiments with the help of a shock tube and a laser shock tube is discussed in the article. Such research would allow comparing the experimental data with the results of numerical simulations and developing more complicate models of the turbulent motion.

Keywords: numerical simulation, shock wave, whirls, TVD difference schemes.

Введение

Изучение особенностей развития вихрей и турбулентных сверхзвуковых течений является актуальной задачей современной газовой динамики и физики высоких концентраций энергии. Такие задачи возникают при изучении вхождения космических объектов в плотные слои атмосферы Земли, развитии газодинамических неустойчивостей вблизи контактной поверхности двух сред, движущихся ускоренно, при формировании и развитии ураганов у поверхности Земли, а также в исследованиях по инерциальному термоядерному синтезу. Для решения указанных задач применяют методы математического моделирования [1]. Известны результаты расчетов, выполненные с помощью программы ENS [2, 3]. Эта программа позволяет решать двумерные уравнения Навье-Стокса с помощью метода «крупных частиц», описанного в монографии [4]. В основе алгоритма решения уравнений газовой динамики в программе ENS использованы разностные схемы первого порядка аппроксимации, а расчеты выполнены на одном процессоре.

В настоящей статье мы представляем результаты расчетов, выполненные по программе NUT [5], в которой для решения уравнений газовой динамики используют TVD-разностные схемы повышенного порядка аппроксимации [6, 7]. Для более эффективного применения вычислительных ресурсов программа распараллелена по методике, предложенной ранее [8]. Результаты применения данной методики представлены в таблице.

Зависимость времени расчета и количества выполненных шагов от количества процессоров

Количество процессоров	1	8	40
Время выполнения 1000 шагов, с	2481	337	81
Количество выполненных шагов за 1 ч	1463	10658	49435

Очевидно (см. таблицу), что увеличение количества процессоров позволяет кардинально сократить время расчетов: при применении 40 процессоров удалось сократить время расчета примерно в 30-33 раза.

Возможно два основных вида распараллеливания:

- алгоритмический (по управлению);
- геометрический (по данным).

Нами выбран геометрический способ, как наиболее простой и подходящий в данном случае (рис. 1): расчетная область в форме прямоугольника разбивается прямыми, параллельными координатным осям, на одинаковые по размеру подобласти (рис. 1а). Каждая подобласть обрабатывается своим процессором, и, таким образом, на каждом вычислительном узле расчет идет по одинаковой схеме. В ходе расчетов использовали вариант с разбиением всей области по оси OZ (рис. 1б).

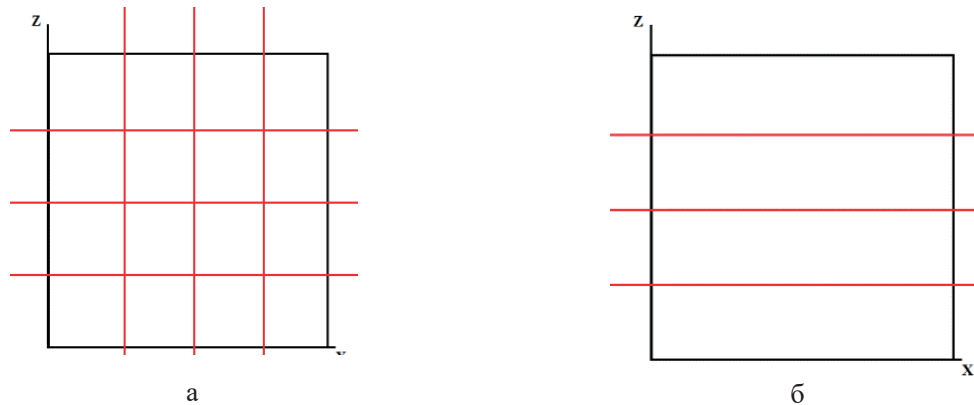


Рис. 1. Распараллеливание в NUT: а) общий случай; б) использовавшийся в расчетах.

С целью сохранения однородности вычислительной схемы для каждой новой подобласти вводили по два слоя фиктивных ячеек на каждой из четырех границ. Значения в этих ячейках определяли двумя способами (в зависимости от положения в сетке):

- 1) исходя из граничных условий (если граница новой подобласти совпадает с границей всей расчетной области);
- 2) на границу следующей подобласти данные передаются с процессора, который обрабатывает предыдущую подобласть (для внутренних подобластей).

Постановка задач

Программа NUT позволяет численно решать уравнения газовой динамики в двумерной (и трехмерной) геометрии в декартовых координатах [9, 10]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F(U)}{\partial x} + \frac{\partial H(U)}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

где

$$U = \begin{Bmatrix} \rho \\ \rho \cdot u \\ \rho \cdot w \\ e \end{Bmatrix}, F(U) = \begin{Bmatrix} \rho \cdot u \\ \rho \cdot u^2 + p \\ \rho \cdot u \cdot w \\ u \cdot e + p \cdot u \end{Bmatrix}, H(U) = \begin{Bmatrix} \rho \cdot w \\ \rho \cdot u \cdot w \\ \rho \cdot w^2 + p \\ w \cdot e + p \cdot w \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

здесь ρ – плотность;

p – давление;

$V_x = u, V_z = w$ – компоненты вектора скорости V ;

$e = \rho \left(\varepsilon + \frac{V^2}{2} \right)$ – полная энергия.

Система уравнений (1-2) дополнена уравнением состояния

$$p = (\gamma - 1) \rho \varepsilon,$$

где ε – удельная внутренняя энергия;

γ – показатель адиабаты;

и уравнением непрерывности для каждой компоненты газа (всего n компонент)

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \operatorname{div} \rho_i V = 0, \text{ где } i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (3)$$

Если газ содержит две компоненты, то удобно решать уравнение непрерывности для смеси (уравнение (1)) и уравнение для одной из компонент (3). Далее определяют концентрацию первого компонента C , а концентрация второго компонента равна $1-C$ (в трехмерной геометрии система уравнений (1-2) остается прежней, но добавляется переменная y).

Ударную волну задавали с помощью соотношений Гюгонио [11]:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 \frac{2\gamma M_x^2 - (\gamma - 1)}{\gamma + 1}; \quad ZP = \frac{P_1}{P_0}; \\ C_s^2 &= \gamma \frac{P_0}{\rho_0}; \quad D = M_x C_s; \\ \rho_1 &= \rho_0 \frac{\gamma + 1 + (\gamma - 1) / ZP}{\gamma - 1 + (\gamma + 1) / ZP}; \\ u_1^2 &= \left(\gamma \frac{P_1}{\rho_1} \right) \frac{\gamma - 1 + (\gamma + 1) / ZP}{2\gamma} \end{aligned} \quad (4)$$

здесь $P_{1(0)}, \rho_{1(0)}$ – давление и плотность за фронтом (перед фронтом) ударной волны;

γ – показатель адиабаты;

C_s – скорость звука;

D – скорость движения фронта ударной волны в лабораторной системе отсчета.

Достаточно задать число Маха (M_x) и термодинамические параметры газа перед фронтом ударной волны, чтобы определить соответствующие параметры за фронтом. Скорость движения газа за фронтом ударной волны в лабораторной системе отсчета определяется по формуле

$$w_1 = D - u_1.$$

Распространение ударной волны моделировали в инертном газе – аргоне, показатель адиабаты $\gamma = 5/3$, начальное давление $P_0 = 0.5$ атм, плотность¹ $\rho_0 = 0.802$ мг/см³, число Маха $M_x = 3.5$. Постановка задачи схематично показана на рис. 2. Ударная волна задается с помощью соотношений Гюгонио в области $0 < z < b_0$ и движется снизу-вверх в области $0 < x < L_x, 0 < z < L_z$; L_x, L_z – размеры расчетной области.

¹Программа NUT использует для работы величины в системе СГС (сантиметр – грамм – секунда).

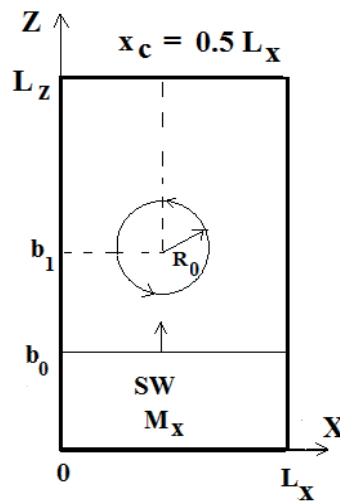


Рис. 2. Расчетная область и начальное расположение ударной волны (SW) и вихря.

Следует отметить, что в программе, наряду с термодинамическими переменными и скоростями (в частности, абсолютное значение скорости $V_{abs} = \sqrt{u^2 + w^2}$, $V_x = u$, $V_z = w$), вычисляли также ротор скорости $rotV$. В каждой расчетной ячейке, согласно теореме Стокса, определяли величину $curl(x,z)dxdz$ ($\oint (\vec{V} d\vec{l}) = \iint (rot \vec{V} \vec{n}) ds$) как функцию координат x и z (см. [2]).

Задача 1 и 2. Взаимодействие ударной волны с уединенным вихрем

В задачах 1, 2 в точке (x_c, z_c) находится центр вихря, который задается в начальный момент времени следующим образом:

$$V_x = \begin{cases} -(z - z_c)\omega, & r \leq R_0 \\ -(z - z_c)\omega / \exp\left(\frac{r - R_0}{R_0}\right)^4, & r > R_0 \end{cases} \quad V_z = \begin{cases} (x - x_c)\omega, & r \leq R_0 \\ (x - x_c)\omega / \exp\left(\frac{r - R_0}{R_0}\right)^4, & r > R_0 \end{cases} \quad (5)$$

$$r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (z - z_c)^2}, \quad z_c = b_1, \quad x_c = 0.5 \cdot L_x.$$

Чтобы сгладить края вихря при $r > R_0$, задавали «экспоненциальное» убывание скорости. В первой серии расчетов изучали особенности взаимодействия ударной волны с уединенным вихрем и сравнивали их с результатами расчетов, полученных по программе ENS и опубликованных в [2].

Параметры задачи следующие: $R_0 = 3.5948748$ см, $b_0 = 2$ см, $b_1 = 9.11136$ см, $\omega = 2.78 \cdot 10^3$ с⁻¹, $L_x = 14.58$ см, $L_z = 72.11136$ см. Расчеты сделаны на разностной сетке $(640 \times 3200)^2$. Результаты расчетов показаны ниже (разница в 10^3 раз объясняется тем, что в программе NUT масштаб времени взят в миллисекундах, а в программе ENS – в секундах).

²[http:// www.jscc.ru](http://www.jscc.ru)

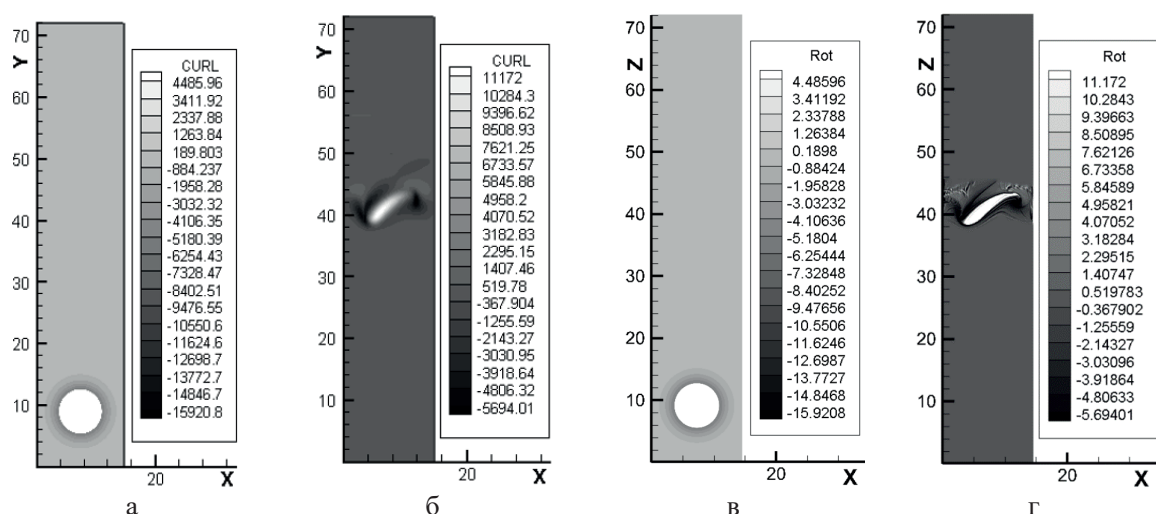


Рис. 3. Поля роторов скорости на моменты времени $t = 0$ (а, в) и $t = 0.48$ мс (б, г).

Из рис. 3 видно удовлетворительное совпадение результатов расчетов, выполненных с помощью программ ENS (рис. 3а и рис. 3б) и NUT (рис. 3в и рис. 3г) по различным методикам³.

На рис. 4а показано поведение вихря после того, как отраженная от верхнего торца ударная волна вторично прошла через возмущенную область; на рис. 4б – профиль плотности вдоль оси OZ на этот же момент времени.

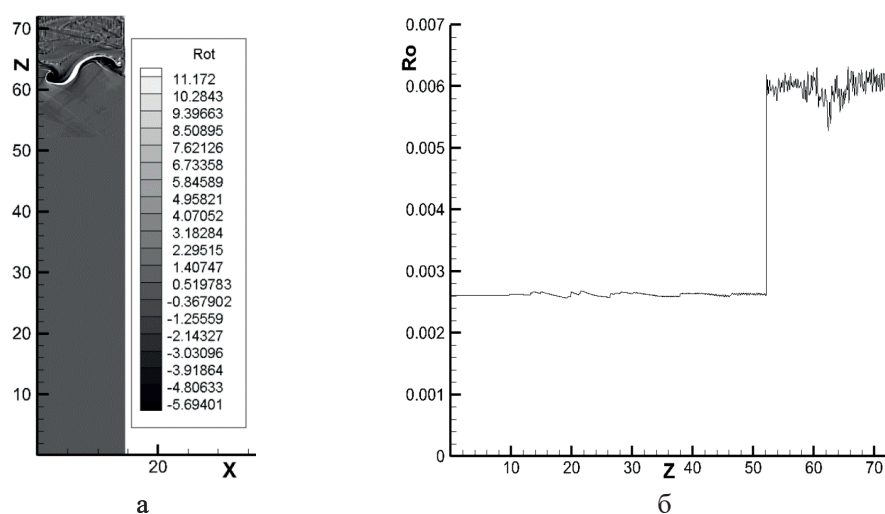


Рис. 4. Поле ротора скорости на момент времени $t = 0.96$ мс (а) и распределение плотности газа вдоль оси OZ при фиксированном значении $x = 7.29$ см (б).

Как можно заметить, после повторного прохождения ударной волны вихревая структура не разрушилась, но приобрела более сложную форму. «Мелкомасштабная рябь» – это энтропийный след, который возникает за фронтом ударной волны в численных расчетах.

В предыдущих расчетах давление и плотность газа в вихре задавались постоянными величинами. В природе, как правило, давление в вихре отличается от давления в окружающем газе. Показано, что в несжимаемой среде в стационарном потоке газодинамические параметры должны удовлетворять закону Бернулли:

³Ранее в [12] было показано хорошее согласие результатов, при моделировании распространения ударных волн в однородных газах без вихрей, выполненные на одном процессоре по программам ENS и NUT.

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} = const ,$$

где v – скорость потока.

В следующей серии расчетов в области вихря начальное давление менялось по закону

$$P(x, z) = P_0 - 0.5 \cdot \rho_0 \cdot V_{abs}^2(x, z) ,$$

где P_0, ρ_0 – давление и плотность невозмущенного газа перед фронтом ударной волны. Значение b_j в этой серии расчетов составило 11.11136 см, а угловая скорость в вихре увеличена до $\omega = 5.56 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$.

На рис. 5 показано распределение абсолютного значения скорости и ротора скорости в разные моменты времени: $t = 0$ (рис. 5а); $t = 0.48$ мс (рис. 5б), когда ударная волна прошла через вихрь; $t = 0.96$ мс (рис. 5в), когда ударная волна отразилась от верхней стенки и повторно прошла через вихрь.

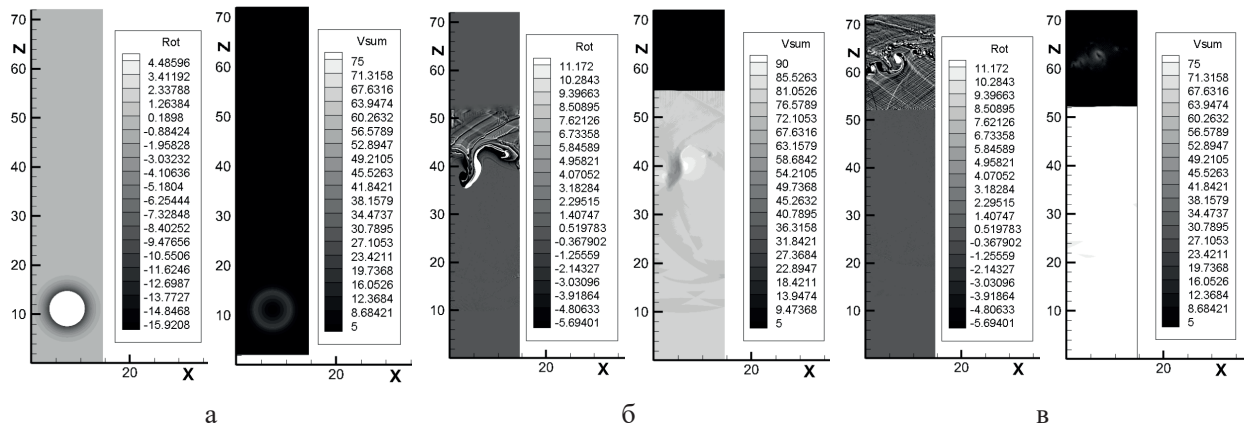


Рис. 5. Поля абсолютного значения скорости и ротора скорости на моменты времени $t = 0$ (а); $t = 0.48$ мс (б); $t = 0.96$ мс (в).

В третьей серии расчетов мы изучали взаимодействие двух разнонаправленных вихрей. Нас интересовал вопрос: будет ли наблюдаться взаимная компенсация этих вихрей? Вихри задавались следующим образом:

Первый вихрь:

$$V_x = \begin{cases} -(z - z_{c1})\omega, & r \leq R_0 \\ -(z - z_{c1})\omega / \exp\left(\frac{r - R_0}{R_0}\right)^4, & r > R_0 \end{cases} \quad V_z = \begin{cases} (x - x_{c1})\omega, & r \leq R_0 \\ (x - x_{c1})\omega / \exp\left(\frac{r - R_0}{R_0}\right)^4, & r > R_0 \end{cases} \quad (6)$$

Второй вихрь:

$$V_x = \begin{cases} (z - z_{c2})\omega, & r \leq R_0 \\ (z - z_{c2})\omega / \exp\left(\frac{r - R_0}{R_0}\right)^4, & r > R_0 \end{cases} \quad V_z = \begin{cases} -(x - x_{c2})\omega, & r \leq R_0 \\ -(x - x_{c2})\omega / \exp\left(\frac{r - R_0}{R_0}\right)^4, & r > R_0 \end{cases} \quad (7)$$

$$r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (z - z_c)^2} ,$$

где $z_{c1} = b_1, z_{c2} = b_2, x_c = 0.5 \cdot L_x$; значения $b_0, b_1, b_2, \omega, R_0$ – параметры задачи.

В представленных результатах они составляли 2 см, 9.11136 см, 25.11136 см, $5.56 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ и 3.5948748 см, соответственно. Кроме того, учитывался закон Бернулли.

На рис. 6 приведены результаты данной серии расчетов. Как следует из рис. 6, вихри не компенсируют друг друга даже после отражения волны от верхней стенки, но при этом происходит сильная деформация вихревых структур.

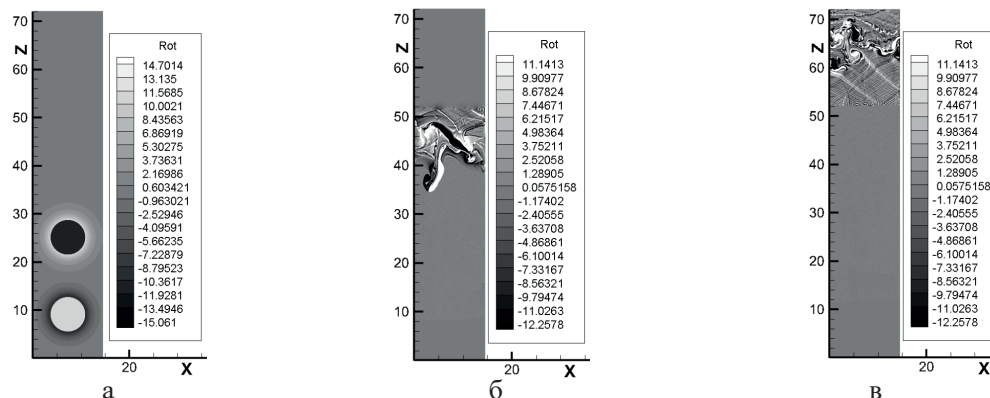


Рис. 6. Поля роторов скорости на моменты времени $t = 0$ (а); $t = 0.48$ мс (б); $t = 0.96$ мс (в).

Заключение

Выполнено три серии расчетов для решения двумерных уравнений газовой динамики. В первой серии проводили сравнение с известными данными, полученными по программе ENS. Показано удовлетворительное совпадение результатов, полученных по различным методикам. Во второй серии – начальное давление в вихре задано с учетом закона Бернулли, что обеспечило устойчивое положение вихря до прихода ударной волны. Показано, что учет закона Бернулли в расчетах приводит к изменению формы вихря по сравнению с первой серией расчетов после повторного прохождения ударной волны. В третьей серии расчетов изучено взаимодействие двух разнонаправленных вихрей за фронтом падающей и отраженной ударных волн. Установлено, что взаимодействие вихрей между собой вследствие падения ударной волны не приводит к их компенсации, взаимодействуют два разнонаправленных вихря, причем область взаимодействия вихрей (турбулентная зона) приобретает сложную форму.

В связи с тем, что математическая постановка задачи моделирования развития вихрей в настоящей статье существенно отличается от ранее опубликованной работы [13], в которой также моделируется падение ударной волны на вихрь, но на основе схемы «КАБАРЕ», прямое сравнение полученных нами результатов с расчетами по методике двумерных уравнений газовой динамики не приводится.

Важно обратить внимание на то, что в принципе вихри можно сформировать в пенообразной среде, помещенной в ударную трубу, при пропускании через эту среду электрического импульса тока (см. в [2])⁴, а также непосредственно в лазерной ударной трубе. В таком устройстве формируются ударные волны с большими числами Маха ($>10!$) ([14]), поэтому можно ожидать сублимации пены и образования вихрей за фронтом волны без подключения стороннего источника тока.

Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН).

⁴В этом случае образуется плазма.

Литература:

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. М.: Наука-Физматлит, 1997. 316 с.
2. Лебо И.Г., Акжолов М.Ж. Моделирование взаимодействия ударной волны с вихревыми структурами в газе // Вестник МГТУ МИРЭА. 2015. № 2(7). С. 240–250.
3. Мадера А.Г., Акжолов М.Ж., Лебо И.Г. Моделирование развития процессов «конвекция плюс теплопроводность» в воздухе вблизи процессора // Труды НИИСИ РАН. 2013. Т. 3. № 1. С. 90–93.
4. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М.: Наука, 1982. 391 с.
5. Лебо И.Г., Тишкин В.Ф. Исследование гидродинамической неустойчивости в задачах лазерного термоядерного синтеза. М.: Физматлит, 2006. 304 с.
6. Harten A. On a class of high resolution total-variation-stable finite-difference schemes // SIAM J. Numeric Anal. 1984. V. 21. № 1. P. 1–23.
7. Вязников К.В., Тишкин В.Ф., Фаворский А.П. Построение монотонных разностных схем повышенного порядка аппроксимации для систем уравнений гиперболического типа // Математическое моделирование. 1989. Т. 1. № 5. С. 95–120.
8. Ладонкина М.Е. Численное моделирование турбулентного перемешивания с использованием высокопроизводительных систем: дис. ... канд. физ.-мат. наук: Москва, 2005. 157 с.
9. Основы газовой динамики / Ред. Г. Эммонс: Пер. с англ. В.В. Белого [и др.] / Под ред. Г.И. Баренблатта и Г.Г. Черного. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 704 с.
10. Дмитриев О.А., Кривец В.В., Лебо И.Г., Симаков А.И., Титов С.Н., Чеботарева Е.И. Моделирование развития гидродинамической неустойчивости при прохождении волны сжатия через контактную поверхность двух газов // Математическое моделирование. 2013. Т. 25. № 8. С. 22–32.
11. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. 687 с.
12. Акжолов М.Ж., Дмитриев О.А., Лебо И.Г., Мадера А.Г. Сравнение расчетов распространения ударных волн в газах, выполненные по программам ENS и NUT_2D // Труды НИИСИ РАН. 2014. Т. 4. № 1. С. 58–61.
13. Головизнин В.М., Карабасов С.А., Кондаков В.Г. Обобщение схемы КАБАРЕ на двумерные ортогональные сетки // Математическое моделирование. 2013. Т. 25. № 7. С. 103–136.
14. Зворыкин В.Д., Лебо И.Г. Применение мощного KrF-лазера для исследования сверхзвуковых течений газа и развития гидродинамических неустойчивостей в слоистых средах // Квантовая электроника. 2000. Т. 30. № 6. С. 540–544.

References:

1. Samarskiy A.A., Mikhailov A.P. Mathematic Modeling. Moscow: Nauka-Fizmatlit Publ., 1997. 316 p. (in Russ.)
2. Lebo I.G., Akzholov M.Zh. Model operation of interaction of a shockwave with vortex structures in gas. *Vestnik MGTU MIREA*. 2015; (2-7): 240-250. (in Russ.)

3. Madera A.G., Akzholov M.Zh., Lebo I.G. Modeling of development of processes "convection plus heat conductivity" in air near the processor. *Trudy NIISI RAN* (Proceed. of the Research Institute for System Studies RAS). 2013; 3(1): 90-93. (in Russ.)
4. Belotserkovskiy O.M., Davydov Yu.M. The large particles method in the gas dynamics. Moscow: Nauka Publ., 1982. 391 p. (in Russ.)
5. Lebo I.G., Tishkin V.F. Research of hydrodynamic instability in problems of laser thermonuclear synthesis. Moscow: Fizmatlit Publ., 2006. 304 p. (in Russ.)
6. Harten A. On a class of high resolution total-variation-stable finite-difference schemes. *SIAM J. Numeric Anal.* 1984; 21(1): 1-23.
7. Vyaznikov K.V., Tishkin V.F., Favorskiy A.P. Construction of monotone difference schemes of a higher order of approximation for systems of hyperbolic equations. *Matematicheskoe modelirovanie* (Mathematic Modeling). 1989; 1(5): 95-98. (in Russ.)
8. Ladonkina M.E. Numerical modeling of turbulent mixing with use of high-performance systems: diss. ... Ph.D. (Physics and Mathematics). Moscow, 2005. 157 p. (in Russ.)
9. Fundamentals of Gas Dynamics. Editor Howard W. Emmons. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1958.
10. Dmitriev O.A., Krivets V.V., Lebo I.G., Simakov A.I., Titov S.N., Chebotareva E.I. Modeling of development of hydrodynamic instability when passing a wave of compression through the contact surface of two gases. *Matematicheskoe modelirovanie* (Mathematic Modeling). 2013; 25(8): 22-32. (in Russ.)
11. Zel'dovich Ya.B., Raizer Yu.P. Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena. Moscow: Nauka Publ., 1966. 687 p. (in Russ.)
12. Akzholov M.Zh., Dmitriev O.A., Lebo I.G., Madera A.G. Comparison of calculations of distribution of shock waves in gases, executed according to the ENS programs and NUT_2D. *Trudy NIISI RAN* (Proceed. of the Research Institute for System Studies RAS). 2014; 4(1): 58-61. (in Russ.)
13. Goloviznin V.M., Karabasov S.A., Kondakov V.G. Synthesis of the scheme of CABARET on two-dimensional orthogonal grids. *Matematicheskoe modelirovanie* (Mathematical Modeling). 2013; 25(7): 103-136. (in Russ.)
14. Zworykin V.D., Lebo I.G. The use of the potent KrF-laser for a research of supersonic currents of gas and development of hydrodynamic instabilities in stratified mediums. *Kvantovaya elektronika* (Quantum Electronics). 2000; 30(6): 540-544. (in Russ.)

Об авторах:

Лебо Иван Германович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Института кибернетики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Симаков Артем Игоревич, соискатель.

About the authors:

Ivan G. Lebo, D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor of Higher Mathematics Chair, Institute of Cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia).

Artem I. Simakov, competitor of a scientific degree.

Для цитирования: Лебо И.Г., Симаков А.И. Моделирование развития вихревых структур в сверхзвуковом газовом потоке // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 5. С. 45–54. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-45-54

For citation: Lebo I.G., Simakov A.I. The modeling of the evolution of the whirl structures in the supersonic gas stream. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(5): 45-54. (in Russ.) DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-45-54

УДК 93/94

DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-55-76

АКАДЕМИЯ НАУК В УСЛОВИЯХ РАСПАДА СССР

Е.В. Бодрова

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

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

На основе ранее не опубликованных архивных материалов исследуется проблема поиска оптимальной стратегии дальнейшего развития Академии наук в контексте борьбы за власть между союзным и республиканскими центрами в последние годы существования СССР. Особое внимание уделено рассмотрению вопроса о проходящих в то время дискуссиях относительно целесообразности реорганизации АН СССР. Формулируется вывод о том, что судьба Академии наук СССР, как и судьба страны в целом, в последние годы ее существования зависела от множества объективных и субъективных факторов. Значительная часть научного сообщества вполне адекватно и прозорливо оценивала разворачивающиеся в тот период события. Вызывающие ныне неоднозначные оценки решения о трансформации Академии наук СССР в Российскую академию наук, о курсе Президиума на ее сохранение во что бы то ни стало, несмотря на весьма сложные отношения с новой властью, позволили, на взгляд автора, обеспечить функционирование ядра фундаментальной науки в 1990-е гг. в условиях деиндустриализации и демодернизации страны.

Ключевые слова: Академия наук, фундаментальная наука, распад СССР, кризис.

ACADEMY OF SCIENCES IN THE CONDITIONS OF THE DECAY OF THE USSR

E.V. Bodrova

MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

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

On the basis of unpublished archival materials, the problem of finding the optimal strategy for the further existence of the Academy of Sciences in the context of the struggle for power between the Union and Republican centers in the last years of the USSR is studied. Particular attention is paid to the consideration of the ongoing discussions on the feasibility of reorganization of the USSR Academy of Sciences. It is concluded that the fate of the Academy

of Sciences of the USSR, as well as the fate of the country as a whole in the last years of its existence, largely depended on many subjective and objective factors. A significant part of the scientific community adequately and sagely assessed the events unfolding at that time. The decision to transform into the Russian Academy of Sciences, the Presidium's course to preserve it at all costs despite the very complex relations with the new government, which are now causing ambiguous assessments, allowed, in the author's opinion, to ensure the survival of the core of fundamental science in the 1990s in the conditions of deindustrialization and demodernization of the country.

Keywords: Academy of sciences, fundamental science, collapse of the USSR, crisis.

В майском Указе 2018 г. Президентом РФ в качестве одной из важнейших целей общенационального значения определено прорывное научно-технологическое и социально-экономическое развитие [1]. Необходимыми условиями реализации намеченного направления, на наш взгляд, являются:

- разработка с привлечением научного сообщества четкой и последовательно осуществляемой стратегии восстановления научно-технического потенциала страны;
- модернизация, адекватно глобальным вызовам, подготовки и переподготовки специалистов в области техники и технологии.

Очевидно, что блокирующим фактором может выступить повторение прежних просчетов в сфере управления и финансирования науки и образования.

В ряде публикаций современных историков и экономистов были рассмотрены различные аспекты проблемы эволюции государственной научно-технической политики в позднесоветский период отечественной истории [2, 3]. Вопросы, связанные с состоянием научно-технического комплекса СССР накануне его распада, также анализировались автором статьи [4]. Однако изученные в последние годы документы Архива РАН и иные материалы позволяют с большей степенью достоверности исследовать проблему взаимодействия руководства Академии наук СССР с лидерами страны в годы «перестройки». Попытки реформировать АН СССР, а затем и сохранить ее явились одним из самых сложных и драматических сюжетов в процессе ускоряющегося распада СССР в последние годы его существования.

Дискуссия о создании новой академии – Академии наук РСФСР – стала одной из самых продолжительных и острых. Началом горячих споров относительно целесообразности ее появления стала статья академика Н.Н. Моисеева «Мысли о будущем Российской Академии», опубликованная 16 августа 1989 г. в газете «Советская Россия». Позже обозначились четыре диаметрально противоположные точки зрения по этому вопросу:

1. Частью научного сообщества и представителей властных структур не планировалось передавать существовавшие в то время академические институты в создаваемую Российскую академию наук. Сторонникам этой концепции представлялось достаточным сформировать имеющий ресурсы координирующий орган, чтобы финансировать республиканские научно-исследовательские и научно-технические программы, к выполнению которых можно было бы привлекать институты, расположенные на территории РСФСР.

2. Второй подход предполагал передачу всех институтов АН СССР в состав новой Российской академии наук.

3. Согласно другим планам, наряду с Российской академией наук, рассматривалось создание академий наук Москвы и Ленинграда.

4. Четвертая группа авторов считала возможным передать часть академических институтов (например, институтов региональных отделений) в новую академию с сохранением другой части в составе АН СССР [5].

Председатель Сибирского отделения Академии наук СССР академик В.А. Коптюг выступил с активной поддержкой предложения о создании АН РСФСР, объясняя это тем, что возникла «необходимость решения проблем правового статуса РСФСР и ее национально-государственного устройства» [5]. В качестве главного принципа формирования Российской академии наук с учетом масштабов территории РСФСР и большого разнообразия природных, народнохозяйственных и социальных условий им был предложен региональный принцип. По мнению академика Коптюга, это обеспечило бы децентрализацию управления наукой, усилило хозяйственную самостоятельность территорий и позволило бы создать предпосылки для столь необходимой, с его точки зрения, самостоятельности. В.А. Коптюг настаивал на том, что Российская академия наук должна, прежде всего, ориентироваться на решение специфичных проблем РСФСР. Необходимым ему представлялось и одновременное существование Академии наук СССР при кардинальном изменении ее структуры и роли, сведенной к организации работы по анализу тенденций развития науки; выявлению приоритетных направлений фундаментальных исследований и научно-технического прогресса; стимулированию концентрации сил на этих направлениях путем объявления конкурсов на дополнительное финансирование по общесоюзным программам; проведению научной экспертизы особо важных народнохозяйственных проектов и решений и т.д. АН СССР, согласно этой концепции, должна была взять на себя роль координатора по отношению к академиям наук союзных республик и частично – по отношению к вузовской и отраслевой науке. Н.Н. Моисеев, в свою очередь, предлагал сформировать координирующий орган в виде Совета академий, в котором были бы представлены президенты всех республиканских академий [6].

В 1989 г. в ходе конституционной реформы РСФСР на правительственном уровне поставили вопрос о создании отсутствовавших республиканских структур, в том числе, академических. К его рассмотрению привлекли значительное число учреждений и ведомств, в первую очередь, АН СССР. Согласно подсчетам И.Н. Ильиной, проект создания национальной академии рассматривался в Президиуме АН не менее 25 раз. Впервые обмен мнениями по этому вопросу состоялся 10 октября 1989 г. 17 октября в итоге многочасового заседания общее мнение сформулировал академик Г.А. Месяц: «Суверенная республика Россия имеет право поставить вопрос о Российской академии, если она думает о будущем» [6]. Проблема состояла в том, каким образом это осуществить: разделить институты, бюджет? Было решено создать рабочую группу, заседание которой состоялось 24 ноября 1989 г., но разногласия усиливались: президент АН СССР Г.И. Марчук выступал за сохранение одновременно и АН СССР [6].

В 1990 г. удалось несколько скорректировать разные подходы. Возглавляемой В.А. Коптюгом рабочей группой, созданной Комиссией по науке и технике Верховного Совета РСФСР, в итоге труднейших дискуссий, с учетом точек зрения, высказывавшихся в прессе, в многочисленных письмах, предлагался компромиссный вариант: создание Рос-

сийской академии наук на первом этапе – без институтов. Члены этой группы обосновывали предложенный вариант тем, что разрушать уже сложившиеся структуры «большой» академии, игравшей важную роль в нашей стране, опасно. Да и перевод значительного числа крупных, сложившихся институтов в состав будущей Российской академии предопределил бы схему ее построения: воспроизведение традиционных структур. Предполагалось, что создаваемая академия в своей деятельности будет опираться на научно-исследовательские учреждения, подведомственные Совету Министров РСФСР, то есть финансируемые через него. Имелись в виду три региональных отделения Академии наук СССР: Уральское, Сибирское и Дальневосточное, вузовская и отраслевая наука Российской Федерации. Под «двойное» управление с финансированием через Совмин РСФСР предполагалось перевести и научные центры Академии наук СССР, расположенные в северной, центральной и южной зонах Европейской части РСФСР, за исключением находящихся в Московской и Ленинградской областях. Основным принцип деятельности новой академии должен был состоять в том, что в качестве главного рычага объединения и координации сил российской науки будут использоваться не административные методы, а методы целевого финансирования на конкурсной основе через научно-исследовательские программы, проекты. Авторы подобного варианта управления научной сферой ссылались на зарубежный опыт, используемый во многих странах. В концепции было записано, что выборы в действительные члены и члены-корреспонденты Академии наук Российской Федерации должны проводиться из числа выдающихся ученых, работающих в любой организации, расположенной на территории РСФСР. Академия наук Российской Федерации призвана содействовать не только развитию фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям, ускорению реализации достижений науки в практике, но и по выработке и реализации в РСФСР единой научно-технической, экологической, экономической, социальной и культурной политики.

В числе важнейших задач в концепции обозначалась интеграция академической, вузовской и отраслевой науки России. Ее авторы справедливо полагали, что разделение науки на три сферы – один из крупнейших стратегических просчетов научно-технической политики страны. В качестве структур, способствующих интеграции, должны были, по мнению рабочей группы, выступать междисциплинарные научно-исследовательские учреждения, современные структуры информационного обеспечения науки, народного хозяйства и культуры, центры коллективного пользования уникальным оборудованием, республиканские и межведомственные региональные центры и организации, способствующие ускорению научно-технического прогресса.

Принимая во внимание имеющийся опыт и специфику экономических, социальных и национальных проблем различных регионов Российской Федерации, было признано целесообразным создать организационную структуру новой академии с ориентацией на различные экономические районы РСФСР, в которых планировалось организовать региональные научно-координационные советы Академии наук России. На них предполагалось возложить анализ региональных проблем, разработку рекомендаций с целью поиска оптимального варианта развития науки и научно-технического прогресса; формирование региональных блоков общих целевых программ фундаментальных и прикладных исследований Академии наук России. Прообразом таких советов представлялся действующий

при Сибирском отделении АН СССР Научный совет по комплексной научно-исследовательской программе «Сибирь», получившей официальный статус в 1984 г. Целью программы являлось научное обоснование освоения природных ресурсов и развития производительных сил региона, активное содействие научно-техническому прогрессу.

Структура новой академии, по мнению возглавляемой В.А. Коптюгом рабочей группы, должна была выглядеть следующим образом:

- первый уровень – региональные советы;
- второй уровень – научные советы при общем собрании Российской академии, объединяющие членов-учредителей и членов академии соответствующих специальностей.

Планировалось, что одна треть мест в советах будет включать докторов наук, избираемых от региональных научно-координационных советов на определенный срок. Высшим органом Академии наук РСФСР должно было стать Общее собрание ее членов, оперативное руководство осуществлялось бы Президиумом. В документе, представленном к обсуждению, рекомендовано было пригласить достаточно большую группу членов Академии наук СССР в качестве членов-учредителей новой академии [7].

Тем временем, опираясь на одобренную комиссией концепцию, Президиум Верховного Совета РСФСР принял Указ «Об учреждении Академии наук Российской Федерации» [8]. 13 марта 1990 г. вышло Постановление Совета Министров РСФСР «О формировании Академии наук РСФСР» [9], в котором созданному Учредительному комитету, в который вошли представители научно-исследовательских и вузовских организаций одиннадцати экономических районов РСФСР, поручалось развернуть работу по организации Академии наук.

Однако эта работа, вызвавшая большой энтузиазм в регионах, в июле 1990 года была приостановлена решениями сессии Верховного Совета РСФСР нового созыва, поручившей Комитету по науке и народному образованию совместно с Комитетом по законодательству и Советом Министров РСФСР разработать новую концепцию. По мнению В.А. Коптюга, решающую роль здесь сыграла «своеобразная» позиция ряда депутатов, которую он определил так: «Всё, что сделано до нас, сделано заведомо плохо» [10].

Одно из важных расхождений между прежней и новой концепциями касалось вопроса о сущности Академии РСФСР. В новой концепции Академии отводилась «роль самого авторитетного в республике консультационного и рекомендательного совета» при Правительстве и Верховном Совете РСФСР. В.А. Коптюг – сторонник прежнего варианта – не отрицал целесообразность существования подобных аналитико-прогнозных консультативных и рекомендательных советов при государственных органах законодательной исполнительной власти, но называть совет Академией наук, по его мнению, смысла не имело [10].

Между тем 23 августа 1990 г. был подписан Указ Президента СССР «О статусе Академии наук СССР» [11], в котором говорилось о необходимости демократизации существовавшей Академии, ее статус закреплялся в качестве общесоюзной самоуправляемой организации, действующей без какого-либо вмешательства государственных и иных структур, самостоятельно обеспечивающей эффективную работу институтов, лабораторий и других подразделений в области фундаментальных научных исследований и подготовки научных кадров. Все основные фонды и другое государственное имуще-

ство, находившееся в пользовании институтов, лабораторий, предприятий и организаций Академии наук СССР, передавалось в ее исключительную собственность. Сохранялось целевое государственное финансирование фундаментальных научных исследований Академии наук СССР из общесоюзного государственного бюджета, а результаты этих исследований безвозмездно передавались государству с соблюдением норм авторского и изобретательского права. Устанавливалось, что Академия наук СССР, ее организации и учреждения должны были на договорных началах взаимодействовать с Академиями наук союзных республик, добиваясь совместными усилиями повышения общего уровня фундаментальных исследований в стране [11]. Однако 21 сентября 1990 г. принимается Постановление Верховного Совета РСФСР «О приостановлении действия статьи 2 Указа Президента СССР «О статусе Академии наук СССР» от 23 августа 1990 г., так как она противоречила Декларации о государственном суверенитете РСФСР и Закону РСФСР от 14 июля 1990 г. «О собственности на территории РСФСР» [12].

Как показали дальнейшие события, идея о создании Академии наук РСФСР не была забыта. В феврале 1991 г. принято Постановление Верховного Совета РСФСР «О дальнейшей работе по организации Российской академии наук» и 25 марта 1991 г. Постановление Президиума Верховного Совета РСФСР «Об организационном комитете и практических мерах по созданию Российской академии наук» [13]. Принятие этих документов явилось новым этапом в становлении Российской академии. Дискуссии в научном сообществе вновь обострились. Президент АН СССР Г.И. Марчук на заседании Президиума АН СССР 26 февраля 1991 г. следующим образом охарактеризовал суть дискуссии, состоявшейся на том заседании Верховного Совета РСФСР, где обсуждалась судьба Российской академии наук: «Фактически, там идет борьба, как я понимаю, не за то, чтобы нашу Академию как-то поделить, переделить, что-то отобрать... Там решили прорабатывать вопрос, кому она (новая Академия – Е.Б.) будет подчиняться: Верховному Совету или Совету Министров России. Это сразу снижает саму идею создания такой Академии. Тем не менее, подвижки идут в нужном направлении» [14].

На заседании Верховного Совета присутствовал вице-президент АН СССР О.М. Нефёдов, которому было поручено изложить точку зрения союзной Академии по вопросу концепции создания новой Академии и документов, подготовленных Комитетом по науке и народному образованию Верховного Совета РСФСР. Информировав Президиум АН СССР, он рассказал о весьма тягостном впечатлении и от ведущихся на заседании и в кулуарах переговоров, и от позиции двух «самозванных» академий – Российской академии естественных наук и Академии технологических наук. С его точки зрения, не вселяла надежд и концепция, представленная Комитетом по науке и народному образованию Верховного Совета РСФСР под руководством В.П. Шорина, полностью отвергавшая наработки комиссии В.А. Коптюга с участием Академии наук СССР. В чем конкретно? Предусматривалось создание Российской Академии без учреждений, но, одновременно, в этих планах не содержалось каких-либо упоминаний о союзной Академии и необходимости взаимодействия с ней [15].

Выступающие на заседании Президиума АН СССР 26 февраля 1991 г. предлагали «...активно противодействовать посягательствам на интересы и на собственность Академии наук» [16]. Академик Г.А. Толстиков был вынужден признать, что в союзных

республиках наметилась весьма угрожающая и все более усиливающаяся тенденция организовывать собственные национальные академии наук. Сопровождался этот процесс противопоставлением Академии наук СССР, по его словам, «вплоть до полного шельмования»; декларированием более льготных условий для работы и финансирования; обещаниями создать идеальную структуру супердемократии; активной кампанией в печати, «прессингом общественности различными путями»; использованием «каналов, базирующихся на национальных симпатиях, на национальном самосознании» [17]. Так, в Указе Президиума Верховного Совета Башкирии об учреждении Академии наук Башкирской АССР, в частности, говорилось о необходимости передачи из АН СССР в состав Башкирской Академии Башкирского научного центра со всем имуществом [18].

Дальнейшие события вписывались в процесс обострившейся борьбы за власть и ответственность между центральной и российской властью. Рубежным документом в истории Академии наук явился Указ Президента РСФСР о создании РАН от 21 ноября 1991 г. [19]. Указу предшествовало несколько событий, касавшихся судьбы АН СССР и обсуждавшихся на заседаниях ее Президиума. Анализ стенограмм этих заседаний и иных материалов, на наш взгляд, и в настоящее время представляет интерес.

В сентябре 1991 г. на заседании Государственного Совета СССР под председательством Президента страны М.С. Горбачёва с участием практически всех президентов союзных республик должен был рассматриваться, в том числе, и вопрос об Академии наук. Перед заседанием Госсовета группой, состоящей из вице-президентов АН СССР, был составлен доклад-справка, в котором констатировалась глубокая обеспокоенность в связи с кризисным положением и неясными перспективами развития фундаментальной науки в стране в переходный период. Указывалось, что ряд важных положений Указа «О статусе Академии наук СССР», касающихся собственности, финансирования и материально-технического обеспечения исследований, фактически не реализовывался. Более того, нарастали тенденции разрушения существующей системы научных организаций и инфраструктуры, обеспечивающих развитие фундаментальных исследований в стране. Принимались решения на республиканском и местном уровне, в результате которых происходило изъятие основных фондов и другого имущества учреждений Академии наук, вузов и отраслевых научных организаций, не были решены вопросы финансирования и материально-технического обеспечения фундаментальной науки на ближайшую перспективу. Руководство АН СССР весьма тревожили высказываемые суждения о ликвидации Академии наук Советского Союза. Авторы доклада между тем пытались убедить лидеров СССР, что во всех развитых странах фундаментальная наука в значительной мере финансируется государством. В СССР на тот момент этот источник исчезал, и вся уникальная база, сравнимая по уровню только с имевшейся в США, находилась под угрозой распада. Вместе с уникальной научной базой, предрекали академики, мог исчезнуть и интеллектуальный потенциал, который создавался десятилетиями. Ликвидация АН СССР на многие годы отбросила бы назад науку, а, следовательно, и общество в духовном, научно-техническом и экономическом развитии и нанесла бы непоправимый ущерб экономике и авторитету новых политических структур страны в целом [20].

Научный потенциал СССР в то время, действительно, отличался мощью и уровнем мирового значения. По состоянию на сентябрь 1991 г., Академия наук СССР объединяла

365 научных учреждений, расположенных в основном на территории РСФСР, в которых работало свыше 160 тысяч человек, в том числе 66 тысяч научных сотрудников. В АН СССР издавалось свыше 200 научных журналов, причем более половины на регулярной основе переводилось за рубежом. Академия наук была тесно интегрирована в мировое научное сообщество: она насчитывала 130 иностранных членов в своем составе, заключила около 70 соглашений о научном сотрудничестве с зарубежными странами, активно участвовала в деятельности 236 международных научных организаций [21]. Результаты проводимых в АН Союза исследований по ряду направлений находились на тот момент на самом современном уровне мировой науки. Речь идет о достижениях в математике, в ряде областей физики, химии, геологии, биологии, в космических исследованиях, авиационной технике, ядерной энергетике, лазерной технике. АН СССР являлась крупнейшим мировым центром в области фундаментальной науки, располагала уникальными научными установками, вела исследования практически по всем направлениям современной науки и осуществляла координацию фундаментальных исследований в стране в целом.

Академия возглавляла важнейшие научно-технические программы, которые выполнялись в интересах народного хозяйства, обороны страны, и активно участвовала практически во всех этих программах. Их осуществление требовало комплексного подхода, объединения работ и усилий ученых самых разных специальностей. Именно эту комплексность и обеспечивала Академия. Не вызывает сомнений и тот факт, что высокие научные достижения стали возможными только потому, что государство, несмотря на очень трудные времена, всегда самым решительным образом поддерживало науку. Настал период, когда руководство Академии должно было предпринять все возможное, чтобы защитить ее от проводников форсированных либеральных реформ и спасти фундаментальную науку от полного разрушения.

10 сентября 1991 г. на заседании Президиума АН СССР обсуждался проект доклада для Государственного совета СССР «О состоянии фундаментальных исследований в стране и мерах по их поддержке в переходный период». В нем четко обозначен основной просчет в проводимой в то время государственной научно-технической политике: «Не вина Академии в том, что в существующей экономической системе выдающиеся научные достижения остаются невостребованными... Все еще существует неоправданная централизация и бюрократизация науки и известная академическая замкнутость, не решен вопрос о более широком участии научной общественности в управлении академической наукой, что приводит к неэффективной работе ряда институтов АН Союза и республиканских академий. Весьма низкий социальный статус работников науки не способствует привлечению к исследовательской работе талантливой молодежи, возросла «утечка» за рубеж научных кадров» [21]. Одновременно перечислялись и необходимые, с точки зрения руководства АН СССР, основные направления перестройки в этой сфере:

- закрытие и реорганизация ряда институтов, направление деятельности которых не отвечало современной общественно-политической и экономической ситуации;
- децентрализация управления академической наукой и сокращение управленческого аппарата;
- демократизация научной жизни, широкое привлечение научной общественности к управлению академической наукой;

- реализация комплекса мер по интеграции академической науки с системой высшего образования [22].

При обсуждении доклада академик А.В. Фокин счел нужным предупредить власть: АН работает «не на себя или за границу», как заявлял бывший премьер-министр В.С. Павлов. «Фундаментальные исследования, если их не проводить, обрекут страну на технологический кризис, и мы опять начнем с протянутой рукой ходить на запад, на север и на восток» [23]. Ряд присутствовавших на заседании настаивал на необходимости обратить особое внимание Правительства на проблеме, связанной с «утечкой умов»: «...Фундаментальные исследования должны делаться талантливыми людьми, которые бегут. Мы должны их удержать. Правительство должно очень хорошо понять, что это приведет к катастрофе страны» [24]. Суть споров, признавая цинизм такой постановки вопроса, решился озвучить на заседании Президиума АН В.В. Журкин: «Нам надо определить, кому нам принадлежать» [25].

Академик Ж.И. Алфёров настаивал на точке зрения, которая сводилась к определению статуса Академии наук СССР в условиях будущей, как он был уверен, конфедерации в качестве организации для координации деятельности научного сообщества, межреспубликанских центров, академий других стран [26]. Поддержал Ж.И. Алфёрова и академик-секретарь Отделения общей биологии В.Е. Соколов, отметив одновременно явно наметившуюся тенденцию «снизу» – стремление многих научных коллективов перейти под юрисдикцию России [26]. Президент АН СССР Г.И. Марчук признавался, что в Отделении математических наук царит «страшное возбуждение – скорее бежим в Россию» [27].

Удивляясь тому, что еще кто-то рассчитывает на М.С. Горбачёва, академик-секретарь Отделения физико-математических проблем Ю.Н. Руденко прозорливо заметил: «Сегодня Президент, через месяц может быть и не Президент. Финансами распоряжается все-таки не Государственный Совет, а Верховный Совет республики... Мы считаем целесообразным переименовать нашу Академию в Российскую и перейти под юрисдикцию Российской Федерации... Существование... любых союзных структур, по моему мнению, маловероятно» [28]. В целом, признавая необходимость сохранения АН СССР, ученые осознавали необходимость ее реформирования и неизбежность весьма непопулярных мер (сокращение институтов, сотрудников), одновременно настаивая на значимости социальной защиты ученых со стороны государства, создания полноценной законодательной базы и инфраструктуры для поддержки научно-исследовательской деятельности во имя будущего страны.

12 сентября 1991 г. Президент и Вице-президент АН СССР встречались с Президентом СССР М.С. Горбачёвым. Он подчеркнул важность фундаментальной науки для развития интеграционных процессов в Союзе, отметил, что ей необходима помощь и что все эти вопросы должны быть рассмотрены на заседании Государственного совета СССР. 16 сентября 1991 г., наконец, это заседание состоялось. Присутствовавший на нем академик Г.И. Марчук заявил, что Академия наук СССР должна быть сохранена, просил Совет, чтобы это было подтверждено каким-то решением. Г.И. Марчука поддержал и академик А.А. Гончар, предложивший ориентироваться на ту структуру, которая сформировалась в нашей стране – Академию наук СССР, в ином случае ее развал может привести к очень серьезным последствиям. Одновременно он считал целесообразным создать при

Президенте или при Госсовете специальный Совет или Комитет по науке, «потому что это такая сфера, которая требует особого внимания первых лиц» [29]. Президенты Н.А. Назарбаев, А.Н. Муталибов, А.А. Акаев также говорили о необходимости сохранения АН СССР. И.С. Силаев (с 24 августа по 26 декабря 1991 г. руководитель Комитета по оперативному управлению народным хозяйством и председатель Межреспубликанского экономического комитета СССР, заменивших после событий 19–21 августа 1991 г. Кабинет министров СССР) заявил о необходимости в России сильной Академии наук, с вливанием в нее сильных институтов. Одновременно он также не имел ничего против существования Академии наук Союза [30]. М.С. Горбачёв обратил внимание на желание некоторых зарубежных стран предоставить из выделяемых кредитов специальные средства для того, чтобы «нашу Академию наук «прокормить» в трудный переходный период» [31]. Позже, на заседании Президиума АН СССР, академик Ю.А. Осипьян пояснил, что ряд американских ученых, обеспокоенных судьбой фундаментальных наук в Союзе и Академии, в частности, предложили сделать какой-то вклад для их материального обеспечения. Так, профессор, физик-теоретик С.Д. Дрелл из Стэнфорда обратился к президенту Бушу и Госсекретарю с просьбой в рамках межгосударственной помощи Советскому Союзу от лица правительства Соединенных Штатов выделить какую-то конкретную сумму, которая бы не передавалась правительству Советского Союза или республик, а была направлена непосредственно американским партнерам – университетам или фондам с единственной целью: заключать контракты с советскими научными учреждениями и передавать эти деньги советским учреждениям для финансирования научных работ [32]. На заседании Госсовета 16 сентября 1991 г. принимается принципиальное решение о необходимости дальнейшего функционирования Академии наук Союза, формирования пакета межгосударственных или межреспубликанских соглашений, которые касались научно-технического прогресса, где четко указывалась бы роль, значение Академии наук, ее союзный характер [33]. Президиум АН СССР поручил академикам В.Н. Кудрявцеву и Н.П. Лаврову, отвечавшим за связь со всеми республиками, разработать соответствующий нормативный документ для Госсовета [34]. В принятой Госсоветом резолюции нашли отражение предложения о дальнейшем развитии системы фундаментальных научных исследований и преобразовании ее в соответствии с условиями формирующегося Союза суверенных государств. Межреспубликанскому экономическому комитету, АН СССР, республиканским академиям поручалось подготовить проект соглашения о научно-техническом сотрудничестве, предусмотрев в нем источники финансирования академической науки из союзного бюджета [35].

Однако оставался еще один вопрос: взаимодействие с Российской академией наук, формируемой в соответствии с решениями Верховного Совета и Правительства России. Предполагалось, что в этом случае поиски согласованных путей будут вестись с учетом как общесоюзного статуса АН СССР, так и необходимости развития российской науки. На заседании Президиума РАН, состоявшемся днем позже, 17 сентября 1991 г., мнения разделились: академик С.С. Шаталин заявил, что он и Отделение экономики РАН полны уверенности в необходимости перехода в Российскую академию наук и проведения Общего собрания Академии наук с тем, чтобы коллективно решить эти вопросы [36]. Академик Е.П. Велихов призвал «максимально сохранить единство и не дать никому нас

разорвать – институты и Академию, Академию – промышленность... А потом уже, когда мы почувствуем почву под ногами, не будем висеть в воздухе, мы должны провести не то, что называется демократизацией и прочими словами, ничего не значащими, а, действительно, осуществить реальный переход на современные методы финансирования, чтобы была обратная связь между теми, кто работает, и теми, кто управляет» [37]. Размышлял он и о судьбе АН в связи с проблемой дальнейшего существования страны: «Назовем-ся мы сегодня Академией наук Советского Союза. Но где есть гарантия, что Советский Союз будет существовать? Никаких нет гарантий. И будет ли он суверенным, конфедерацией или федерацией – ничего не ясно. По-моему, такие центробежные силы, что все разлетится... Когда мы сооружали схему, какой должна быть Российская Академия без институтов – это была в общем достаточно наивная вещь. Сейчас Россия приобретает приоритет и, конечно, она захочет иметь у себя крупные институты, и никто этому не помешает. Такова действительность» [38]. Академик предложил в этой ситуации встретиться с руководством Российской Федерации и «по-мужски поговорить», в ином случае АН рисковала превратиться, с его слов, в «забытого Фирса» [38].

Е.П. Велихова поддержал академик Ю.А. Осипьян, заявивший о наличии на территории бывшего Советского Союза нескольких государств, которые уже декларировали совершенно различные точки зрения на свое политическое и экономическое будущее. И далее заверил: «Устав Академии наук России будет таким, каким Академия наук России его сделает... Россия, совершенно очевидно, будет иметь позитивную экономику с точки зрения баланса» [39]. В свою очередь, академик А.С. Спирин предупредил о грозящей катастрофе в случае появления двух академий, так как возникнет конфронтация, и та академия, которая будет создана помимо АН СССР, главной задачей поставит разрушение нашей Академии [40].

Ситуация в научной сфере, действительно, становилась катастрофической, прежде всего, из-за тяжелейшего финансового положения: прекратилось поступление иностранной научной информации. Государство оказалось не в состоянии выплачивать долги за научную литературу, все иностранные фирмы прекратили подписку на иностранные журналы и книги на 1992 г. Сложилось критическое положение с подпиской на отечественные издания, подорожавшие в 10 раз [41]. Ряд институтов Сибирского отделения АН СССР заложили свои здания, над ними нависла угроза покупки их кооперативами [42]. К этому моменту коллективы большей части отделений АН СССР, уверившись, что Союз перестает существовать, поддерживали позицию тех, кто выступал за признание АН СССР Российской академии наук [43]. Поэтому на том же заседании Президиума АН СССР (17 сентября 1991 г.) единогласно принимается решение о сохранении единства АН и возвращении ей названия и статуса Российской академии наук с вынесением вопроса на Общее собрание [44]. Кроме того, принято решение об ускорении работы по созданию Фонда фундаментальных исследований и органов по координации фундаментальных исследований, проводимых суверенными республиками, а также подготовки и заключения межреспубликанских научно-технических соглашений [44].

Тем не менее, обсуждение дальнейшей судьбы АН СССР продолжилось и на заседании Президиума 24 сентября 1991 г. Президент АН СССР академик Г.И. Марчук доложил о встрече накануне с М.С. Горбачевым (присутствовали также А.Н. Яковлев, Е.М.

Примаков, В.А. Медведев и Г.Х. Шахназаров). Участвовало в обсуждении и руководство Президиума АН СССР почти в полном составе (вице-президенты, главный ученый секретарь). «Встреча длилась 2.5 часа и ...имела огромное значение для нас, – рассказывал Г.И. Марчук, – потому что сейчас мы находимся в критической ситуации, которая, прежде всего, связана с финансированием» [45]. Г.И. Марчук весьма кратко следующим образом интерпретировал результаты встречи: «Точка зрения Михаила Сергеевича была довольно гибкой. Во всяком случае, он сказал, что не может быть сомнений у Академии наук в том, что у нее не будет финансирования... Он обещал поговорить по этому поводу еще с Силаевым и Ельциным, чтобы обязательно решить вопрос, и сказал, что он не мыслит себе, что Академия наук останется без денег... Михаил Сергеевич немного покритиковал нас, что мы паниковали по поводу того, кто же нам будет давать деньги. Он нам сказал, что страна никогда вас не бросит, и вы можете быть в этом уверены» [46]. М.С. Горбачёв настаивал на необходимости найти «наиболее правильный путь развития Академии наук» – «кооперация суверенных республик» [47]. Позже Г.И. Марчук описывал последующие события таким образом: «В ходе длительных и упорных дискуссий я пытался убедить членов Президиума в необходимости поддержки резолюции Госсовета о дальнейшем развитии системы фундаментальных исследований на базе институтов Академии наук СССР, но эти попытки оказались безуспешными» [35]. Выступая на том же заседании Президиума, Ж.И. Алферов напомнил, что, неоднократно обсуждая проблему Российской Академии на Президиуме, подавляющее большинство его членов с самого начала выступали против создания второй академии: «Не может быть на территории России второй академии, они обязательно вступят в конфронтацию» [48]. В этой ситуации Президиум принял решение о встрече с руководством РСФСР, причем группе от Президиума АН СССР предлагалось придерживаться стратегии на «сохранение единства Академии наук СССР и возвращение ей старого наименования и статуса – Российская академия наук и статуса независимой и самоуправляемой организации»; на обеспечение комплекса мер по правовой, материальной, финансовой и социальной защите членов Академии и научных работников, учреждений и организаций науки, особенно фундаментальной, а также их высокого социального престижа и статуса» [49].

Переговоры с руководством РСФСР состоялись 25 сентября 1991 г. Об их итогах 1 октября 1991 г. Г.И. Марчук вновь информировал Президиум РАН, кратко пересказав соображения принимавшего представителей АН СССР Р.И. Хасбулатова, ответственного за организацию Российской академии наук. Интерес представляет общее впечатление Г.И. Марчука от этой встречи: «Во-первых, крайняя доброжелательность проведения заседания, которую проявил лично Хасбулатов. Он, конечно, не сглаживал острых вопросов, говорил и отвечал, не как он думает, а руководствуясь опытом и решениями, которые у него были, и, по-видимому, были всеми обдуманы. И, поскольку он ответственен за организацию Российской Академии, он очень сильно в курсе всех дел, и почти на все главные вопросы он дал ответы» [50]. Основные положения рассуждений Р.И. Хасбулатова, в пересказе Г.И. Марчука, сводилось к следующему:

1. «...С финансированием поможем вам, независимо от того, перейдет Академия наук в структуру России или не перейдет – психологически надо успокоить людей» [51].
2. Одновременно он подчеркнул необходимость «перехода в Россию»; основой для

будущей интеграции может быть та концепция, которая принята Верховным Советом; «переход не может сильно затягиваться, но и не может быть немедленным»; следует сформировать согласительную комиссию из оргкомитета формируемой Академии наук России и представителей АН СССР.

3. Союзная роль Академии наук не должна исчезнуть. Полезным будет заключение соглашения о научно-техническом сотрудничестве между суверенными государствами.

4. «Закрепление имущества за институтами, но без коллективной приватизации» – предложение Е.П. Велихова о корпоративной собственности требует изучения.

5. Развивать международное сотрудничество и привлекать дополнительное финансирование: «Нам одним в этот период не выкарабкаться, надо вести более серьезную международную политику».

6. «Провести сокращение ненужных звеньев аппарата и в науке. Это нужно сделать через финансирование, т.е. через финансовые рычаги, но при этом поддержать «обновленные» социальные науки, имеющие сегодня особое значение».

7. «Академия наук СССР должна помочь в формировании новой Академии наук России».

8. «Сохраним социальную защиту ученых. То, что у людей есть, отбираться не будет, но ... работают ли они достаточно? А может быть, ему 90 с лишним лет и он уже не работает?» [52, 53].

После встречи события развивались весьма скоротечно и драматично. На заседании Президиума 1 октября 1991 г. предложено вынести на Общее собрание Академии наук СССР 9–10 октября 1991 г. решение о приостановлении на переходный период деятельности Президента Академии наук СССР академика Г.И. Марчука и Президиума Академии наук СССР, о передаче их функций комиссии во главе с президентом-организатором Российской академии наук академиком Ю.С. Осиповым. Г.И. Марчук отметил, что ратовал за общесоюзную Академию, но поскольку решение было принято подавляющим большинством голосов, с ним согласился. В результате к обсуждению на Общем собрании предлагались две формулировки:

1. Академия наук СССР со всеми ее институтами и другими учреждениями переходит в Российскую Федерацию. Академии возвращается наименование Российская академия наук. Члены Академии автоматически становятся членами АН РСФСР. Вновь избранные члены входят в общий состав.

2. Академия наук СССР сохраняется как общесоюзное научное сообщество, а ее члены остаются членами АН СССР или АН ССГ. Институты и другие учреждения Академии получают самостоятельные статусы независимых учреждений – институтов, центров, ассоциаций, руководимых на началах самоуправления и финансируемых из различных источников фондов [54, 44].

После долгих обсуждений в результате было принято решение о том, что «...интеграция Академии наук с вновь избранным составом Российской академии наук должна быть проведена как можно быстрее», по окончании работы комиссии, разрабатывающей предложения по интеграции АН СССР с вновь избранным составом Российской академии наук. Этот процесс должен быть приурочен к проведению Общего собрания в декабре 1991 г. Возглавить комиссию предложили академику Ю.С. Осипову, сопред-

седателем назначался академик Ю.А. Осипьян [55]. 10 октября 1991 г. Общим собранием принято соответствующее решение [44]. 21 ноября 1991 г. вышел упомянутый выше Указ Президента РСФСР об организации Российской академии наук, подтверждающий, что Российская академия наук является общероссийской, самоуправляемой организацией, действующей на основе законодательства России и собственного Устава; объединяет членов Российской академии наук – действительных членов, членов-корреспондентов и других научных сотрудников учреждений Академии, в своем составе имеет институты, лаборатории, предприятия и т.д. [19]. Первое заседание избранного состава РАН (академиков – 363, чл.-корр. – 716, представителей, избранных в институтах – 376) [56] прошло 17–18 декабря 1991 г. Выступая на открытии собрания, Б.Н. Ельцин заявил: «Наша общая обязанность – и ученых, и политиков, не упустить интересы науки, не забыть, что это важнейший приоритет, стратегическое направление государственной политики... Голос ученого не должен быть тихим и неслышным. Но в то же время считаю не вполне конструктивной роль обязательной оппозиции, в которой якобы научные круги должны находиться по отношению к любой власти... Сегодня, когда идут гигантские преобразования, жизненно необходимы соединения усилий всех, и прежде всего – политиков и ученых, в противном случае, не выиграет никто... Воссоздание РАН мы рассматриваем как одно из направлений возрождения Российского государства. Российская наука занимает достойное место в мировой науке, и сегодня важно не растерять накопленный научный потенциал. В экономике России, как никогда, нужны новые решения по сложным проблемам ресурсосбережения, насыщения потребительского рынка товарами, проработки экономически чистых высокопроизводительных технологий» [57].

Рассуждая о необходимости экономически стимулировать труд ученых, не спекулируя «на высоких мотивах, которые побуждают их к творческой деятельности, снова, как и прежде», не призывая «к голому энтузиазму», Президент РСФСР признавал, что «экономика на науке уже привела к огромным убыткам, которые с трудом поддаются подсчетам». Он утверждал, что является противником такого подхода. Обещая, что «наиболее сложными будут предстоящие 6–8 месяцев», Президент РСФСР заверял, что речь не идет о каком-то отказе от приоритетности науки: «Нет и еще раз нет. Наши возможности по поддержке науки мы будем использовать по максимуму. Красная черта, которую мы не должны перейти – уровень государственной поддержки науки 1991 года» [57]. Одновременно он настаивал на необходимости использования новых походов к финансированию научных исследований: «Мы считаем перспективным проводить его по конкретным программам, значимым для России в целом. Недопустимо равномерно выделять средства по научным специальностям и учреждениям. Правительство предполагает выделить ряд приоритетных направлений, оказывая им особую поддержку...» [57].

Б.Н. Ельцин выступил против бюрократизации работы руководства, за широкое привлечение вузовских ученых к деятельности Академии, за создание учебно-научных центров РАН в основных экономических регионах республики. Очевидно, он использовал основные положения концепции РАН, разработанной еще в 1990 г. Настаивал он и на значимости обеспечения связи академических институтов с отраслевой наукой, которая занимается фундаментальными исследованиями, а также создаваемыми структурами инновационного бизнеса; подчеркивал необходимость поиска наиболее приемлемых форм

постоянного, систематического взаимодействия научного сообщества и власти, на создании государственного фонда поддержки фундаментальной науки при правительстве России, в том числе, международного фонда, в который могли бы обращаться исследователи, научные коллективы. Фонд также мог бы оказывать поддержку молодым ученым, играть определенную роль в их социальной защите, на его средства возможно было бы издавать научные публикации и закупать зарубежную научную литературу [58].

В соответствии с Указом Президента РСФСР от 21 ноября 1991 года об организации Российской академии наук Общее собрание Российской академии наук завершило формирование единой Российской академии наук – РАН. Был утвержден Временный Устав РАН, осуществлены выборы президента и руководства Академии. В ходе работы учитывались и рекомендации Общего собрания АН СССР от 10 октября 1991 г., Конференции ученых академических институтов, Собрания учредителей Российской академии наук. С этого момента Российская академия наук начинала действовать как высшее научное учреждение России, руководствуясь законодательством РСФСР и собственным Уставом. Российская академия наук провозглашалась правопреемником Академии наук по всем вопросам научной и хозяйственной деятельности, социальной сферы, подготовки научных кадров высшей квалификации, отношений с отраслевой и вузовской наукой, с академиями наук независимых государств на территории бывших республик, а также по международным соглашениям [44].

Общее Собрание РАН, начиная свою работу, предполагало, что, наряду с традиционной деятельностью в проведении фундаментальных исследований, Академия будет осуществлять приоритетные исследования и разработки в интересах ускорения социального и экономического развития России; организовывать и проводить экспертизы крупных научно-технических и социально-экономических проектов и программ реформ; разрабатывать прогнозы развития фундаментальной науки и основных направлений научно-технического прогресса в России и за рубежом [59]. В прощальном слове на закрытии Общего собрания Академии наук Президент АН СССР академик Г.И. Марчук заявил о трагедии момента, так как прекращала свое существование Академия наук Союза Советских Социалистических Республик: «Та самая Академия наук, которая в бурях века спасла и сохранила сердце и душу российской науки. Та Академия, которая помогла создать сотни научных школ у себя и в братских республиках, достигла выдающихся мировых результатов практически во всех областях знаний. Советская наука обнаруживала высокую эффективность и удивительную жизнестойкость в очень сложной внутривнутриполитической и международной обстановке потому, что она была целостной системой. Несмотря на слабости и структурные дефекты, мы располагали единым фронтом научных исследований» [60]. Он подчеркнул, что лишь СССР и США в то время обладали национальной наукой с целостным научным фронтом – а это особое качество. Президент АН СССР предупреждал об опасности и ущербности структурной деформации науки, выражал тревогу из-за разрушения научного потенциала страны как целостной системы. Ему казались иллюзорными надежды на финансирование и спасение одной лишь ее части. Академик утверждал: «Наука – единый живой организм, а не конгломерат автономных механизмов. К сожалению, концепции спасения отечественной науки, ее выживания и возрождения нет ни у политиков, ни у научной общественности. Реальные драматические процессы заслонены новыми идеологическими мифами, утопическими прожеками и абстрактными суждениями. Суть

этих процессов проста. Отраслевая наука опорочена в глазах общества как часть ненавистной командной системы. Взамен же пока ничего не предложено. А ведь речь идет о громадном научно-техническом потенциале, миллионе ученых, многие из которых работали в режиме гражданского подвига. Имея скромные ресурсы, которые предоставило им общество, эти ученые часто добивались эффективности, немыслимой в других странах мира. Лишить отраслевую науку средств существования оказалось просто – путем ликвидации министерств. В тяжелом состоянии находится и наука в вузах, также лишившаяся государственной поддержки и социальной защиты» [60]. Г.И. Марчук признавал, что с Академией наук события развивались по-иному: «Здесь объектом разрушения стал сам ее уклад, который формировался 275 лет, а отнюдь не 75, как нас пытаются уверить. В условиях смуты достаточно надломить сердечник, а тело само развалится. Это стало общим методом развала всех основных элементов государственности» [60].

Тяжело читать эту прощальную и во многом пророческую речь ученого. И в специальных комментариях, по нашему мнению, она не нуждается. Г.И. Марчук находил много общего в событиях, происходящих тогда и в 1930-х годах, в выступлениях Л.М. Кагановича и начальника комиссии по проверке Академии наук Ю.П. Фигатнера. Так же, как и радикальные сталинисты в 1930-е гг., критики 90-х обвиняли Академию, прежде всего, в том, что она резко отставала от демократических процессов в обществе: «Живой, хотя, быть может, и больной организм приносят в жертву фантому демократии, понятию, которое и объяснить-то толком не могут... Здесь нет не только ни капли действительной критики, но даже и концептуальной пропаганды, а есть только стремление расколоть общество максимально простыми и грубыми приемами» [60].

То общее, что находят зарубежные и отечественные исследователи в процессах 30-х и 90-х годов XX века – это подчинение реформы собственности политическим идеям, страх перед постепенными переменами, нетерпимость и одержимость быстротой преобразований [61]. Президент АН СССР говорил и о специфике научной деятельности, о творчестве, о чем забывали и, часто, увы, забывают нынешние реформаторы, пытаясь заставить научную сферу работать лишь на экономическую эффективность. Применить принципы демократии к научной истине также абсурдно. Процесс научного познания – это почти всегда противостояние меньшинства, а то и одиночек, – большинству. Г.И. Марчук полагал, что «бездумно экспериментировать, радикально трансформировать» Академию именно в то время недальновидно, а с точки зрения долговременных национальных интересов – глубоко ошибочно. Одновременно он считал главной задачей – преодоление годами формировавшейся невосприимчивости сферы материального производства к научным достижениям. Академик признавал, что ему, его сторонникам не хватило проницательности, умения и твердости: «Мы были слишком зависимы от власти, верили в ее благие намерения и понимание национальных задач. Потомки предъявят нам за это справедливый счет и будут правы» [60].

Не нам, современникам тех и последующих событий, судить. Мы также когда-то были в эйфории от скоротечных перемен, избавления от партийных и комсомольских собраний, идеологических штампов и схем. Но нам приходится в настоящее время отвечать нашим студентам на вопрос, каким образом смогла развалиться великая страна и почему же мы в технологическом отношении отстали сейчас.

Таким образом, судьба Академии наук СССР во многом, как и судьба страны в целом в последние годы ее существования, зависела от множества субъективных и объективных факторов. Борьба за существование Академии наук вписывалась в ускоряющийся центробежный процесс в результате кризиса управления и своекорыстной политики элит. Жизнедеятельность РАН в 1990-е гг. доказала, что часть научного сообщества вполне адекватно и прозорливо оценивала разворачивающиеся в тот период события. Одновременно, полагаем, что новому Президиуму Академии наук, который руководствовался в 1990-е гг., в условиях деиндустриализации и демодернизации страны, развала отраслевой науки, принципом выживания РАН во что бы то ни стало, буквально чудом удалось обеспечить сохранение ядра фундаментальной науки, несмотря на иные приоритеты реформаторов. Предрекая научному сообществу не только успехи и обретения, но и неизбежные разочарования и утраты, последний Президент АН СССР верил, что страна, тем не менее, осилит этот путь, залогом тому – «интеллектуальная мощь нашего сообщества, присущее ему понимание интересов народа и стремление служить благу России, всего народа» [60]. Мы бы добавили в качестве необходимого еще одно условие: аккумуляция позитивного отечественного опыта и неповторение прежних ошибок.

Оптимизация государственной научно-технической политики требует учета специфики российской модели модернизации, пропаганды научно-технических знаний с целью вовлечения общества в трансформационные процессы и осознания им критической значимости технологического рывка, всемерной поддержки науки и образования, формирования высококвалифицированного кадрового потенциала и эффективно действующей национальной инновационной системы.

Литература:

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». // [Электронный ресурс] URL: <http://www.gARAS.ru/hotlaw/federal/1195467/#ixzz5Eyjx9ysQ> (дата обращения: 08.05.2018).
2. Быковская Г.А. Научно-техническая политика российского государства: проблемы исторической преемственности и практической реализации. Воронеж: Издательство РНКИ «Ренакорд», 2004. 368 с.
3. Калинов В.В. Достижения и просчеты государственной научно-технической политики СССР в послевоенный период // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 1. С. 74–87.
4. Бодрова Е.В. Распад СССР: споры о будущем. М.: МАОРИ, 2016. 2016 с.
5. Коптюг В.А. Быть ли Российской Академии наук: [беседа с пред. Президиума СО РАН акад. В.А. Коптюгом / вёл И. Глотов] // Наука в Сибири. 1989. 22 сентября. С. 2–3.
6. Ильина И.Н. Дискуссия о судьбе Академии наук в стенограммах заседаний ее президиума 1980-1990-х гг. // Отечественные архивы. 2017. № 6. С. 41–42.
7. Коптюг В.А. Наука компромисса: [интервью с пред. Президиума СО АН СССР, акад. В.А. Коптюгом / беседу вели В. Иваницкий, Н. Притвиц] // Наука в Сибири. 1990. № 4. С. 2–3.
8. Указ Президиума Верховного Совета РСФСР от 24.01.1990 г. «Об учреждении

Академии наук Российской Федерации // Ведомости Верховного совета РСФСР. 1990. № 6. Ст. 169.

9. Постановление Совмина РСФСР от 13.03.1990 № 88 «О формировании Академии наук РСФСР» [Электронный ресурс] URL: <http://sssr.regnews.org/doc/vq/fw.htm> (дата обращения: 17.10.2017).

10. Коптюг В.А. С нулевого цикла: [интервью с пред. Президиума СО АН СССР, акад. В.А. Коптюгом] // Наука в Сибири. 1991. № 2. С. 4–5; Газета «Советская Россия». 26 декабря 1990 г.

11. Указ Президента СССР от 23.08.1990 № 627 «О статусе Академии наук СССР» [Электронный ресурс] URL: <https://www.lawmix.ru/sssr/2848> (дата обращения: 28.10.2017).

12. Постановление ВС РСФСР от 21.09.1990 «О приостановлении действия статьи 2 Указа Президента СССР "О статусе Академии наук СССР"» [Электронный ресурс] URL: <http://lawru.info/dok/1990/09/21/n1177304.htm> (дата обращения: 11.10.2017).

13. Ведомости Съезда народных депутатов РСФСР и Верховного совета РСФСР. 1991. № 8. Ст. 159; № 13. Ст. 438.

14. Архив Российской Академии наук (АРАН). Ф.2. Оп.1. Д.1675. Л.255-256.

15. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1675. Л.257, 258.

16. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1675. Л.274.

17. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1675. Л. 272.

18. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1675. Л. 275.

19. Указ Президента РСФСР от 21.11.1991 № 228 «Об организации Российской академии наук» [Электронный ресурс] URL: <http://legalacts.ru/doc/ukaz-prezidenta-rsfsr-ot-21111991-n-228/> (дата обращения: 19.11.2017).

20. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1686. Л.19, 21, 22.

21. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1686. Л.20.

22. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1686. Л.23-24.

23. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1686. Л.31.

24. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1686. Л.32.

25. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д. 1686. Л.38.

26. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д. 1686. Л.53.

27. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д. 1686. Л.86-87.

28. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1686. Л.52-53.

29. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д. 1687. Л.21-24.

30. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л. 24.

31. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д. 1687. Л. 23-24.

32. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д. 1687. Л. 32, 33.

33. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л. 23.

34. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л. 24.

35. Вступительное слово президента АН СССР академика Г.И. Марчука «Сохранить научный потенциал страны» // Вестник РАН. 1992. № 1. С. 11–19.

36. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л. 33.

37. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л.41.

38. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л.71.

39. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л. 96.
40. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л.73.
41. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1687. Л. 82.
42. АРАН.Ф. 2.Оп.1. Д.1688. Л.65.
43. АРАН.Ф. 2.Оп.1. Д.1687. Л.75.
44. Резолюция Общего собрания Академии наук СССР 9–10.11.1991 г. «О статусе и задачах Академии наук СССР в современных условиях» // Вестник АН СССР. 1992. № 1. С. 121–124.
45. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1688. Л. 36.
46. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1688. Л. 38.
47. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1688. Л.38-39.
48. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1688. Л.91.
49. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1688. Л.13-14.
50. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1689. Л.126.
51. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1689. Л.127.
52. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1689. Л.128,129;
53. Гончар А.А. О проекте временного Устава Академии // Вестник АН СССР. 1992. № 3. С. 13–16.
54. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1689. Л.136,137;
55. АРАН. Ф.2. Оп.1. Д.1689. Л.12.
56. АРАН Ф. 2. Оп. 1. Д. 1667. Л.4.
57. Выступление Б.Н. Ельцина на Общем собрании Академии наук 17.12.1991 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.arran.ru/?q=ru/exposition17_1 (дата обращения: 11.03.2018).
58. АРАН Ф. 2. Оп. 1. Д. 1667. Л.14-15.
59. Выступления участников общего собрания // Вестник АН СССР. 1992. № 1. С. 19–121.
60. Марчук Г.И. Прощальное слово президента // Вестник АН СССР. 1992. № 1. С. 129-134.
61. Корнаи Я. Доклад на ежегодной конференции Всемирного банка, посвященной проблемам экономического развития (World Bank. Annual Bank Conference on Development Economics – ABCDE). Вашингтон, 18–20 апреля 2000 г. // Вопросы экономики. 2000. № 12 [Электронный ресурс] URL: <http://www.r-reforms.ru/kornai.htm> (дата обращения: 09.07.2018).

References:

1. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 No. 204 "On national goals and strategic objectives of the Russian Federation for the period up to 2024". [Electronic resource] URL: <http://www.gARASr.ru/hotlaw/federal/1195467/#ixzz5Eyjx9ysQ> (date accessed: 05/08/2018). (in Russ.)
2. Bykovskaya G.A. Scientific and technical policy of the Russian state: Problems of historical continuity and practical implementation. Voronezh: Publisher RNKC "Renakord", 2004. 368 p. (in Russ.)

3. Kalinov V.V. Achievements and miscalculations of the state scientific and technical policy of the USSR in the postwar period. *Rossiyskiy tekhnologicheskij zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(1): 74-87. (in Russ.)
4. Bodrova E.V. The collapse of the Soviet Union: Debates about the future. Moscow: MAORI Publ., 2016. 216 p. (in Russ.)
5. Koptyug V.A. Whether to be the Russian Academy of Sciences: [interview with Chairman of the Presidium of SB RAS Acad. V.A. Koptyug / interviewer I. Glotov]. *Nauka v Sibiri* (Science in Siberia). September 22, 1989. P. 2-3. (in Russ.)
6. Ilyina I.N. Discussion about the fate of the Academy of Sciences in the transcripts of its Presidium meetings 1980-1990-ies. *Otechestvennyye arkhivy* (National Archives). 2017; (6): 41-42. (in Russ.)
7. Koptyug V.A. Science of compromise: [interview with Chairman of the Presidium of SB RAS Acad. V. A. Koptyug / conversation led by V. Ivanitsky, N. Pritvitskiy]. *Nauka v Sibiri* (Science in Siberia). 1990; (4): 2-3. (in Russ.)
8. Decree of the Presidium of the Supreme Soviet of the RSFSR of January 24, 1990 "On the establishment of the Academy of Sciences of the Russian Federation". *Vedomosti Verkhovnogo soveta RSFSR* (Bulletin of the Supreme Council of the RSFSR). 1990; (6). Article 169. (in Russ.)
9. Resolution of the Council of Ministers of the RSFSR of March 13, 1990 No. 88 "On the Formation of the Academy of Sciences of the RSFSR" [Electronic resource] URL: <http://sssr.regnews.org/doc/vq/fw.htm> (date accessed: 17.10.2017). (in Russ.)
10. Koptyug V.A. From the ground up: [an interview with Chairman of the Presidium of SB RAS Acad. V.A. Koptyug]. *Nauka v Sibiri* (Science in Siberia). 1991; (2): 4-5; newspaper "Sovetskaya Rossiya" ("Soviet Russia"). December 26, 1990. (in Russ.)
11. Decree of the President of the USSR of August 23, 1990 No. 627 "On the status of the USSR Academy of Sciences" [Electronic resource] URL: <https://www.lawmix.ru/sssr/2848> (date accessed: 10/28/2017).
12. Resolution of the Supreme Soviet of the RSFSR of 09/21/1990 "On the Suspension of Article 2 of the Decree of the President of the USSR "On the Status of the USSR Academy of Sciences"" [Electronic resource] URL: <http://lawru.info/dok/1990/09/21/n1177304.htm> (date accessed: 10/11/2017). (in Russ.)
13. Bulletin of the Congress of People's Deputies of the RSFSR and the Supreme Council of the RSFSR. 1991. No. 8. Article 159; No. 13. Article 438. (in Russ.)
14. Archive of the Russian Academy of Sciences (ARAS). F. 2. Op.1. D. 1675.L.255-256. (in Russ.)
15. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1675. L. 257, 258. (in Russ.)
16. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1675. L. 274. (in Russ.)
17. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1675. L. 272. (in Russ.)
18. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1675. L. 275. (in Russ.)
19. Decree of the President of the RSFSR of 11/21/1991 No. 228 "On the organization of the Russian Academy of Sciences" [Electronic resource] URL: <http://legalacts.ru/doc/ukaz-prezidenta-rsfsr-ot-21111991-n-228/> (accessed: 11/19/2017). (in Russ.)
20. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 19, 21, 22. (in Russ.)

21. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 20. (in Russ.)
22. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 23-24. (in Russ.)
23. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 31. (in Russ.)
24. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 32. (in Russ.)
25. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 38. (in Russ.)
26. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 53. (in Russ.)
27. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 86-87. (in Russ.)
28. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1686. L. 52-53. (in Russ.)
29. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 21-24. (in Russ.)
30. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 24. (in Russ.)
31. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 23-24. (in Russ.)
32. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 32, 33. (in Russ.)
33. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 23. (in Russ.)
34. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 24. (in Russ.)
35. Opening speech of the President of the USSR Academy of Sciences Academician G.I. Marchuk "Save the scientific potential of the country". *Vestnik RAN* (Bulletin of the RAS). 1992; (1): 11-19. (in Russ.)
36. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 33. (in Russ.)
37. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 41. (in Russ.)
38. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 71. (in Russ.)
39. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 96. (in Russ.)
40. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 73(in Russ.)
41. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1687. L. 82. (in Russ.)
42. ARAS. F. 2.Op.1. D. 1688. L. 65. (in Russ.)
43. ARAS.F. 2.Op.1. D. 1687. L. 75. (in Russ.)
44. Resolution of the General Meeting of the USSR Academy of Sciences 9-10.11.1991 "On the status and tasks of the USSR Academy of Sciences in modern conditions". *Vestnik AN SSSR* (Bulletin of the USSR Academy of Sciences). 1992; (1): 121-124. (in Russ.)
45. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1688. L. 36. (in Russ.)
46. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1688. L. 38. (in Russ.)
47. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1688. L. 38-39. (in Russ.)
48. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1688. L. 91. (in Russ.)
49. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1688. L. 13-14. (in Russ.)
50. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1689. L. 126. (in Russ.)
51. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1689. L. 127. (in Russ.)
52. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1689. L. 128,129. (in Russ.)
53. Gonchar A.A. On the draft of temporary regulations of the Academy. *Vestnik AN SSSR* (Bulletin the USSR Academy of Sciences). 1992; (3): 13-16. (in Russ.)
54. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1689. L. 136,137. (in Russ.)
55. ARAS. F. 2. Op.1. D. 1689. L. 12. (in Russ.)
56. ARAS F. 2. Op. 1. D. 1667. L. 4. (in Russ.)
57. Speech by B.N. Yeltsin at the General Meeting of the Academy of Sciences 12/17/1991 [Electronic resource] URL: http://www.arran.ru/?q=ru/exposition17_1 (date accessed:

03/11/2018). (in Russ.)

58. ARAS F. 2. Op. 1. D. 1667. L. 14-15. (in Russ.)

59. Speeches of participants of the General Meeting. *Vestnik AN SSSR* (Bulletin of the USSR Academy of Sciences. 1992; (1: 19-121. (in Russ.

60. Marchuk G.I. President's Farewell Speech. *Vestnik AN SSSR* (Bulletin of the USSR Academy of Sciences. 1992; (1: 129-134. (in Russ.

61. Kornai Ya. Report at the Annual World Bank Conference on Economic Development (World Bank. Annual Bank Conference on Development Economics – ABCDE. Washington, 18-20 April 18–20, 2000. *Voprosy ekonomiki* (Economic Issues. 2000; No. 12 [Electronic resource] URL: <http://www.r-reforms.ru/kornai.htm> (date accessed: 07/09/2018. (in Russ.

Об авторе:

Бодрова Елена Владимировна, доктор исторических наук, профессор, заведующий кафедрой истории Института экономики и права ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78).

About the author:

Elena V. Bodrova, D.Sc. (History, Professor, Head of the Chair of History, Institute of Economics and Law, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia.

Для цитирования: Бодрова Е.В. Академия наук в условиях распада СССР // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 5. С. 55–76. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-55-76

For citation: Bodrova E.V., Academy of sciences in the conditions of the decay of the USSR. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal* (Russian Technological Journal. 2018; 6(5: 55-76. (in Russ.. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-55-76

УДК 821.161.1

DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-77-88

**ДИАЛОГ КУЛЬТУР РОССИИ И ШВЕЦИИ
В КОНТЕКСТЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИРОВОЗЗРЕНИЯ
СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ**

**С.А. Гриценко[@],
Н.И. Чернова,
Н.В. Катахова**

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: gricenko@mirea.ru

Статья посвящена важной в современном междисциплинарном поле проблематике диалога культур. Ввиду исконной «литературоцентричности» русской культуры авторами работы поставлена задача исследования роли и значения русско-шведских литературных контактов последних столетий в культурном сотрудничестве двух стран, оказывающих прямое влияние на формирование мировоззрения современных российских студентов. Поставленная задача обусловила использование в исследовании аналитических методов исторических и филологических наук. В рамках статьи в сжатом виде описана длительная история литературных контактов России и Швеции, начиная с последних десятилетий XVIII века и вплоть до рубежа XX–XXI веков. События литературного мира поставлены в контекст политической истории соперничества и сотрудничества в Балто-Скандинавском регионе. Авторы выделили периоды наиболее насыщенных связей двух культур: 1830–1840-е гг., «скандинавомания» 1880–1890-х гг., ряд десятилетий в советской истории. Доказано, что русская литература (особенно периода «Золотого века») неизменно становилась одним из путей познания шведами России и русского национального характера в его лучших и наиболее характерных проявлениях. В свою очередь, и в России открывали для себя Швецию через творения ее выдающихся литераторов (Ф. Бремер, А. Стриндберга, С. Лагерлёф и др.). Авторы полагают, что установленные русско-шведские литературные связи помогут и в будущем делу налаживания мирных, добрососедских отношений двух пограничных государств путем формирования у студенческой молодежи терпимого, уважительного отношения к культуре соседних стран и народов.

Ключевые слова: диалог культур, формирование мировоззрения, русско-шведские литературные связи, история русской литературы, история России, история Швеции.

DIALOGUE OF CULTURES OF RUSSIA AND SWEDEN IN THE CONTEXT OF FORMATION OF THE WORLD OUTLOOK OF STUDENTS

C.A. Gritsenko[@],
N.I. Chernova,
N.V. Katakova

MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

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

The article deals with dialogue of cultures, the most topical issue in the modern interdisciplinary field. Due to the native "literary centrality" of the Russian culture, the authors have studied the role and significance of Russian-Swedish literary contacts in the cultural cooperation of the two countries, which directly influences the formation of the scientific world outlook of contemporary Russian students during the last centuries. While studying the issue the researchers used the analytical methods of historical and philological sciences. They give a brief description of a long history of literary contacts between Sweden and Russia within the period from the last decades of the eighteenth century to the turn of the 20th and 21st centuries. They analyze the literary world events with due regard for the political context of rivalry and cooperation in the Baltic-Scandinavian region. According to the authors the most active time of the two countries' cultural ties dates back to the period of 1830s – 1840s, including the so-called "Scandinavomania" (1880s – 1890s), and some decades in the Soviet State history. Within their study, the researchers have established that the Russian literature (especially its "Golden Age" time) invariably was one of the ways for Swedes to get knowledge about Russia and the Russian national character in its best and most characteristic manifestations. In its turn, Russians also discovered Sweden for themselves reading works of its outstanding writers (F. Bremer, A. Strindberg, S. Lagerlöf, etc.). The authors believe that the established Russian-Swedish literary contacts will guarantee peaceful and good-neighbor relations of these border states in the future by forming students' tolerant and respectful attitude to the culture of neighboring countries and peoples.

Keywords: dialogue of cultures, formation of the world outlook, Russian-Swedish literary contacts, history of Russian literature, history of Russia, history of Sweden.

Великий русский поэт Ф.И. Тютчев в своих знаменитых строках призывал не пытаться «умом понять» Россию, «...Аршином общим не измерить», вероятно, вследствие ее уникальности, непохожести на другие страны Запада и Востока. Тем не менее, нельзя утверждать, что русская культура и русское искусство развивались обособленно от общемировых тенденций. По этой причине в современной отечественной гуманитарной науке достаточно остро стоит вопрос о взаимодействии, диалоге культур евразийского пространства, его истоках, путях и результатах влияния на наших предков и их ценностные ориентации. В той же мере важным является формирование общей гуманитарной культуры как органической части мировоззрения российской студенческой молодежи, за которой – научное, экономическое и политическое будущее страны.

Следует выделить такую черту российского менталитета Нового и Новейшего времени, как его «литературоцентричность» [1, с. 53-54]. Действительно, именно художественное Слово было и остается одной из главных общественных ценностей, проводником в мир красоты и высокой морали. По этой причине на первый план в круге описанных вопросов не только филологи, но и культурологи, и историки в последние десятилетия выдвигают проблему литературных связей и контактов России с ее ближними и дальними «соседями». При этом поистине бескрайней оказывается история научного изучения связей нашей страны с литературным (и культурным) «центром» Европы – Англией, Францией, германскими государствами. Напротив, периферийными оказываются сюжеты, связанные с взаимоотношениями русской культуры с пограничными, но не такими блестящими национальными культурами. Практически без внимания остаются данные темы применительно к связям России со Швецией – некогда великой державой, с которой нас связывают многовековые политические, экономические и культурные контакты.

Ввиду всего выше сказанного в рамках данной статьи реализуется следующая исследовательская задача: выявить значение литературных связей России и Швеции в истории культур, а также в логике формирования общекультурного мироощущения современного российского студенчества. Поскольку тематика работы предполагает ее существование в междисциплинарном научном поле, то исследовательские методы для решения поставленной задачи сочетают в себе инструментальный и филологический, и исторический науки. Необходимо отметить также очерковый характер данного краткого исследования.

Началом полноценных культурных и, в частности, литературных контактов Российской империи и королевства Швеция считают обычно вторую половину XVIII века [2, 3]. Современный исследователь М.Ю. Люстров, однако, выражает несогласие с данной позицией и своими трудами, посвященными литературным контактам петровской эпохи и даже второй половины XVII в., опровергает ее [4]. Как бы то ни было, культурные контакты двух стран вплоть до «века Екатерины» носили эпизодический и весьма специфический характер. По этой причине данное исследование охватывает период начиная с последних десятилетий XVIII века, когда, во-первых, уже вполне определилась геополитическая позиция стран: Швеция в результате Полтавской битвы 1709 г., Ништадтского мира 1721 г. и Або-Босского мира 1743 г. утратила свое Великодержавие (*Stormakt*), и ее место на Балтике заняла Россия, полноценно заявившая о себе в Европе как великая держава в эпоху Семилетней войны. Во-вторых, национальные литературы двух стран в ту эпоху претерпевали сходные процессы: бурное развитие русской журналистики и художественной литературы в России времен Екатерины II и «Густавианское возрождение» в Швеции, соответственно. Неудивительно поэтому, что к концу столетия явно наметилось сближение художественных вкусов правящих верхушек России и Швеции, и влияние одних и тех же идейных импульсов из Европы (Просвещение, масонство). Общими оказались художественные течения (классицизм, затем преромантические веяния) и языки аристократической культуры – немецкий и французский [3, с. 290]. По той же причине, например, и большинство первых переводов повестей Н.М. Карамзина в Швеции выполнены с этих двух языков [5].

Что касается шведского реваншизма в Балто-Скандинавском регионе, то на рубеже XVIII–XIX вв. он не казался российским образованным и правящим кругам преодолен-

ным. Так, в знаменитых строках «Медного всадника» А.С. Пушкин из Петербурга устало Петра предлагал: «Отсель грозить мы будем шведу!». В памяти же простого народа, напротив, шведы остались как еще одни незадачливые завоеватели Русской земли, и отношение к ним в фольклоре было соответствующее: бытовали ироничные фразы вроде «Пропал, как швед под Полтавой», «Эх ты, швед, не рублена головушка!» [3, с. 291]. А если вспомнить знаменитый эпизод беседы генерала Левашова с Наполеоном, когда русский генерал насмешливо предложил императору французов идти к Москве через Полтаву [6], то станет понятно, что снисходительно-ироническое отношение к реваншистским устремлениям шведов и других завоевателей имело место и в высших кругах русского общества.

Тем не менее с конца XVIII – начала XIX века появляется «взаимный литературно-художественный интерес», хотя и довольно слабый [3, с. 291]. Однако интерес русских литераторов к Швеции как стране европейского Севера [7, с. 111] был, надо полагать, ввиду «оссианизма» несколько большим, чем интерес шведов к огромной, экзотичной, но безнадежно «варварской» России. Несмотря на свою кажущуюся реакционность и отсталость, Россия манила к себе амбициозных шведов: так, из шведского рода вышел А.Ф. Вельтман [8], «забытый» писатель, своеобразный предтеча Гоголя и Лескова, сам затрагивавший в своих произведениях скандинавскую тематику [9, с. 161-162]. В самой Швеции первых десятилетий XIX века, как, впрочем, и в «эру свобод» (1721–1772), и в последующие эпохи в общественных и литературных кругах присутствовали и выраженные русофилы, и ярые русофобы.

Среди первых стоит выделить поэта Эрика Юхана Стагнелиуса (Erik Johan Stagnelius), автора поэмы «Владимир Великий» (*Wladimir den store*, 1817) о крестителе Руси [10]. В этой поэме князь Владимир Святославич изображен как подлинно романтический герой, который побеждает в борьбе за любовь. Шведский автор откровенно идеализировал в поэме русское Средневековье [11, с. 616].

Лагерь же русофобов был более обширен и разнообразен. Он включал в себя шведских консерваторов-реваншистов и принципиальных противников самодержавия – либералов.

Мечтал о восстановлении шведского Великодержавия и консервативно настроенный национальный поэт Швеции, «шведский Пушкин» Эсайас Тегнер (Esaias Tegner), вполне закономерно бывший при этом и поклонником Карла XII, и его эпохи в целом [3, с. 292]. Примечательно, что этот поклонник Карла XII и Наполеона в своем романе «Аксель» (*Axel*, 1822) показывает, как погибает сподвижник первого, не в силах выбрать между долгом и любовью к русской девушке [11, с. 618]. Любопытно, что «романтический» персонаж того же масштаба при этом синхронно появляется и в русской литературе – это Войнаровский, сторонник Мазепы и герой одноименной поэмы К.Ф. Рылеева, реальный прототип которого воевал с тегнеровским Акселем во время Северной войны 1700–1721 гг.

Несмотря на некоторые антирусские тенденции, в самой Швеции первых десятилетий XIX в. произведения русских авторов переводятся, поскольку данная эпоха – период отступления позднего Просвещения и классицизма (с сентименталистскими тенденциями) под напором европейского романтизма. Потому и русские романтики оказались востребованы по другую сторону Балтики [11, с. 616-617]. В первую очередь, по этой причине оказались востребованы «кавказские» поэмы Пушкина и Лермонтова,

а в 1841 г. Ю. Ленстрём защитил первую в Европе и в мире диссертацию, посвященную творчеству Пушкина [12]. Данная работа, хоть и не лишенная ряда существенных недостатков, все же сумела обратить на себя внимание шведской общественности. Впрочем, большого интереса к Пушкину она не вызвала. В целом, в шведском ограниченном интересе к русской литературе в ту эпоху и позднее сквозила некоторая снисходительность, «национальное самодовольство»: хотя они и не ставили себя выше других наций открыто, однако неизменно сочувствовали всем, кому не посчастливилось родиться шведом [13, с. 208]. По всей видимости, это лишь еще один отголосок утраченного в XVIII столетии Великодержавия.

Русские той эпохи, напротив, в целом отзывались о Швеции и шведах весьма положительно [14, с. 24-26]. Вероятно, именно тогда, в начале XIX столетия, начинает складываться в целом симпатичный образ шведов как нации надежных, молчаливых, деловых людей [13, с. 206]. С симпатией в России относятся и к появляющимся переводам шведских авторов: русская публика открывает для себя уже в 1820-е гг. Тегнера, Гейера, а позднее и шведоязычных финнов Топелиуса и Рунеберга [3, с. 292-293]. В судьбоносном для шведско-русских литературных контактов 1841 году, кроме защиты диссертации Ленстрёма и перевода «Капитанской дочки» О.А. Мёрманом (Meurman) [15, с. 61], происходит открытие первой в «шведском мире» кафедры русской словесности в университете Гельсингфорса (Хельсинки). Ее возглавил Яков Грот – обрусевший балтийский немец, проживавший до этого в Санкт-Петербурге, а в Финляндии в следующие годы немало сделавший для популяризации русской литературы, русского языка и культуры России в целом [16]. Примеру Грота последовал ряд других крупных отечественных ученых, приезжавших работать в Швецию и Финляндию. Так, в самой Швеции периодически работали сам Я. Грот и преподаватели из Гельсингфорса, в архивах Стокгольма проводил исследования в области внешнеполитической истории Балтийского региона в XVII веке русский историк Георг Форстен, там же работал некоторое время этнограф М. Ковалевский [3, с. 296]. Несколько позднее в российских архивах, в свою очередь, трудился крупный шведский историк-русист Харальд Йерне (Harald Hjärne) [3, с. 297]. Исследования российской истории привели шведского специалиста к выводу о том, что Россия не является частью западного, европейского сообщества. Напротив, страна азиатского деспотизма способна разрушить европейский мир, и задача Швеции как пограничной с ней державы – сдерживать русский натиск на Запад. Фактически из историка либеральных убеждений Х. Йерне с начала XX века стал убежденным консерватором, «другом» шведской обороны и одним из творцов мифа о «русской угрозе» Скандинавии [17].

Действительно, одной из главных дебатировавшихся в шведском обществе середины XIX века тем стали намерения России на севере Европы, а равно установившийся в Российской империи режим правления. Несколько десятилетий шведы (и особенно либералы) единодушно осуждали русское самодержавие. Даже консервативный дипломат Нольдин, «добрый знакомый Пушкина», в своих донесениях в Швецию изрядно ругал николаевский режим [3, с. 294]. Он же присылал Пушкину «литературную контрабанду», а после смерти поэта отправил подробное донесение о нем, как о не имеющем себе равных в русской литературе [18, с. 1]. Быть может, Пушкин хотя бы тем был симпатичен шведам-современникам, что родился 6 июня по новому стилю – в национальный день Швеции, хотя эта связь поэта со Швецией, разумеется, достаточно анекдотична [18, с. 1].

Параллельно с выходом переводов прозаических произведений Пушкина и «Героя нашего времени» М.Ю. Лермонтова в 1830-х – 1840-х гг. постепенно зарождается и шведский реализм – параллельно, но отчасти и под влиянием русского, с некоторым запозданием и сохранением романтических черт (творения Альмквиста, Фредерики Бремер и др.) [11, с. 621]. Так, Ф. Бремер «чувствительно» и нравоучительно описала в своем романе «Семейство, или домашние радости и огорчения» (перевод вышел в Санкт-Петербурге в 1842 г.) быт буржуазной шведской семьи, за что и подверглась критике В.Г. Белинского [19].

Несколько позже, в 1870-х гг., появление русскоговорящего населения в Финляндии (дачников в финских шхерах) привело к усилению интереса к русской реалистической литературе и в Великом княжестве Финляндском [5]. Общую же идейную основу перехода шведоязычной литературы от романтизма к реализму сформулировал датчанин Г. Брандес, который посчитал появляющиеся реалистические произведения *gennembrud litteratur* («литературой прорыва»), средством преодоления скандинавской словесностью отсталости и региональной ограниченности [11, с. 621].

Расширились во второй половине XIX века и научные, особенно межуниверситетские связи: в 1877 г. на праздновании 400-летия Упсальского университета присутствовала русская делегация во главе с пожилым Я. Гротом, который всех и каждого в своих торжественных речах убеждал, что Россия после «великих реформ» Александра II стремительно европеизируется, следуя, в том числе, и шведскому примеру. Швецию же, по словам Э. Тегнера, еще в 1830–1840-х гг. преобразили три вещи – «мир, вакцина и картофель» [20, с. 180], под которыми понимались:

- долговременное неучастие страны в европейских войнах начиная с 1814 г., ставшее в современности доброй традицией нейтралитета;
- улучшение здравоохранения и победа над многими опасными инфекционными заболеваниями;
- прорыв в сельском хозяйстве страны, обеспечивший шведам существование без выраженных голодных лет.

К сожалению, шведская «формула успеха», применимая к малой стране, оказалась неосуществимой в российских условиях, и многие шведы-интеллектуалы не поверили – и не без оснований – в быстрое преобразование Российской империи после отмены крепостного права.

В значительно большей степени на настроения в шведском обществе влияла дальнейшая экспансия русского языка и культуры в Швеции. В 1883 г. в университете в Упсале начали преподавать славянские языки, в первую очередь, русский. Появляются серьезные ученые-гуманитарии, посвятившие себя изучению славянского мира: языковеды-русисты А. Лунделль и Р. Экблум, блестящий литературовед и переводчик с русского языка А. Йенсен, археолог Туре Арне [3, с. 300]. Излишне говорить, что все указанные деятели были настроены к России в достаточной мере дружелюбно.

1880-е – 1890-е гг. в России проходят под знаком сдержанного «скандинавизма» – интереса и симпатии к скандинавской, в первую очередь, разумеется, шведской культуре. Например, шведскую литературу рубежа XIX–XX вв. с ее модернистскими, символистскими и неоромантическими тенденциями хвалили М. Горький и А.П. Чехов. Послед-

ний считал, что «талантливые шведы заняты коренными вопросами духа» [11, с. 624]. В России восхищались «прогрессивной» Швецией, и имена Августа Стриндберга (A. Strindberg), Сельмы Лагерлёф (Selma Lagerlöf), Густава Гейерстама (Gustaf af Geijerstam) были у всех на слуху. Пьесы Стриндберга ставили многие российские театры, в этом отношении он уступал из всех скандинавов лишь норвежцу Г. Ибсену. Русская делегация прощалась со Стриндбергом в 1910 г. [21], в то время, когда далеко еще не все соотечественники могли по достоинству оценить гений умершего драматурга.

В самой Швеции рубежа веков достаточно активно интересовались творениями русских «титанов» Достоевского, Толстого, Тургенева, увлекались Чеховым, следили за поэзией русского «Серебряного века», но не забывали и о литературе более раннего времени. Так, усилиями А. Йенсена и др. продолжилась публикация переводов Пушкина, их количество к 1897 г. достигло пятидесяти [18, с. 1].

Бурные события Первой мировой войны и русской революции 1917 г., конечно, не могли не изменить характера взаимоотношений между странами. После событий Октября ряд мастеров шведской культуры (Эллен Кей, Сельма Лагерлёф, Карин Бойе), а также датчанин Г. Брандес провозгласили солидарность с Советской Россией, участвовали в акциях помощи ей, когда в начале 1920-х гг. в стране разразился страшный голод [11, с. 630]. С другой стороны, шведские правительства либералов и социал-демократов холодно отнеслись к установлению большевистской диктатуры, потому в Швецию в первые годы после революции мигрировало более 2000 сторонников белых. Подавляющее большинство из них осталось в Скандинавии по политическим причинам – вернулись в СССР к 1946 г. лишь 180 из них [3, с. 302].

Отношения Швеции и Советской России на официальном уровне долгое время остались достаточно прохладными. Только в 1920 г. было заключено первое торговое («красинское») соглашение между странами, а официальное признание СССР Швецией последовало лишь в 1924 г. В обстановке НЭПа вновь стало возможно усиление культурного обмена, и в том же году создается Шведско-русское объединение. Правда, возглавил его старый прогерманист и открытый русофоб географ Свен Хедин (Sven Hedin) [22], отчего деятельность данной организации имела весьма ограниченный эффект в плане культурного сближения двух стран.

Сквозная тенденция культурных и любых иных связей России и Швеции в советские годы – их полная зависимость от воли советского руководства. С начала 1930-х гг. и вплоть до смерти И.В. Сталина в 1953 г. СССР находился в значительной культурной изоляции от остального мира. Одним из немногих проводников связей со Швецией в такой непростой обстановке оставалась А.М. Коллонтай – долговременный советский посол в Швеции и Норвегии [3, с. 303]. Кроме личных контактов Коллонтай, в 1935 г. появилось сильно политизированное «Общество для поощрения культурных и научных связей Швеции и СССР», а после Великой Отечественной войны его сменило «Общество дружбы» СССР и Швеции. В деятельности последнего принимал участие Георг Брантинг, сын одного из основателей и первого лидера Социал-демократической рабочей партии Швеции (СДРПШ) Я. Брантинга [3, с. 306] и, по некоторым данным, агента советских спецслужб в Швеции. Следовательно, и на сей раз контакты двух стран были возможны лишь через отдельных лиц.

После XX съезда КПСС, начала десталинизации и «оттепели», а особенно после полета в космос Ю.А. Гагарина симпатии шведов к СССР усилились. Следствием потепления в отношениях двух стран стало открытие кафедр славистики во многих университетах Швеции с обязательным преподаванием русского языка на них, а также вручение в 1965 г. Нобелевской премии по литературе советскому писателю М.А. Шолохову. В середине 1960-х гг. последовал некоторый всплеск интереса и к русской литературе XIX века, от Тургенева до Чехова. Однако после подавления вооруженными силами стран-участников Организации Варшавского договора «пражской весны» в 1968 г. наступил период нового охлаждения шведов по отношению к Советскому Союзу [3, с. 308].

В то время, когда в СССР продолжалась брежневская «эпоха застоя», в Швеции восхищались противниками «системы» – диссидентами. Кумирами скандинавской общественности в 1970-е гг. стали А.И. Солженицын, А.Д. Сахаров, И.А. Бродский... В начале 1980-х гг. последовал очередной шквал обвинений СССР в развязывании новой гонки вооружений в рамках «холодной войны», и шведское правительство начало настоящую охоту по шхерам за якобы шпионившими там советскими подводными лодками. Разумеется, на культурное взаимодействие двух стран эта политическая истерия наложила самый негативный отпечаток [3, с. 308-309].

Ситуация начала меняться к лучшему в годы «перестройки», а полная свобода установления контактов между странами закономерно настала в 1990-е гг., после краха СССР. Несмотря на значительные сложности с финансированием отечественной науки и публикационной деятельности, отъездом за рубеж многих видных ученых и прочими факторами [23, с. 196], в те годы усилились контакты ученых-гуманитариев двух стран. Многим научным проектам в РФ помогло финансирование Шведского Института (Svenska Institutet)¹, началось издание шведских научных работ в России и, наоборот, отечественных гуманитарных трудов в Скандинавии. Кроме того, в постсоветскую эпоху открылся «Шведский Центр» при РГГУ под руководством Т.А. Тоштендаль-Салычевой, было налажено сотрудничество шведских научных организаций с гуманитарными институтами Российской академии наук и многими российскими университетами [3, с. 312].

Значительным событием, имеющим прямое отношение к русской литературе первой трети XIX века, стало празднование в Швеции в 1999 г. двухсотлетия со дня рождения А.С. Пушкина. В тот год его творчеству и личности уделили довольно большое внимание в шведской прессе. Во многом это заслуга переводчика Челла Юханссона, который приурочил к юбилею издание нового перевода «Евгения Онегина». По мнению Ч. Улофсона, данный рифмованный и стихотворный перевод выполнен на весьма достойном уровне [18, с. 6].

Таким образом, русская классическая литература конца XVIII – последней трети XIX века, знакомство с которой в Швеции началось в тот же период, остается немаловажным фактором культурного взаимодействия двух стран и по сей день. Можно даже сказать, что в определенные исторические периоды (1830–1840-е гг., 1880–1890-е гг., ряд исторических отрезков в XX столетии) она была одним из определяющих факторов, влиявших на восприятие русскими и шведами друг друга, а иногда литературные образы и взаимосвязи оказывали опосредованное воздействие и на политические взаимоотношения двух государств.

¹SI. Svenska Institutet [Сайт] <https://si.se/>

История этого взаимодействия в XXI веке вовсе не окончена, и никто не может сказать, какую роль русская литература указанного периода сыграет в культурной жизни Швеции, а какую – традиционные образы шведов и Швеции в современной культурной и общественной жизни России. В любом случае, налицо пример успешного (хоть и не беспроблемного!) многовекового литературного и, шире, культурного взаимодействия двух соседних, но достаточно разных народов – германского и славянского, представителей «малой» страны и самого большого государства Евразии, стабильных нейтралов и представителей могущественной ядерной державы, наследницы сначала царской, а затем и «красной» Империи. Для современной российской молодежи, получающей высшее образование, данный пример может стать образцом подлинной, не показной дружбы народов, настоящего диалога культур, национального дружелюбия и терпимости к «соседям», которых, на наш взгляд, весьма не хватает в современном беспокойном мире.

Литература:

1. Вихавайнен Т. Восточная граница исчезает. Два столетия России и Финляндии. СПб.: Нестор, 2012. 248 с.
2. Некрасов Г.А. Тысяча лет русско-шведско-финских культурных связей IX–XVIII вв. М.: Наука, 1993. 268 с.
3. Кан А.С. Швеция и Россия в прошлом и настоящем. М.: РГГУ, 1999. 359 с.
4. Люстров М.Ю. Русско-шведские литературные связи в XVII–XVIII вв. // Герменевтика древнерусской литературы. Сборник 13. М.: Знак, 2008. С. 13–272.
5. Nilsson N.Å. Hur den ryska literaturen introducerades Sverige // Äldre svensk slavistik. Uppsala: Slaviska institutionen vid Uppsala Universitet, 1984.
6. Тарле Е.В. Нашествие Наполеона на Россию. 1812 год // В кн. Тарле Е.В. Наполеон. М., 1939. URL: <http://militera.lib.ru/bio/tarle1/13.html> (дата обращения: 31.03.18). (
7. Люстров М.Ю. «Гиперборейский миф» в Швеции и России: О. Рудбек и В. Капнист // Россия XXI. 2008. № 1. С. 108–115.
8. Ильин-Томич А.А. Вельтман Александр Фомич // Русские писатели. 1800–1917. Биографический словарь. Т. 1. М.: Советская энциклопедия, 1989. С. 405–409.
9. Шарыпкин Д.М. Скандинавская тема в русской романтической литературе // В кн.: Ранние романтические веяния. Л.: Наука, 1972. С. 96–167.
10. Августин (Никитин), архимандрит. Князь Владимир, святой, равноапостольный... (из истории русско-скандинавских церковно-литературных связей XVII – начала XIX в.) // Древняя Русь: во времени, в личностях, в идеях. Вып. 3. М., 2015. С. 182–208.
11. Кан А.С. История Швеции. М.: Наука, 1974. 719 с.
12. Lénström Carl Julius. Alexander Puschkin, Rysslands Byron. Upsala, 1841.
13. Сызранцев В.Ю. Шведский менталитет глазами русских // Знание. Понимание. Умение. 2010. № 1. С. 205–208.
14. Чернышева О.В. Шведский характер в русском восприятии (по свидетельствам XIX – XX веков). М.: РГГУ, 1999. 178 с.
15. Håkanson Nils. Fönstret mot öster. Rysk skönlitteratur i svensk översättning 1797–2010, med en fallstudie av Nikolaj Gogols svenska mottagande. Uppsala: Uppsala universitet, 2012.
16. Карху Э.Г. Финляндская литература и Россия, 1800–1850. Таллинн: Эстон. гос. изд-во, 1962. 343 с.

17. Elvander Nils. Harald Hjärne och konservatismen. Konservativ idédebatt i Sverige 1865–1922. Uppsala: Statsvetenskapliga föreningen, 1961. 359 s.
18. Улоффсон Черстин. Пушкин и Швеция // Болдинские чтения 2007. URL: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:656189/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 30.03.18). С. 1–9.
19. Белинский В.Г. Семейство, или домашние радости и огорчения. Роман шведской писательницы Фредерики Бремер. Перевод с подлинника. Санкт-Петербург, 1842. В типографии Фишера. В 8-ю д. л. 741 стр. // Белинский В.Г. Собрание сочинений. В 9-ти томах. Т. 7. Статьи, рецензии и заметки, декабрь 1843 – август 1845. М.: Художественная литература, 1981.
20. Мелин Я., Юханссон А.В., Хеденборг С. История Швеции. М.: Весь мир, 2002. 400 с.
21. Nikolajeva M. När Sverige erövrade Ryssland. Stockholm: Brutus Östlings bokförlag Symposion, 1996. 376 s.
22. Одельберг А. Невыдуманные приключения Свена Хедина. М.: Ломоносовъ, 2011. 368 с.
23. Бодрова Е.В., Кашкин Е.В. Технологическое отставание как фактор распада СССР // Российский технологический журнал. 2017. Т. 5. № 3. С. 189–202.

References:

1. Vikhavainen T. The eastern border disappears. Two centuries of Russia and Finland. St. Petersburg: Nestor Publ., 2012. 248 p. (in Russ.)
2. Nekrasov G.A. A thousand years of Russian-Swedish-Finnish cultural relations of the IX–XVIII centuries. Moscow: Nauka (Science) Publ., 1993. 268 p. (in Russ.)
3. Kan A.S. Sweden and Russia in the past and present. Moscow: RGGU (RSUH) Publ., 1999. 359 p. (in Russ.).
4. Lyustrov M.Yu. Russian–Swedish literary ties in XVII–XVIII centuries. *Germenevtika drevnerusskoi literatury (Hermeneutics of Ancient Russian Literature)*. Collection of works No. 13. Moscow: Znak Publ., 2008. P. 13–272. (in Russ.).
5. Nilsson N.Å. Hur den ryska literaturen introducerades Sverige. Äldre svensk slavistik. Uppsala: Slaviska institutionen vid Uppsala Universitet, 1984. (in Swed.)
6. Tarle E.V. Napoleon's invasion of Russia. 1812. In book: Tarle E.V. Napoleon. Moscow, 1939. URL: <http://militera.lib.ru/bio/tarle1/13.html> (date of access 03/31/18). (in Russ.)
7. Lyustrov M.Yu. “Hyperborean myth” in Sweden and Russia: O. Rudbeck O. and V. Kapnist. *Rossiia XXI (Russia XXI)*. 2008; (1): 108–115. (in Russ.)
8. Ilyin-Tomich A.A. Vel'tman Alexander Fomich. Russian writers. 1800–1917. Biographical dictionary. V. 1. *Sovetskaya entsiklopediya (Soviet Encyclopedia)* Publ., 1989. P. 405–409. (in Russ.)
9. Sharypkin D.M. Scandinavian theme in Russian romantic literature. In: *Rannie romanticheskie veyaniya (Early Romantic Trends)*. Leningrad: Nauka (Science) Publ., 1972. P. 96–167. (in Russ.)
10. Avgustin (Nikitin), Archimandrite. Prince Vladimir, Saint, Equal of the Apostles ... (from the history of Russian-Scandinavian church and literature links of the seventeenth and

early nineteenth centuries). In: *Drevnyaya Rus': vo vremeni, v lichnostyakh, v ideyakh* (Ancient Rus: in time, in personalities, in ideas). Iss. 3. Moscow, 2015. P. 182-208. (in Russ.).

11. Kan A.S. History of Sweden. Moscow: Nauka (Science) Publ., 1974. 719 p. (in Russ.)

12. Lénström Carl Julius. Alexander Puschkin, Rysslands Byron. Upsala, 1841.

13. Syzrantsev V.Yu. Swedish mentality through the eyes of Russians. *Znanie, Ponimanie. Umenie* (Knowledge. Understanding. Skill). 2010; (1): 205-208. (in Russ.)

14. Chernysheva O.V. Swedish character in Russian perception (according to the testimony of the XIX–XX centuries). Moscow: RGGU (RSUH) Publ., 1999. 178 p. (in Russ.)

15. Håkanson Nils. Fönstret mot öster. Rysk skönlitteratur i svensk översättning 1797–2010, med en fallstudie av Nikolaj Gogols svenska mottagande. Uppsala: Uppsala universitet, 2012. (in Swed.)

16. Karhu E.G. Finnish literature and Russia, 1800–1850. Tallinn: Eston. State Publ., 1962. 343 p. (in Russ.).

17. Elvander Nils. Harald Hjärneochkonservatismen. Konservativ idédebatt i Sverige 1865–1922. Uppsala: Statsvetenskapliga föreningen, 1961. (in Swed.)

18. Uloffson Cherstin. Pushkin and Sweden. Boldinskie chteniya (Boldino Readings), 2007. URL: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:656189/FULLTEXT01.pdf> (date of access: 03/30/18). P. 1-9. (in Russ.)

19. Belinsky V.G. Family, or domestic joys and sorrows. The novel of the Swedish writer Frederik Bremer. Translation from the original. St. Petersburg, 1842. In Fisher's printing house. 741 p. In: Belinsky V.G. Collection of works. In 9 volumes. V. 7. Articles, reviews and notes, December 1843 – August 1845. Moscow: Khudozhestvennaya literatura (Fiction) Publ., 1981. (in Russ.).

20. Melin Ya., Juhansson A.B., Hedenborg S. History of Sweden. Moscow: Ves' mir (The whole world) Publ., 2002. 400 p. (in Russ.)

21. Nikolajeva M. När Sverige övervårde Ryssland. Stockholm: Brutus Östlings bokförlag Symposion, 1996. 376 s. (in Swed.)

22. Odelberg A. The nonfictional adventures of Sven Hedin. Moscow: Lomonosov Publ., 2011. 368 p. (in Russ.)

23. Bodrova E.V., Kashkin E.V. Technological lag as a factor of the USSR collapse. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal* (Russian Technological Journal). 2017; 5(3): 189-202. (in Russ.)

Об авторах:

Гриценко Святослав Александрович, кандидат исторических наук, старший преподаватель кафедры иностранных языков, Институт радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Чернова Надежда Ивановна, доктор педагогических наук, профессор, зав. кафедрой иностранных языков, Институт радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Катахова Наталия Владимировна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков, Институт радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

About the authors:

Svyatoslav A. Gritsenko, Ph.D. (History, Senior Lecturer of the Chair of Foreign Languages, Institute of Radioengineering and Telecommunication Systems, "MIREA – Russian Technological University" (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia

Nadezhda I. Chernova, D.Sc. (Pedagogics, Professor, Head of the Chair of Foreign Languages, Institute of Radioengineering and Telecommunication Systems, "MIREA – Russian Technological University" (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia

Nataliya V. Katakhova, Ph.D. (Pedagogics, Associate Professor of the Chair of Foreign Languages, Institute of Radioengineering and Telecommunication Systems, "MIREA – Russian Technological University" (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia

Для цитирования: Гриценко С.А., Чернова Н.И., Катахова Н.В. Диалог культур России и Швеции в контексте формирования мировоззрения студенческой молодежи // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 5. С. 77–88. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-77-88

For citation: Gritsenko S.A., Chernova N.I., Katakhova N.V. Dialogue of cultures of Russia and Sweden in the context of formation of the world outlook of students. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal* (Russian Technological Journal. 2018; 6(5): 77-88. (in Russ. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-77-88

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

Дата опубликования *1 октября 2018 г.*

МИРЭА – Российский технологический университет
119454, Москва, пр. Вернадского, 78.

<http://rtj.mirea.ru>