



## СОДЕРЖАНИЕ

## Научный отдел

## Физика

- Тен Г. Н., Кадров Д. М., Баранов В. И. Модельные потенциалы межмолекулярного взаимодействия пиридина, скатола и пиррола с водой 5
- Орлова А. С., Башкатов А. Н., Генина Э. А., Колбенов И. О., Каменских И. Д., Каменских Т. Г., Тучин В. В. Влияние 40%-го раствора глюкозы на структуру роговицы человека 11
- Тишкова А. С., Каменских Т. Г., Галанжа В. А., Бучарская А. Б., Маслякова Г. Н., Башкатов А. Н., Генина Э. А., Кочубей В. И., Буров А. М., Тучин В. В. Оптимизация фактоэммульсификации различных форм катаракт у пациентов с сахарным диабетом 20
- Черкасова О. А., Угланова В. З. Экологическая диагностика безопасности жилых помещений 25
- Дорохова М. А., Конюхов А. И., Мельников Л. А., Пластун А. С. Конструктивная интерференция оптических солитонов в волокне с периодическим изменением дисперсии 32
- Литвиненко А. Н., Тихонов В. В. Термостабильный перестраиваемый ЖИГ генератор 35
- Березин М. К., Чернавина М. Л., Новоселова А. В., Березин В. И. Численное моделирование вибранных спектров многоатомных молекул 41
- Березин М. К., Чернавина М. Л., Новоселова А. В., Березин В. И. Влияние температуры на интенсивности вибранных полос в спектрах поглощения и резонансной флуоресценции 46

## Университетская летопись

К 100-летию Физического института  
и 70-летию физического факультета

- Аникин В. М. «Приобретать умение делать физические измерения и исследования»: к 100-летию физического образования и физической науки в Саратове 53
- Зёрнов В. Д. Физический Институт Императорского Николаевского университета в Саратове 59
- Голубков П. В. Константин Александрович Леонтьев 65
- Дмитриев Б. С. Пётр Васильевич Голубков: Страницы биографии в контексте истории физического факультета и университета 69
- Усанов Д. А. Большая физическая: лучшая из лучших 76
- Роках А. Г. Третий корпус: пятидесятые – начало шестидесятых годов XX века 77

## Приложения

## Personalia

- Аникин В. М. Дмитрий Александрович Усанов (К 70-летию со дня рождения) 79
- Аникин В. М. Вадим Семенович Анищенко (К 70-летию со дня рождения) 83
- Аникин В. М. Валерий Викторович Тучин (К 70-летию со дня рождения) 87

## Хроника научной жизни

- Аникин В. М., Игнатьев А. А., Ляшенко А. В. Вопросы высшего образования в научном сборнике «Гетеромагнитная микроэлектроника»: к 10-летию первого выпуска 91

## Сведения об авторах

Решением Президиума ВАК  
Министерства образования и науки РФ  
журнал включен в Перечень ведущих  
рецензируемых научных журналов и  
изданий, в которых рекомендуется  
публикация основных результатов  
диссертационных исследований  
на соискание ученой степени  
доктора и кандидата наук

Зарегистрировано  
в Министерстве Российской  
Федерации по делам печати,  
телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций.  
Свидетельство о регистрации СМИ  
ПИ № 77-7185 от 30 января 2001 года

Индекс издания по каталогу  
ОАО Агентства «Роспечать» 36015,  
раздел 39 «Физико-математические  
науки. Химические науки».  
Журнал выходит 2 раза в год

**Заведующий редакцией**  
Бучко Ирина Юрьевна

**Редактор**  
Бучко Ирина Юрьевна

**Художник**  
Соколов Дмитрий Валерьевич

**Редактор-стилист**  
Степанова Наталия Ивановна

**Верстка**  
Ковалева Наталья Владимировна

**Технический редактор**  
Ковалева Наталья Владимировна

**Корректор**  
Крылова Инна Геннадиевна

**Адрес редакции:**  
410012, Саратов, ул. Астраханская, 83  
Издательство Саратовского  
университета  
Тел.: (845-2) 52-26-89, 52-26-85

Подписано в печать 23.06.2014.  
Формат 60×84 1/8.  
Усл. печ. л. 11,16 (12,0).  
Тираж 500 экз. Заказ 26.

Отпечатано в типографии  
Издательства Саратовского  
университета

© Саратовский государственный  
университет, 2014

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**

Журнал публикует на русском и английском языках научные статьи по физике, содержащие новые результаты исследований, статьи учебно-методического характера, содержащие инновационную компоненту, статьи по методологии разделов физической науки, статьи, отражающие хронику научных мероприятий и важных событий в жизни физического сообщества. Материалы, ранее опубликованные или представленные для публикации в другие журналы, к рассмотрению не принимаются.

Рекомендуемый объем статьи – до 16 страниц текста, 5 рисунков и 4 таблицы, объемом кратко сообщения – до 6 страниц текста, 2 рисунка и 2 таблицы. Таблицы не должны превышать 20% общего объема статьи.

На русском языке статья содержит: УДК, заглавие, инициалы и фамилии авторов, название их места работы, электронный адрес автора, с которым ведётся переписка, аннотацию (около 12 строк), ключевые слова (не более 15), текст, благодарности и ссылки на гранты, список литературы.

На английском языке необходимо продублировать: заглавие, инициалы и фамилии авторов, аннотацию, ключевые слова.

Редколлегия рекомендует авторам структурировать текст, используя подзаголовки. Текст должен быть набран и напечатан через 1,5 интервала на бумаге формата А4 с полями 2,5 см, шрифт Times New Roman, размер шрифта основного текста – 14, второстепенного (аннотация, ключевые слова, сноски, таблицы, подписи к рисункам, приложения, список литературы, примечания) – 12; все страницы рукописи, таблицы, рисунки, следует пронумеровать. Таблицы и рисунки представляются отдельно от текста, таблица должна иметь заголовки, на обратной стороне рисунка следует указать его номер, фамилию первого автора. Нумерация источников в списке литературы должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте, ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Для публикации статьи необходимо представить в редакцию:

– подписанный авторами текст статьи, включая резюме и ключевые слова, таблицы, рисунки и подписи к ним (2 экз.);

– сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученые степень и звание, служебные адреса и телефоны, адреса электронной почты, указать автора, ответственного за переписку с редакцией (1 экз.);

– файлы всех вышеперечисленных материалов в форме документа Microsoft Word doc или Word docx;

– направление от организации (1 экз.);

– внешнюю рецензию, заверенную в установленном порядке.

Все перечисленные материалы следует посылать по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, физический факультет, журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика», главному редактору; электронную версию – по адресу: babkov@sgu.ru и aeropost-iv@mail.ru.

Материалы, не соответствующие настоящим правилам, редакцией не рассматриваются.

Сайт журнала: <http://www.sgu.ru/journal/izvestiya/phys>

**CONTENTS****Scientific Part****Physics**

- Ten G. N., Kadrov D. M., Baranov B. I.** Model Potentials of Intermolecular Interaction Pyridine, Skatole and Pyrrole with Water 5
- Orlova A. S., Bashkatov A. N., Genina E. A., Kolbenev I. O., Kamenskikh I. D., Kamenskikh T. G., Tuchin V. V.** Influence of 40%-glucose Solution on a Human Corneal Structure 11
- Tishkova A. S., Kamenskikh T. G., Galanzha V. A., Bucharskaya A. B., Maslyakova G. N., Bashkatov A. N., Genina E. A., Kochubey V. I., Burov A. M., Tuchin V. V.** Optimization of Phacoemulsification in Different Forms of the Cataract in the Patients with Diabetes Mellitus 20
- Cherkasova O. A., Uglanova V. Z.** Ecological Diagnostics of the Safety of Premises 25
- Dorokhova M. A., Konyukhov A. I., Melnikov L. A., Plastun A. S.** Constructive Interference of Optical Solitons in Dispersion Oscillating Fiber 32
- Litvinenko A. N., Tikhonov V. V.** Thermostable Tunable YIG Oscillator 35
- Berezin M. K., Chernavina M. L., Novoselova A. V., Berezin V. I.** Numerical Simulation of Vibronic Spectra for Polyatomic Molecules 41
- Berezin M. K., Chernavina M. L., Novoselova A. V., Berezin V. I.** Temperature Effects in Vibronic Intensity of Absorption and Resonance Fluorescence Spectra 46

**University Annals****On the 100th Anniversary of Institute of Physics and the 70th Anniversary of the Faculty of Physics**

- Anikin V. M.** «To Get the Ability to Do the Physical Dimension and Research». A Centenary of Physical Education and Science in Saratov 53
- Zernov V. D.** Physical Institute of Emperor Nicholas University in Saratov 59
- Golubkov P. V.** Konstantin Aleksandrovich Leontiev 65
- Dmitriev B. S.** Petr V. Gulubkov: Pages of Biography in Context of Physical Faculty and University History 69
- Usanov D. A.** The Great Physical Auditorium: the Best of the Best 76
- Rokakh A. G.** The Third Building: Fifties – Early Sixties XX Century 77

**Appendics****Personalia**

- Anikin V. M.** Dmitry A. Usanov (To the 70-Anniversary from Birthday) 79
- Anikin V. M.** Vadim S. Anishchenko (To the 70-anniversary from Birthday) 83
- Anikin V. M.** Valery V. Tuchin (To the 70-anniversary from Birthday) 87

**Chronicle of Scientific Life**

- Anikin V. M., Ignatiev A. A., Lyashenko A. V.** Problems of Higher Education in Journal «The Heteromagnetic microelectronics»: to the 10<sup>th</sup> Anniversary from the First Issue 91

**Information about the Authors 93**



**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА  
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ»**

**Главный редактор**

Чумаченко Алексей Николаевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Заместитель главного редактора**

Стальмахов Андрей Всеволодович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Ответственный секретарь**

Халова Виктория Анатольевна, кандидат физ.-мат. наук, доцент (Саратов, Россия)

**Члены редакционной коллегии:**

Бабков Лев Михайлович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Балаш Ольга Сергеевна, кандидат экон. наук, доцент (Саратов, Россия)

Бучко Ирина Юрьевна, директор Издательства Саратовского университета (Саратов, Россия)

Данилов Виктор Николаевич, доктор ист. наук, профессор (Саратов, Россия)

Ивченков Сергей Григорьевич, доктор соц. наук, профессор (Саратов, Россия)

Коссович Леонид Юрьевич, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

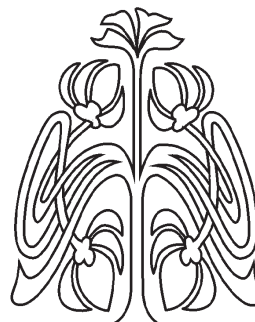
Макаров Владимир Зиновьевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

Прозоров Валерий Владимирович, доктор филол. наук, профессор (Саратов, Россия)

Устьянцев Владимир Борисович, доктор филос. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шамионов Раиль Мунирович, доктор психол. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шляхтин Геннадий Викторович, доктор биол. наук, профессор (Саратов, Россия)



**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL  
«IZVESTIYA SARATOVSKOGO UNIVERSITETA. NEW SERIES»**

**Editor-in-Chief** – Chumachenko A. N. (Saratov, Russia)

**Deputy Editor-in-Chief** – Stalmakhov A. V. (Saratov, Russia)

**Executive Secretary** – Khalova V. A. (Saratov, Russia)

**Members of the Editorial Board:**

Babkov L. M. (Saratov, Russia)

Balash O. S. (Saratov, Russia)

Buchko I. Yu. (Saratov, Russia)

Danilov V. N. (Saratov, Russia)

Ivchenkov S. G. (Saratov, Russia)

Kossovich L. Yu. (Saratov, Russia)

Makarov V. Z. (Saratov, Russia)

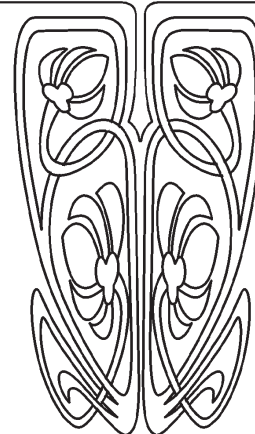
Prozorov V. V. (Saratov, Russia)

Ustyantsev V. B. (Saratov, Russia)

Shamionov R. M. (Saratov, Russia)

Shlyakhtin G. V. (Saratov, Russia)

**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**





**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА  
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ.  
СЕРИЯ: ФИЗИКА»**

**Главный редактор**

Бабков Лев Михайлович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Заместители главного редактора**

Анищенко Вадим Семенович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Тучин Валерий Викторович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Ответственный секретарь**

Прозоркевич Александр Васильевич, доктор физ.-мат. наук, доцент (Саратов, Россия)

**Члены редакционной коллегии:**

Аникин Валерий Михайлович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Виницкий Сергей Ильич, доктор физ.-мат. наук, профессор (Дубна, Россия)

Горохов Александр Викторович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Самара, Россия)

Грибов Лев Александрович, доктор физ.-мат. наук, профессор, чл.-корр. РАН  
(Москва, Россия)

Давидович Михаил Владимирович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

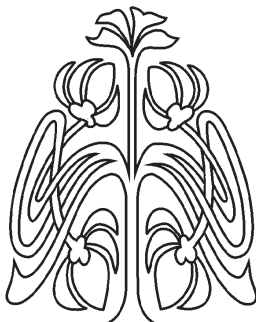
Кудряшов Валерий Павлович, доктор техн. наук (Саратов, Россия)

Мельников Леонид Аркадьевич, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

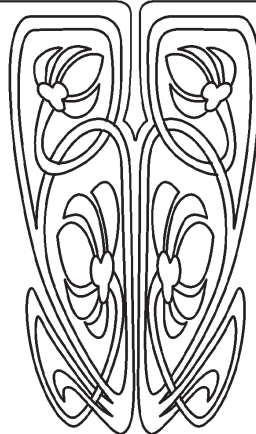
Скрипаль Александр Владимирович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Филимонов Юрий Александрович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шараевский Юрий Павлович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)



**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**



**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL  
«IZVESTIYA SARATOVSKOGO UNIVERSITETA. NEW SERIES.  
SERIES: PHYSICS»**

**Editor-in-Chief** – Babkov L. M. (Saratov, Russia)

**Deputy Editor-in-Chief** – Anishchenko V. S. (Saratov, Russia)

Tuchin V. V. (Saratov, Russia)

**Executive Secretary** – Prozorkevich A. V. (Saratov, Russia)

**Members of the Editorial Board:**

Anikin V. M. (Saratov, Russia)

Vinitsky S. I. (Dubna, Russia)

Gorokhov A. V. (Samara, Russia)

Gribov L. A. (Moscow, Russia)

Davidovich M. V. (Saratov, Russia)

Kudryashov V. P. (Saratov, Russia)

Melnikov L. A. (Saratov, Russia)

Skripal A. V. (Saratov, Russia)

Filimonov Yu. A. (Saratov, Russia)

Sharaevsky Yu. P. (Saratov, Russia)



## ФИЗИКА

УДК 543.42+547.82

### МОДЕЛЬНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПИРИДИНА, СКАТОЛА И ПИРРОЛА С ВОДОЙ

Г. Н. Тен<sup>1</sup>, Д. М. Кадров<sup>1</sup>, В. И. Баранов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет  
E-mail: TenGN@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, Москва

Проведены расчёты длин водородного мостика и частот колебаний связей, участвующих в образовании водородных связей скатола, пиридина и пиррола с молекулами воды в приближении ВЗЛР/6-31G(d,p). Выполнены расчёты модельных потенциалов межмолекулярного взаимодействия рассматриваемых молекул на основе формул Леннарда–Джонса и Морзе, позволившие учесть изменение длины водородной связи в зависимости от числа молекул воды, участвующих в образовании комплексов. Построены потенциальные кривые, характеризующие гидрофильные и гидрофобные свойства скатола, пиридина и пиррола, а также их растворимость в воде.

**Ключевые слова:** скатол пиридин, пиррол, модельный потенциал, водородная связь, гидрофильность, гидрофобность.

#### Model Potentials of Intermolecular Interaction Pyridine, Skatole and Pyrrole with Water

G. N. Ten, D. M. Kadrov, V. I. Baranov

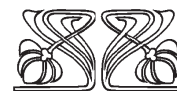
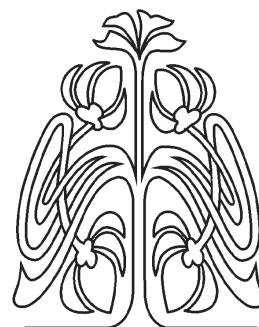
The calculations of the lengths of hydrogen bridge and frequencies of vibrations of bonds in the formation of hydrogen bonds skatole, pyridine and pyrrole with the water molecules in the approximation of ВЗЛР/6-31G(d,p). The calculations of model potentials of intermolecular interaction of the molecules on the basis of formulas Lennard–Jones and Morse, allowed to account for changes in the length of hydrogen bonds depending on the number of water molecules participating in the formation of complexes. Built potential curves characterizing the hydrophilic and hydrophobic properties skatole, pyridine, pyrrole, and their solubility in water.

**Key words:** skatole, pyridine, pyrrol, model potential, hydrogen bond, hydrophilic, hydrophobic.

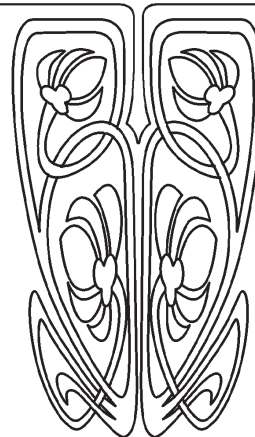
#### Введение

Исследование водных растворов биологически важных соединений необходимо для успешного решения многих научных и практических задач, одной из которых является определение причин, приводящих к гидрофобности или гидрофильности вещества и оказывающих непосредственное влияние на их растворимость.

Как известно, явления гидрофильности и гидрофобности обусловлены силами межмолекулярного взаимодействия с молекулами воды, и они могут проявляться в таких разных физических процессах, как смачивание, растворимость, сворачиваемость белков, формирование мицелл, мембран, поверхностно-активных комплексов и т.д. [1, 2]. Свойство гидрофильности и гидрофобности веществ



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





широко используется в промышленности, технике и научных исследованиях [3, 4]. Например, гидрофильность наноэмульсии применяется для сообщения специальных свойств текстильным материалам, а гидрофобность некоторых веществ – для создания перспективных носителей лекарственных препаратов [5, 6].

В общем случае понятия гидрофильности и гидрофобности применимы не только к телам или их поверхностям, но и к единичным молекулам или отдельным частям молекул. Например, в молекулах поверхностно-активных веществ, таких как цветтер-ионные формы аминокислот, различают гидрофильные (полярные) и гидрофобные (углеводородные) группы [7].

Несомненно, спектральные методы являются одними из самых широко используемых традиционных методов исследования межмолекулярного взаимодействия. Сильное межмолекулярное взаимодействие вещества с водой приводит к значительному смещению частот валентных колебаний, участвующих в образовании водородных связей (ВС), и усилению интенсивности соответствующих полос поглощения (см., например, [8–10]). Поскольку растворимость или нерастворимость веществ в водном растворе обусловлена той же причиной, что и гидрофильность и гидрофобность, а именно межмолекулярным взаимодействием вещества с водой, то часто из-за плохой растворимости гидрофобных веществ методы колебательной спектроскопии оказываются недостаточно информативными. В этом случае целесообразно обратиться к квантово-химическим расчётам, позволяющим теоретически рассматривать свойства молекул, экспериментальное исследование которых затруднено.

Методы компьютерного моделирования растворов позволяют изучить движение частиц на микроструктурном уровне, получить информацию о процессах, происходящих в растворе, провести корректную интерпретацию экспериментальных данных, а также выполнить проверку адекватности существующих межмолекулярных и внутримолекулярных потенциалов взаимодействия. Например, методы молекулярной динамики и Монте–Карло позволили рассчитать структурные и динамические параметры, с помощью которых были объяснены результаты экспериментально наблюдаемых изменений термодинамических и кинетических параметров смесей гептан – метанол и трет-бутанол – вода [11].

Целью данного исследования является определение модельных межмолекулярных потенциалов и их особенностей, отвечающих за гидрофобность скатола, высокую и слабую растворимость пиридина и пиррола соответственно. Используется метод молекулярного моделирования водного раствора, состоящий в расчёте геометрических и спектральных характеристик комплексов скатола, пиридина и пиррола с молекулами воды.

### Результаты и их обсуждение

Ранее был выполнен расчёт комплексов скатола с водой (1:*n*) для определения зависимости длины *l* водородного мостика (ВМ) от числа молекул воды *n*, участвующих в образовании комплекса [12]. Было показано, что наличие гидрофобного хвоста у скатола при увеличении молекул воды ( $n = 2\div 8$ ), окружающих комплекс скатола с одной молекулой воды (1:1), приводит сначала к уменьшению длины ВМ, затем увеличению, и, наконец, начиная с 6-й молекулы воды параметры ВМ практически не меняются, т.е. наблюдается их стабилизация. Значение длины  $l(\text{NH}\dots\text{O})$  становится равной  $\sim 3.3 \text{ \AA}$ , т.е. ВС является очень слабой, что объясняет гидрофобность скатола.

Для пиридина образование комплексов с молекулами воды, число которых меняется от 1 до 5, приводит сначала к уменьшению длины связи  $l(\text{N}\dots\text{HO})$  от 1.94 до 1.61  $\text{ \AA}$ , т.е. ВС становится сильнее. Затем длина ВС с увеличением числа молекул воды не меняется, т.е. стабилизируется (табл. 1).

Совершенно иная картина наблюдается для пиррола. Каждая последующая молекула воды, присоединённая к комплексу 1:1, вытесняет предыдущую молекулу воды в область над ароматическим кольцом. Было показано, что сильное взаимодействие молекул воды с ароматической системой пиррола приводит к ослаблению ВС и к возможности быстрого разрыва ВС между пирролом и водой.

Молекулярные диаграммы скатола, пиридина и пиррола приведены на рис. 1.

Результаты расчёта длин ВМ и частот валентных колебаний связей NH скатола и пиррола, а также частот валентных колебаний OH воды, образующей ВС с пиридином, для комплексов с водой приведены в табл. 1. Расчёт структуры и колебательных спектров был выполнен с помощью программы Gaussian-09 методом DFT в базе 6-31G(d,p) [13].



Таблица 1

Вычисленные значения длин ( $l$ , Å) ВМ и частот ( $\nu$ , см<sup>-1</sup>) валентных колебаний связей NH и OH для скатола, пиррола и воды (для пиридина) при разных количествах молекул воды ( $n$ ), окружающих комплекс 1:1

$n$	Скатол				Пиридин				Пиррол			
	$l(\text{H}\dots\text{O})$	$l(\text{NH})$	$l(\text{NH}\dots\text{O})$	$\nu(\text{NH})$	$l(\text{N}\dots\text{H})$	$l(\text{OH})$	$l(\text{N}\dots\text{OH})$	$\nu(\text{OH})$	$l(\text{H}\dots\text{O})$	$l(\text{NH})$	$l(\text{NH}\dots\text{O})$	$\nu(\text{NH})$
–	–	–	–	3670	–	–	–	3624	–	–	–	3689
1	1.95	0.99	2.94	3513	1.94	0.97	2.91	3551	1.94	1.02	2.96	3519
2	1.84	1.00	2.84	3480	1.85	0.98	2.83	3397	2.00	0.99	2.99	3614
3	1.79	1.02	2.81	3250	1.70	1.00	2.70	3027	1.81	1.06	2.87	3389
4	1.96	0.93	2.89	3397	1.67	1.01	2.68	2889	1.96	1.02	2.98	3522
5	2.34	0.95	3.29	3501	1.67	1.01	2.68	2892	1.80	1.04	2.84	3295
6	2.33	0.98	3.32	3600	–	–	–	–	1.89	1.04	2.93	3481
7	2.33	0.99	3.32	3602	–	–	–	–	1.78	1.07	2.85	3267
8	2.33	0.99	3.32	3609	–	–	–	–	–	–	–	–

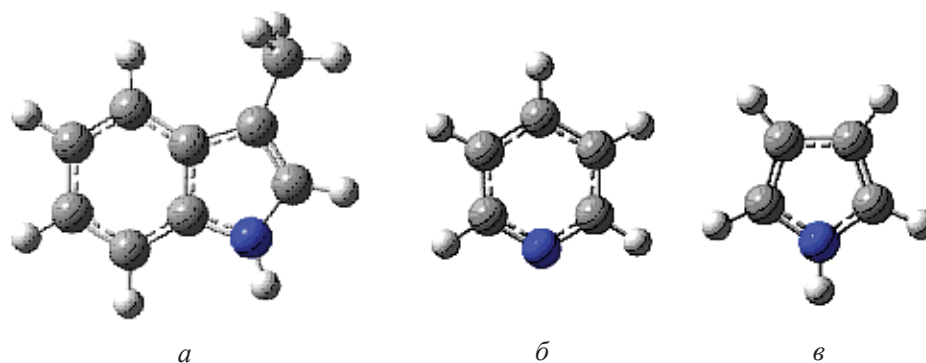


Рис. 1. Молекулярные структуры скатола (а), пиридина (б) и пиррола (в)

Для описания межмолекулярного взаимодействия (ММВ) были использованы потенциалы Леннарда–Джонса и Морзе, описание которых дано, например, в [14, 15]. Выбор этих потенциалов обусловлен тем, что потенциал Леннарда–Джонса позволяет достаточно хорошо учитывать зависимость энергии взаимодействия двух частиц от расстояния между ними (потенциал межмолекулярного взаимодействия убывает по степенному закону как  $r^{-6}$ ), и поэтому его широко используют при компьютерном моделировании, а потенциал Морзе – связать энергию водородной связи с колебательными частотами.

Форма потенциала Леннарда–Джонса определяется как

$$U(r) = 4\varepsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right], \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – глубина потенциальной ямы; а  $\sigma$  – значение  $r$ , при котором  $U(r) = 0$ ; точка минимума соответствует  $r_{\min} = 2^{1/6} \sigma$ .

Потенциал Морзе описывается выражением

$$U(r) = D_e (1 - e^{-\beta(r - r_0)^2}), \quad (2)$$

где  $D_e$  – глубина потенциальной ямы;

$$\beta = \nu \sqrt{\frac{2\pi^2 \mu}{D_e}}, \quad \text{где } \nu \text{ – частота колебания,}$$

$\mu$  – приведённая масса;  $r_0$  – равновесное расстояние.

Известно, что потенциальная функция водородной связи А–Н...В согласно экспериментальным и квантово-химическим исследованиям имеет два минимума и один максимум, причём при сближении атома водорода Н со вторым электроотрицательным атомом В на расстояние меньше чем 1 Å возможен перенос протона, а при расстоянии  $l(\text{A}-\text{H}\dots\text{B})$  более чем 3.5 Å образование ВС маловероятно [16]. Учитывая эти особенности, при моделировании потенциальной поверхности ММВ расстояние между атомами Н...В менялось от 1 до 2.5 Å (считаем, что длина связи А–Н ~ 1Å).

**Скатол.** Особенность скатола заключается в одновременном присутствии гидрофобной и гидрофильной структурных составляющих – бензольное и пиррольное кольца вместе со связями



СН представляют гидрофобную поверхность, гидрофильным центром является гетероатом N.

В связи с этим моделирование потенциальной поверхности ММВ для скатола выполнялось в три этапа.

1. Сначала была построена потенциальная кривая Леннарда–Джонса с использованием параметров, вычисленных для комплекса 1:1. Глубина потенциальной ямы, отвечающая энергии водо-

родной связи  $E_{1:1}^{BC}$ , равная 5,71 ккал/моль, была определена с помощью вычисленных значений энергий скатола  $E^{Скато\lambda}$ , воды  $E_{1:1}^{Вода}$  и комплекса скатола с водой (1:1)  $E_{1:1}^{Скато\lambda:Вода}$  (табл. 2). Точка минимума  $r_{min} = 1,95 \text{ \AA}$  (см. табл. 2); значение  $r$ , при котором  $U = 0$ , составляет  $1,74 \text{ \AA}$ . Полученная потенциальная кривая  $I$  представлена на рис. 2.

Таблица 2

Значения полных энергий  $E$  (а.е.м.) скатола, пиридина и пиррола, молекул воды в комплексах и комплексов скатола, пиридина и пиррола с водой

Скатола	$E$	Пиридин	$E$	Пиррола	$E$
$E^{Скато\lambda}$	-403.135523	$E^{Пиридин}$	-248.292597	$E^{Пиррола}$	-210.176337
$E_{1:1}^{Вода}$	-76.419736	$E_{1:1}^{Вода}$	-76.419736	$E_{1:1}^{Вода}$	-76.419736
$E_{1:1}^{Скато\lambda:Вода}$	-479.564359	$E_{1:1}^{Пиридин:Вода}$	-324.723787	$E_{1:1}^{Пиррола:Вода}$	-286.59607
$E_{1:3}^{Вода}$	-229.267535	$E_{1:5}^{Вода}$	-305.710986	$E_{1:3}^{Вода}$	-229.285114
$E_{1:3}^{Скато\lambda:Вода}$	632.409999	$E_{1:5}^{Пиридин:Вода}$	-554.041288	$E_{1:3}^{Пиррола:Вода}$	-439.49249
				$E_{1:5}^{Вода}$	-382.155333
				$E_{1:5}^{Пиррола:Вода}$	-592.367326
				$E_{1:7}^{Вода}$	-535.060071
				$E_{1:7}^{Пиррола:Вода}$	-745.259677

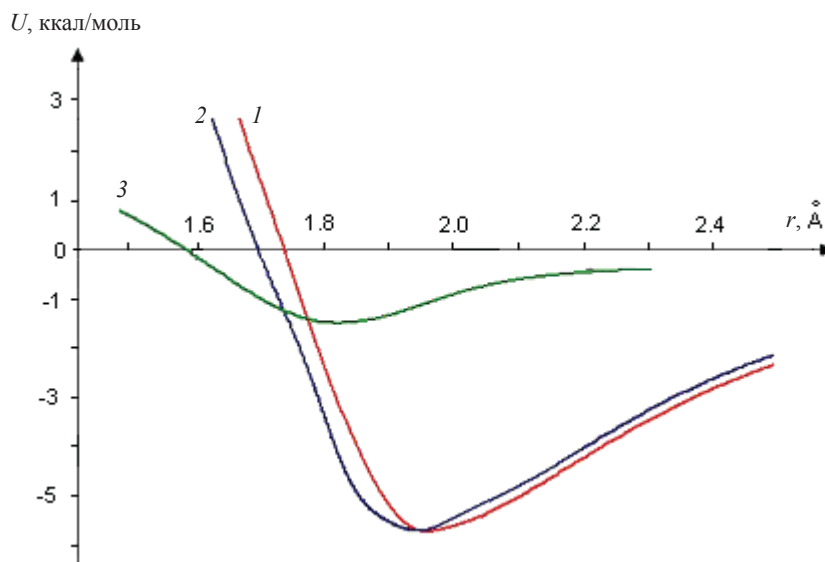


Рис. 2. Потенциальные кривые  $U(r)$  для скатола: 1 – Леннарда–Джонса, 2 – Морзе для комплекса 1:1, 3 – Морзе с учётом окружения комплекса 1:1 молекулами воды

2. Далее была рассчитана потенциальная кривая ММВ по формуле Морзе. Была выполнена нормировка, в результате которой вычисленное по формуле (2) значение частоты для  $r = 1,95 \text{ \AA}$  соответствовало частоте валентного колебания

связи NH в комплексе скатола с водой (1:1), т.е. частоте  $3513 \text{ см}^{-1}$  (см. табл. 1). В этом случае для  $r = 2,50 \text{ \AA}$  частота колебания  $\nu(\text{NH})$  равна  $3635 \text{ см}^{-1}$ , что согласуется с результатами экспериментальных и теоретических исследований





водородной связи, согласно которым при длине ВС  $l(\text{NH}\dots\text{O})$ , равной 3 Å и выше, происходит значительное ослабление ВС с её последующим разрывом. Этот факт подтверждается сравнением частоты  $3635\text{ см}^{-1}$  с частотой нормального колебания связи NH без образования ВС, равной  $3670\text{ см}^{-1}$  (см. табл. 1). Построенная кривая Морзе 2 приведена на рис. 2.

Отметим, что оба модельных потенциала (Леннарда–Джонса и Морзе) были построены для ВС, образованной скатолом с одной молекулой воды (1:1), и характеризовали только гидрофильные свойства скатола.

3. Поскольку гидрофобные свойства скатола проявляются при окружении его несколькими молекулами воды (начинает сказываться влияние гидрофобного хвоста), то для определения потенциальной кривой, учитывающей гидрофобность скатола, были учтены результаты расчёта параметров ВМ для комплексов скатола с водой 1: $n$ , где  $n$  изменяется от 3 до 8 молекул (см. табл. 1). Ранее было показано, что увеличение молекул воды сначала приводит к уменьшению длины ВМ, затем она увеличивается и далее происходит стабилизация её величины [10]. Согласно этим результатам была построена потенциальная кривая Морзе ММВ скатола с молекулой воды, участвующей в образовании комплекса 1:1, при окружении её другими молекулами воды, число которых меняется от 3 до 8 (см. рис. 3, б). В данном случае точка минимума  $r_{\text{min}} = 1,79\text{ Å}$ , а  $E_{1,3}^{BC} = 1,45\text{ ккал/моль}$  (см. табл. 2); значение  $r$ , при котором  $U = 0$ , составляет  $1,59\text{ Å}$ .

Сравнение вычисленных потенциальных кривых, описывающих гидрофильность (см. рис. 2, б) и гидрофобность (см. рис. 2, в) скатола, показывает, что гидрофобность приводит к уменьшению  $r_{\text{min}}$  (на величину  $0,16\text{ Å}$ ) и глубины потенциальной ямы (на  $4,26\text{ ккал/моль}$ ), вследствие чего ВС значительно ослабляется по сравнению с комплексом 1:1. Как показывают результаты расчёта, каждую из полученных потенциальных кривых в области притяжения Н к электроотрицательному атому О, т.е. для  $1,9 < r < 2,5\text{ Å}$ , можно описать степенной функцией  $r^k$  – для гидрофильности показатель степени  $k = -6$ , для гидрофобности  $k = -9$ .

**Пиридин.** Для пиридина, как и для скатола, сначала был рассчитан потенциал Морзе для ММВ, характеризующего комплекс пиридина с одной молекулой воды 1:1. Значения параме-

тров минимума потенциальной ямы:  $r = 1,94\text{ Å}$  ( $l(\text{N}\dots\text{H})$ );  $E_{1,1}^{BC} = 7,18\text{ ккал/моль}$ ; величина  $r$ , при которой  $U = 0$ , составляет  $1,72\text{ Å}$ . Полученная потенциальная кривая  $U(r)$  представлена на рис. 3, а.

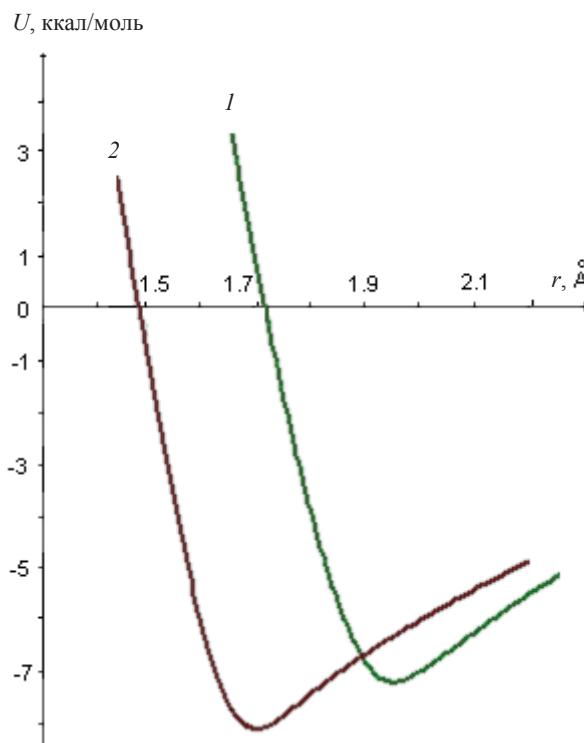


Рис. 3. Потенциальные кривые  $U(r)$  Морзе для пиридина: 1 – для комплекса 1:1, 2 – с учётом окружения комплекса 1:1 молекулами воды

Далее была построена кривая Морзе зависимости потенциальной энергии ВС от длины  $l(\text{N}\dots\text{H})$  при окружении комплекса 1:1 молекулами воды. В отличие от скатола, при достижении минимума  $r = 1,67\text{ Å}$  для  $n = 5$  дальнейшее увеличение числа молекул практически не меняет длину и энергию водородной связи, т.е. наступает стабилизация этих параметров. Глубина потенциальной ямы  $E_{1,3}^{BC} = 7,88\text{ ккал/моль}$ ; величина  $r$ , при котором  $U = 0$ , составляет  $1,49\text{ Å}$  (рис. 3, б). Расчёт показал, что потенциальная кривая, во-первых, хорошо воспроизводит вычисленные значения частот – отличие составляет  $\sim 10\text{ см}^{-1}$ ; во-вторых, она так же, как и потенциальная кривая ММВ для комплекса 1:1, описывается степенной функцией с показателем степени  $-6$ .

**Пиррол.** Как уже отмечалось выше, каждое последующее присоединение к пирролу молекул воды приводит к вытеснению предыдущих моле-



кул воды, образующих с пирролом водородную связь, в область над ароматическим кольцом, но, как и в случаях со скатолом и пиридином, при некотором количестве воды (в данном случае  $n = 6 \div 7$ ) наступает стабилизация параметров водородной связи – длины и энергии (см. табл. 1).

Для того чтобы проследить динамику изменения параметров водородной связи и характер изменения потенциальной кривой в зависимости от числа молекул воды, целесообразно построить кривые Морзе для комплексов 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, для которых значения  $r_{\min}$  соответствовали 1.94, 1.81, 1.80, 1.78 Å; глубина потенциальной ямы – 7.15, 6.49, 3.05, 2.08 ккал/моль (см. табл. 2); значения  $r$ , при котором  $U = 0$ , равны 1.73, 1.61, 1.60, 1.59 Å.

Анализ вычисленных потенциальных кривых Морзе (рис. 4) показывает, что увеличение числа молекул воды приводит к уменьшению глубины потенциальной ямы, необходимой для разрыва старой и образования новой водородной связи, причём величина потенциального барьера при окружении пиррола 7 молекулами воды близка по значению к потенциальному барьеру скатола при проявлении его гидрофобных свойств.

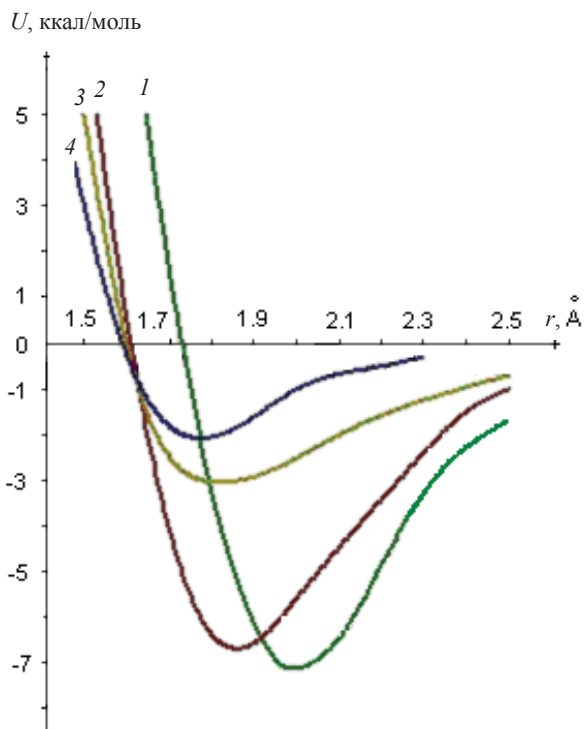


Рис. 4. Потенциальные кривые  $U(r)$  Морзе для пиррола: 1 – для комплекса 1:1, 2 – для комплекса 1:3, 3 – для комплекса 1:5, 4 – для комплекса 1:7

Известно, что энергия водородной связи, например, в димере воды, составляет  $\sim 5$  ккал/моль [10]. Учитывая, что в водном растворе наблюдается конкуренция молекул воды с молекулами растворённого вещества за образование водородной связи, в водном растворе пиридина уменьшение числа связей между молекулами воды компенсируется образованием прочных водородных связей N...OH. Напротив, скатол и пиррол не могут образовывать такие прочные связи с молекулами воды, поэтому скатол и пиррол нерастворимы или слабо растворимы в воде.

### Выводы

Таким образом, выполненный расчёт параметров ВМ и частот валентных колебаний связей, принимающих участие в образовании ВС между скатолом, пиридином, пирролом и водой, показал, что увеличение числа молекул воды приводит к стабилизации параметров ВС (длины и энергии) для всех рассматриваемых соединений. Были определены модельные потенциалы ММВ на основе формул Леннарда–Джонса и Морзе, что позволило связать частоты валентных колебаний с энергией ВС, анализ которых показал, что во всех случаях увеличение числа молекул воды приводит к ослаблению ВС по сравнению с комплексом 1:1. Характер этих изменений различен.

Так, для скатола результаты расчёта комплекса 1:1 позволяют описать только гидрофильные свойства. Для определения гидрофобных свойств необходимо учитывать влияние среды, что возможно сделать методом молекулярного моделирования комплексов скатола с несколькими молекулами воды ( $n = 8$ ). Результаты расчёта показали, что потенциальную кривую в области притяжения Н к электроотрицательному атому О можно описать степенной функцией – для гидрофильности показатель степени равен  $-6$ , для гидрофобности равен  $-9$ .

Для пиридина, как и для скатола, были построены две кривые Морзе – для комплекса 1:1 и при окружении этого комплекса другими молекулами воды. Обе потенциальные кривые хорошо воспроизводят вычисленные значения частот и описываются степенной функцией с показателем степени  $-6$ , причём увеличение числа молекул приводит к увеличению глубины потенциальной ямы, т.е. водородная связь усиливается.

Построенные кривые Морзе для комплексов 1:1, 1:3, 1:5, 1:7 позволили проследить динамику



изменения параметров водородной связи воды с пирролом и характер изменения потенциальной кривой в зависимости от числа молекул воды. Их анализ показал, что увеличение числа молекул воды приводит к уменьшению глубины потенциальной ямы, необходимой для разрыва старой и образования новой водородной связи, причём величина потенциального барьера становится соизмеримой с величиной потенциального барьера скатола при проявлении его гидрофобных свойств.

Результаты расчёта позволяют объяснить одно из важнейших физико-химических свойств – растворимость рассматриваемых соединений в воде: высокую у пиридина, слабую у пиррола и гидрофобность скатола.

### Список литературы

1. *Стайер Л.* Биохимия : в 3 т. М. : Мир, 1984. Т. 1. 232 с.
2. *Кантор Ч., Шиммель П.* Биофизическая химия : в 3 т. М.: Мир, 1984. Т. 1. 336 с.
3. *Адамсон А.* Физическая химия поверхностей. М. : Химия, 1979. 568 с.
4. *Уразаев В.* Влагозащита печатного монтажа. Обзор методов // Электроника НТБ. 2003. № 1. С. 64–69.
5. *Дянкова Т. Ю., Громов В. Ф.* Сорбция красителей волокнами из полигетероариленов // Вестн. СПГУТД. 1999. № 3. С. 110–115.
6. *Korchagina E. V., Philippova O. E.* Nanogels of chitosan and of its hydrophobic derivatives in dilute aqueous solutions // Abstracts of V International Symposium «Supramolecular Systems in Chemistry and Biology». Kyiv, Ukraine, 2009. P. 127.
7. *Анисимов А. А., Леонтьева А. Н., Александрова И. Ф., Каманина М. С., Бронштейн Л. М.* Основы биохимии. М. : Высш. шк., 1986. 551 с.
8. *Пиментелл Дж., Мак-Клеллан О.* Водородная связь. М. : Мир, 1964. 462 с.
9. *Юхневич Г. В.* Инфракрасная спектроскопия воды. М. : Наука, 1973. 208 с.
10. *Билобров В. М.* Водородная связь. Внутримолекулярные взаимодействия. Киев : Наук. думка, 1991. 316 с.
11. *Ивлев Д. В., Киселев М. Г.* Сольвофобные эффекты в смеси метанол – гептан. Молекулярно-динамическое моделирование // Журн. физ. химии. 2001. Т. 75, № 1. С. 74–77.
12. *Тен Г. Н., Яковлева А. А., Баранов В. И.* Теоретическое исследование гидрофобности и гидрофильности индола, скатола и этанола // Журн. структурной химии. 2013. Т. 54, № 6. С. 986–996.
13. *Frisch M. J., Trucks G. W., Schlegel H. B. et al.* Gaussian 09 / Gaussian Inc., Wallingford CT, 2009. 394 p.
14. *Каплан И. Г.* Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. М. : Наука, 1982. 312 с.
15. *Гирифельдер Дж., Кертисс Ч., Берд Р.* Молекулярная теория газов и жидкостей. М. : Изд-во иностр. лит., 1961. 931 с.
16. *Ефимов Ю. Я.* О влиянии геометрии водородного мостика на колебательные спектры воды : простейшие модели потенциала Н-связи // Журн. структурной химии. 2008. Т. 49, № 2. С. 265–273.

УДК 535.015; 53.06; 617.7; 616-073.756.8(04); 617.713-085; 617.741-089; 57.085.1

## ВЛИЯНИЕ 40%-ГО РАСТВОРА ГЛЮКОЗЫ НА СТРУКТУРУ РОГОВИЦЫ ЧЕЛОВЕКА

А. С. Орлова<sup>1</sup>, А. Н. Башкатов<sup>2</sup>, Э. А. Генина<sup>2</sup>, И. О. Колбенов<sup>1</sup>, И. Д. Каменских<sup>1</sup>, Т. Г. Каменских<sup>1</sup>, В. В. Тучин<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского

<sup>2</sup>Саратовский государственный университет

E-mail: eagenina@yandex.ru

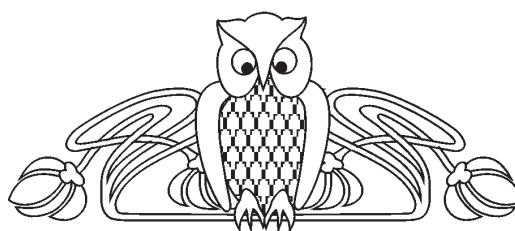
<sup>3</sup>Институт проблем точной механики и управления РАН, Саратов

<sup>4</sup>Университет Оулу, Финляндия

Эффективное лечение больных с послеоперационным отеком роговицы является одной из актуальных проблем офтальмологии. В статье представлены результаты комплексного мониторинга влияния 40%-го раствора глюкозы на состояние нормальной и отёчной роговицы после факоэмульсификации катаракты на основе данных конфокальной микроскопии и оптической когерентной томографии. Показано, что раствор глюкозы вызывает кратковременное набухание здоровой роговицы и дегидратацию отёчной роговицы, а

также оптическое просветление биоткани в обоих случаях. Исследовано влияние раствора глюкозы на состояние эпителиального и эндотелиального слоёв роговицы. Полученные результаты позволяют расширить возможности мониторинга структурных и оптических параметров роговицы в процессе лечения.

**Ключевые слова:** управление оптическими свойствами биотканей, оптическая когерентная томография, конфокальная микроскопия, роговица, катаракта, глюкоза.





## Influence of 40%-glucose Solution on a Human Corneal Structure

A. S. Orlova, A. N. Bashkatov, E. A. Genina,  
I. O. Kolbenev, I. D. Kamenskikh,  
T. G. Kamenskikh, V. V. Tuchin

Effective treatment of the patients with postoperative corneal edema is one of the actual problems in ophthalmology. In this paper results of complex monitoring of influence of 40%-glucose solution on the state of both normal and edematous cornea after a cataract phacoemulsification on the base of data of confocal microscopy and optical coherence tomography have been presented. It has been shown that the glucose solution induces a short-term swelling of the healthy cornea and dehydration of the edematous one, as well as optical clearing of the tissue in the both cases. The influence of the glucose solution on the state of both epithelial and endothelial corneal layers has been studied. The obtained results allow one to extend the possibilities of the monitoring of both structural and optical corneal parameters during the treatment.

**Key words:** control of tissue optical properties, optical coherence tomography, confocal microscopy, cornea, cataract, glucose.

### Введение

В оптической системе глаза ведущую роль играет роговица при условии ее прозрачности. Роговица имеет слоистую структуру. Спереди она покрыта эпителием, состоящим из шести клеточных слоёв, имеющих толщину ~ 40 мкм. Основное вещество роговицы (~90%) состоит из прозрачной соединительнотканной стромы и плоских клеток (кератоцитов), занимающих 3–5% объёма роговицы. Толщина стромы составляет ~ 500 мкм. Спереди и сзади к строме прилегают две пограничные пластинки. Передняя пластинка, или Боуменова оболочка (~ 10 мкм толщиной), является производным основного вещества роговицы. Она отделяется от внешнего эпителия мембраной толщиной ~ 0.05 мкм. Задняя, или Десцеметова, оболочка является производным эндотелия, покрывающего заднюю поверхность роговицы, а также всю переднюю камеру глаза. Вместе с эндотелием Десцеметова оболочка составляет ~ 10 мкм [1, 2].

Основным компонентом стромы являются плоские плотноупакованные ламели. Они имеют приблизительно одинаковую толщину ~ 2 мкм и состоят из одинаковых по диаметру коллагеновых фибрилл, окружённых однородным макромолекулярным раствором, так называемым базовым веществом, содержащим большое количество протеогликанов и гликопротеинов. Внутри ламели фибриллы, имеющие диаметр приблизительно 25–30 нм, располагаются параллельно друг другу и поверхности роговицы [1, 3]. Объёмная доля фибрилл в роговице составляет порядка 32% [4]. Показатели преломления фибрилл (при физио-

логической степени гидратации) и базового вещества (внутриклеточной жидкости) составляют соответственно 1.413 и 1.359 [5].

Несмотря на разность показателей преломления коллагеновых фибрилл и базового вещества роговицы, регулярная упаковка фибрилл стромы обеспечивает высокую степень её прозрачности [1, 3, 5, 6]. Регулярность упаковки обеспечивается протеогликанами базового вещества, которые, имея одинаковый малый размер, заполняют пространство между фибриллами коллагена и удерживают фибриллы на одинаковом расстоянии с помощью цепочек гликозаминогликанов [7, 8]. Основными рассеивателями роговицы являются эпителиальный и эндотелиальный клеточные слои и кератоциты, находящиеся внутри стромы [1]. Рассеяние роговицы минимально в центре и увеличивается в периферийных областях, что связано с более плотной упаковкой фибрилл в центральной части и увеличением диаметра фибрилл и отношения показателей преломления фибрилл и базового вещества к периферии [9, 10].

Любое изменение морфологии роговицы приводит к нарушению её оптических свойств и тем самым к снижению остроты зрения. Поддержание прозрачности роговой оболочки – это целый комплекс физиологических процессов, включающих баланс между силами, которые способствуют проникновению жидкости в её строму, и силами, тормозящими этот процесс. В норме 58% веса роговицы приходится на воду [4]. В результате имbibции роговицы жидкостью разрушается регулярное расположение коллагеновых фибрилл, и в промежутках между фибриллами возникают участки с флуктуациями показателей преломления компонентов биоткани, что приводит к нарушению её прозрачности [5, 11]. Тенденцию стромы роговой оболочки накапливать жидкость сдерживает насосная функция клеток заднего эпителия роговицы (ЗЭР). Функционирование насоса двойного действия осуществляется через мембраны клеток, обеспечивая поступление питательных веществ в строму роговицы и выведение продуктов обмена. Эндотелий отличается избирательной проницаемостью для разных ингредиентов [12–14]. Барьерная функция эндотелия обеспечивает постоянный уровень гидратации стромы, определяет сохранность толщины и прозрачности роговицы [15].

К сожалению, клетки ЗЭР человека не способны к регенерации. Декомпенсация функции клеток ЗЭР возникает вследствие резкого снижения количества клеток на единицу площади



или качественного изменения их структуры. Замещение дефектов происходит путем смыкания соседних клеток, при этом они растягиваются, уплощаются и увеличиваются в размерах. Подобные изменения могут быть следствием возрастных изменений или травматизации клеток в ходе внутриглазных операций. Одним из проявлений повреждения ЗЭР и нарушения его функции является послеоперационный отек роговицы, при длительном существовании переходящий в эндотелиально-эпителиальную дистрофию.

Эффективное лечение больных с послеоперационным отеком роговицы является одной из актуальных проблем офтальмологии. Использование биосовместимых гиперосмотических жидкостей в хирургической практике для снятия отека биоткани известно достаточно давно [16, 17], однако исследование возможности применения для снятия отека новых гиперосмотических агентов продолжает оставаться достаточно актуальным. Вследствие их биосовместимости и разрешенности к клиническому применению, водные растворы глюкозы являются одним из наиболее вероятных кандидатов (среди гиперосмотических веществ) на роль агента для снятия отека роговицы.

В настоящее время проводятся многочисленные исследования, посвященные изучению механизмов управления гидратацией роговицы и развитию новых методов количественной оценки содержания воды и её распределения внутри роговицы [18–22]. Оптическая когерентная томография и конфокальная микроскопия являются одними из наиболее широко распространенных методов неинвазивного контроля толщины и показателя преломления роговицы, исследования ее структурных особенностей, а также мониторинга диффузии лекарственных препаратов и гиперосмотических агентов в биоткань [11, 19–26]. При этом сочетание нескольких методов визуализации позволяет расширить возможности диагностики структурных и оптических параметров роговицы [27, 28].

Целью работы является комплексное исследование влияния водного 40%-ного раствора глюкозы на роговицу глаза человека *in vivo* и возможности снижения послеоперационного отека роговицы после факоэмульсификации катаракты.

### Материалы и методы

Исследования были выполнены на кафедре оптики и биофотоники Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского и в клинике глазных болезней Саратовского

государственного медицинского университета им. В. И. Разумовского.

Материалом для *in vitro* исследования зависимости гидратации роговицы от pH раствора, используемого для проведения *in vivo* исследований, послужили десять свежезнуклеированных глаз лабораторных животных (кроликов). Толщина роговицы кролика составляла ~ 400 мкм. Образцы роговицы погружали в буферные растворы с pH в диапазоне от 3 до 9. Буферные растворы были подготовлены с использованием цитрата натрия ( $C_6H_5O_7Na_2 \cdot 5H_2O$ ), лимонной кислоты ( $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ ),  $(Na_2HPO_4)$ ,  $KH_2PO_4$ , карбоната натрия ( $Na_2CO_3$ ) и бикарбоната натрия ( $NaHCO_3$ ). Показатели pH этих растворов, измеренные pH-метром (Hanna Instruments GmbH, Германия) с использованием стандартной методики, принимали следующие значения: 3.07, 4.04, 4.91, 5.5, 5.91, 7.01, 8.59 и 8.99.

Для определения степени гидратации образцы взвешивались на электронных весах SA210 (Scientech, США) (точность взвешивания  $\pm 1$  мг). Взвешивание каждого образца проводилось каждые 10 мин в течение 2 часов.

Степень гидратации образцов роговицы рассчитывалась с помощью уравнения

$$H(t) = \frac{M(t) - M(t=0)}{M(t=0)},$$

где  $M$  – масса образцов роговицы,  $t$  – время [29].

Клиническая часть исследования проводилась на базе клиники глазных болезней. Были обследованы 60 пациентов (60 глаз), из них 37 мужчин и 23 женщины в возрасте от 22 до 72 лет. Больные были разделены на 2 группы: 30 человек с послеоперационным отеком роговицы после факоэмульсификации катаракты составили I группу, 30 лиц без патологии роговицы – II группу (контрольную).

Исследование роговицы *in vivo* проводилось методами лазерной сканирующей конфокальной томографии (ЛКТ) и оптической когерентной томографии (ОКТ) с использованием конфокального томографа Heidelberg Retina Tomograph (HRT-II) с роговичным модулем Rostok Cornea Module (RCM) (Heidelberg Engineering GmbH, Германия), позволяющего получать послойное изображение роговицы, лимба и конъюнктивы, а также производить подсчет клеток эндотелия и внутрироговичную пахиметрию, и ОКТ-томографа Topcon 3D OCT-1000 (Topcon, Япония).

Источником света, используемым в ЛКТ, являлся диодный лазер с длиной волны 670 нм. Размер исследуемой зоны составлял  $400 \times 400$  мкм,



размер изображения – 384×384 пикселей, аксиальное разрешение – 4 мкм, латеральное разрешение – 2 мкм. Скорость регистрации изображений составляла 30 кадров/с. В процедуру обследования входила местная анестезия и экспозиция контактного геля, который наносился на водно-иммерсионный объектив. Режим обследования мануальный, подсчет клеток для каждого клеточного слоя осуществлялся полуавтоматически.

Источником излучения в ОКТ-томографе служил суперлюминесцентный диод с длиной волны 840 нм. Оптическая мощность на поверхности роговицы составляла 650 мкВт, частота – 6.5 Гц, аксиальное разрешение – 6 мкм, латеральное разрешение – 20 мкм. ОКТ позволяла верифицировать глубину и протяженность патологического очага и определять толщину роговицы.

ЛКТ и ОКТ роговицы проводились всем пациентам до инстилляций (2 капли – 0.1 мл) 40%-го стерильного раствора глюкозы (ОАО «Новосибхимфарм», Новосибирск, Россия), а затем через 20 мин и 40 мин после инстилляций. После каждого измерения по данным ЛКТ рассчитывалась плотность и средний диаметр эпителиальных и эндотелиальных клеток роговицы. По данным ОКТ исследования определялась средняя толщина роговицы для каждой группы. Среднеквадратичное отклонение исследуемых параметров рассчитывалось по формуле

$$sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{l} - l_i)^2}{N(N-1)}}$$

где  $N$  – число измерений и  $l_i$  – исследуемый параметр,  $i$  – номер пациента в группе.

Показатель преломления используемого раствора глюкозы, измеренный с помощью рефрактометра Аббе на длине волны 589 нм, – 1.39, рН раствора – 4.0.

### Результаты и их обсуждение

Одним из характерных свойств коллагена, являющегося основным белком роговицы глаза и образующим скелет внутритканевого матрикса, является его способность к набуханию (т.е. способность молекул коллагена связывать какое-либо количество молекул воды), причем степень набухания изменяется в зависимости от кислотных свойств раствора. Изменение рН среды в более кислую или щелочную сторону от изоэлектрической точки коллагена увеличивает степень его набухания, что связано с появлением положительного или отрицательного заряда у молекул белка. Поэтому до проведения *in vivo* исследований, с целью оптимизации рН гипертонического раствора, используемого для снятия отека роговицы, была исследована зависимость степени набухания ткани роговицы глаза от значений рН раствора.

На рис. 1 показана зависимость степени гидратации роговицы глаза кролика *in vitro* от рН буферных растворов после различного времени нахождения образцов в растворе.

На рисунке хорошо видно, что максимальная степень гидратации биоткани наблюдается в кислой среде (рН = 3) при двадцатиминутной экспозиции. В слабокислой, нейтральной и слабощелочной среде ( $4 < \text{pH} < 8$ ) изменение гидратации образцов относительно незначительно, причем минимальные изменения в степени набухания

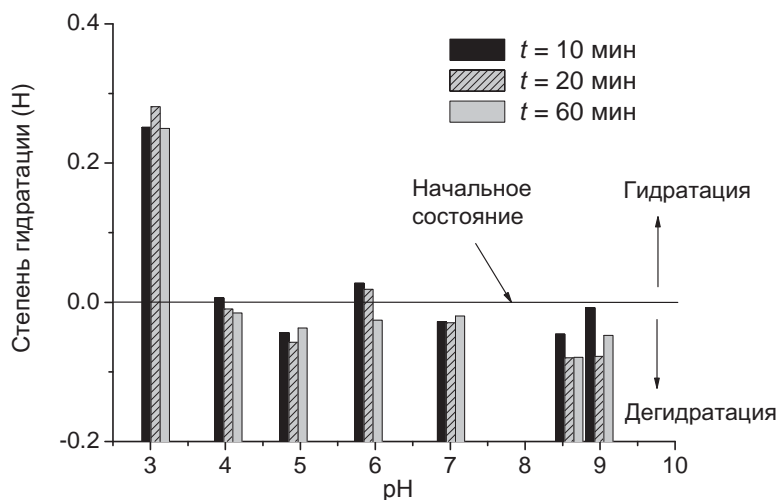


Рис. 1. Степень гидратации роговицы кролика *in vitro* в зависимости от рН буферных растворов, измеренная через 10, 20 и 60 мин после помещения образцов в раствор



роговицы наблюдаются при значении  $pH \approx 4$ , что полностью совпадает с данными работы [29], в которой исследовалось набухание роговицы быка. В щелочной среде ( $pH > 8$ ) наблюдается дегидратация биоткани при длительном нахождении в растворе. Необходимо также отметить, что степень дегидратации практически не меняется со временем.

Таким образом, результаты *in vitro* исследований показывают, что применение растворов с  $pH \approx 4$  не вызывает существенного изменения степени набухания роговицы при ее физиологической гидратации.

На рис. 2 представлены результаты ОКТ сканирования роговицы человека *in vivo* в отёчном (I группа) и нормальном (II группа) состояниях до инстилляцией 40%-м раствором глюкозы, через 20 мин и 40 мин после инстилляцией. На рисунке хорошо видно, что толщина отёчной роговицы имеет переменное значение в пределах одного образца и значительно увеличена по сравнению с нормальным состоянием. Светорассеяние в роговице из I группы превышает светорассеяние в роговице из II группы.

В результате воздействия раствора глюкозы на роговицу в I группе происходит постепенное уменьшение толщины роговицы, что свидетельствует об уменьшении её отека. Кроме того, наблюдается увеличение прозрачности роговицы, что проявляется в снижении яркости ОКТ-изображений роговицы. Снижение светорассеяния в роговице, по-видимому, объясняется не только её дегидратацией за счёт осмотического удаления воды из ткани под действием гиперосмотического агента, но также иммерсией роговицы, поскольку показатель преломления 40%-го раствора глюкозы выше, чем показатель преломления базового вещества роговицы. В работах [30, 31] было показано, что глюкоза проникает в ткань роговицы *in vivo*, несмотря на эпителиальный барьер. Повышение показателя преломления базового вещества происходит за счёт диффузии молекул глюкозы внутрь биоткани, что приводит к некоторому согласованию показателей преломления коллагеновых фибрилл и базового вещества роговицы. На данном явлении основано оптическое просветление склеры и других фиброзных тканей [32].

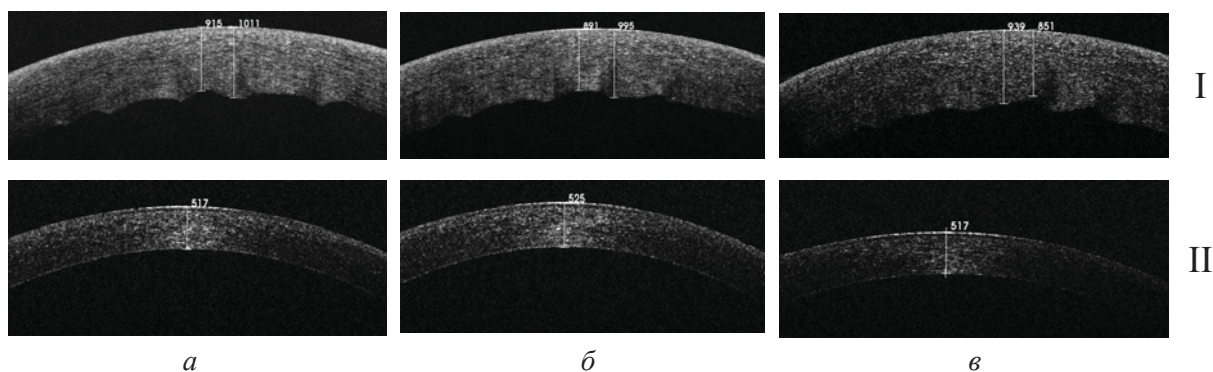


Рис. 2. ОКТ-изображения роговицы пациента с отёком (I группа) и роговицы в нормальном состоянии (II группа) до инстилляцией 40%-ного раствора глюкозы (а); через 20 мин (б) и через 40 мин (в) после инстилляцией

Толщина роговицы во II группе под воздействием раствора глюкозы имеет тенденцию к увеличению через 20 мин (525 мкм), а к 40-й минуте достигает исходного значения (517 мкм), что свидетельствует о некотором набухании, а затем восстановлении первоначального состояния биоткани за счёт метаболизма. На ОКТ изображениях роговицы из II группы также заметно оптическое просветление биоткани через 40 мин после начала воздействия раствора глюкозы вследствие иммерсии.

Средние значения толщины роговицы у пациентов исследуемых групп представлены

на рис. 3. Значения толщины роговицы при отёке значительно (примерно на 70%) превосходят значения её толщины в нормальном состоянии, разброс значений относительно среднего также выше у пациентов с отёком роговицы. На рисунке видна тенденция к снижению отёка под действием раствора глюкозы. Толщина роговицы снижается примерно на 1% после 20-минутного и примерно на 5% после 40-минутного воздействия раствора глюкозы. Увеличение толщины роговицы в нормальном состоянии после 20-минутного воздействия раствора глюкозы не превышает 2% от начального состояния.

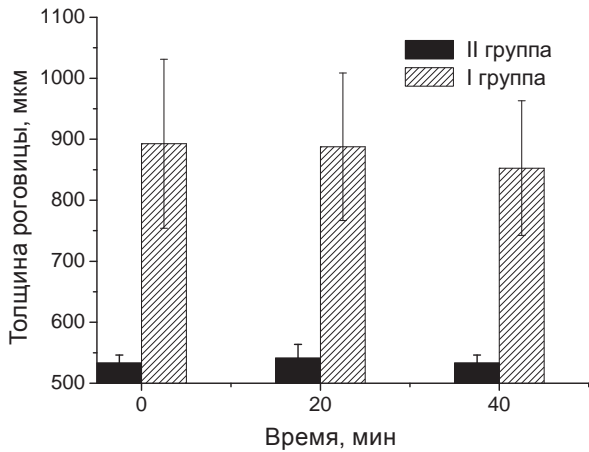


Рис. 3. Зависимость толщины роговицы человека *in vivo* при отёке (I группа) и в нормальном состоянии (II группа) от времени под действием 40%-го раствора глюкозы

На рис. 4 представлены ЛКТ изображения эпителиальных клеток, а на рис. 5 – эндотелиальных клеток пациентов из I и II групп до воздействия раствора глюкозы через 20 мин и через 40 мин после начала воздействия.

Эпителиальные клетки хорошо видны в конфокальном микроскопе и выглядят тёмными многоугольными структурами с яркими отражающими границами. Эндотелиальные клетки, напротив, хорошо отражают свет и выглядят светлыми с тёмными границами [25, 26].

По данным ЛКТ, в I группе плотность эпителиальных клеток в начальный момент составляла 3065 кл/мм<sup>2</sup>. На томограмме (см. рис. 4, а) хорошо видно, что клетки неправильной формы, увеличены в размерах и местами сливаются. Через 20 мин после начала воздействия раствора глюкозы размер клеток заметно уменьшается, контуры становятся более чёткими (см. рис. 4, б). К 40-й минуте форма визуализируемых клеток становится более правильной, с ещё более чёткими контурами, плотность клеток составляет 3976 кл/мм<sup>2</sup> (см. рис. 4, в), что на 30% больше, чем до воздействия. В начальный момент эндотелиальные клетки также плохо визуализируются (см. рис. 5, а), но к 40-й минуте их можно визуализировать: форма клеток гексагональная, контуры достаточно чёткие, плотность клеток составляет 2934 кл/мм<sup>2</sup> (см. рис. 5, б).

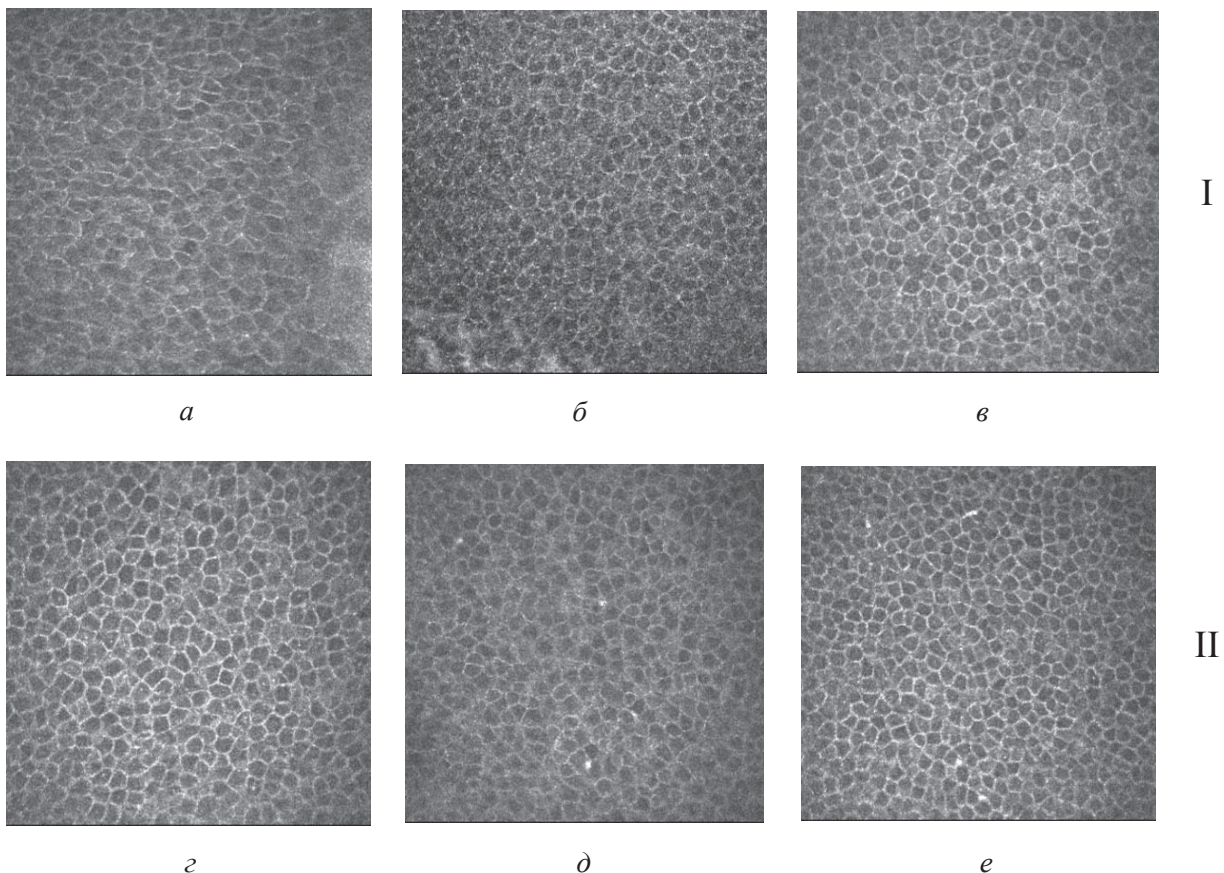


Рис. 4. ЛКТ-изображения эпителиальных клеток под действием 40%-го раствора глюкозы, в I и II группе: а, г – до инстиляции раствора глюкозы; б, д – через 20 мин и в, е – через 40 мин после инстиляции



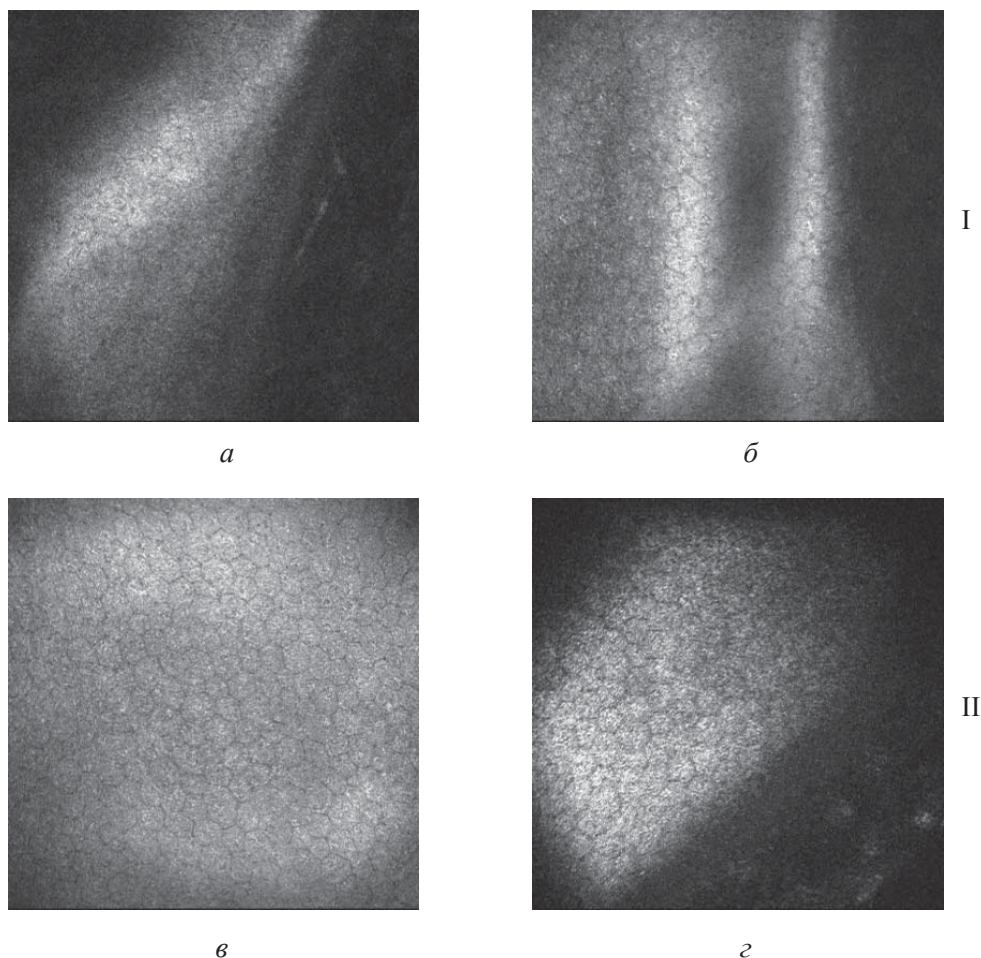


Рис. 5. ЛКТ-изображения эндотелиальных клеток под действием 40%-го раствора глюкозы в I и II группе: а, в – до инстилляций раствора глюкозы; б, г – через 40 мин после инстилляций

Во II группе на исходной томограмме эпителиальные клетки правильной формы, с четкими границами, их плотность составляет  $4986 \text{ кл/мм}^2$  (см. рис. 4, з). После 20-минутного воздействия раствора глюкозы визуализация клеток значительно ухудшается: границы становятся нечеткими, правильность формы нарушается (см. рис. 4, д). Однако плотность клеток можно определить, она составляет  $3848 \text{ кл/мм}^2$ , что на 23% меньше, чем плотность клеток до воздействия. К 40-й минуте эпителий роговицы возвращается в исходное состояние (см. рис. 4, е). Эндотелиальные клетки при исходном исследовании правильной гексагональной формы со светлой цитоплазмой и темными границами, плотность –  $4289 \text{ кл/мм}^2$  (см. рис. 5, в). Через 20 мин после нанесения раствора глюкозы визуализировать их не удается, а через 40 мин состояние эндотелия полностью восстанавливается (см. рис. 5, г).

На рис. 6 представлена зависимость среднего размера клеток эпителия и эндотелия от

времени воздействия раствора глюкозы. На рис. 6, а видно, что диаметр клеток эпителия роговицы при её отеке больше, чем в нормальном состоянии. Динамика воздействия 40%-го раствора глюкозы на клетки эпителия различна при нормальном и патологическом состояниях роговицы. В случае здорового эпителия через 20 мин после инстилляций раствора глюкозы диаметр клеток увеличивается на 13.5%, а через 40 мин уменьшается на 22%. При отеке роговицы двадцатиминутное воздействие раствора глюкозы вызывает уменьшение диаметра эпителиальных клеток на 36%, и дальнейшее воздействие практически не оказывает влияния на эпителий.

Размер эндотелиальных клеток в нормальном состоянии мало изменяется под действием глюкозы, в течение 40 мин их диаметр увеличивается всего на 4%. При отеке роговицы за это же время диаметр клеток уменьшается на 18%. Более слабая реакция эндотелия на

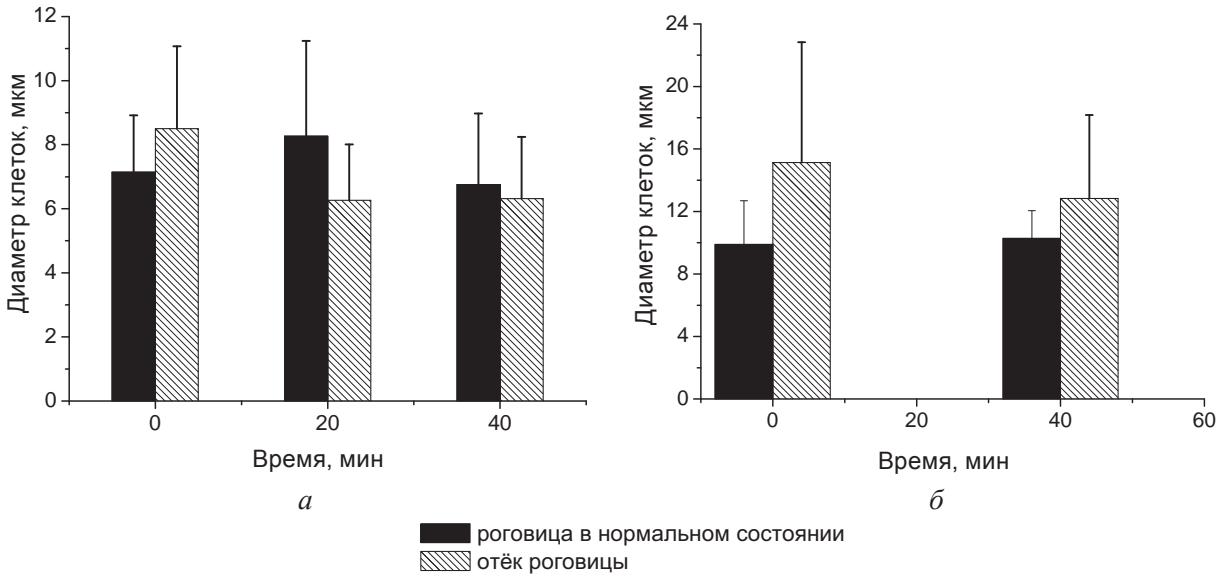


Рис. 6. Зависимость диаметра эпителиальных (а) и эндотелиальных (б) клеток здоровой и отёчной роговицы человека *in vivo* от времени воздействия 40%-го раствора глюкозы

воздействие, по-видимому, связана с тем, что концентрация глюкозы в области эндотелия значительно меньше, чем в эпителиальном слое, непосредственно подверженном воздействию гиперосмотического агента.

### Заключение

В результате проведённых комплексных исследований влияния 40%-го раствора глюкозы на состояние нормальной роговицы и отёчной роговицы после факэмульсификации катаракты с помощью оптической когерентной томографии и лазерной конфокальной томографии показано, что 40%-й раствор глюкозы вызывает кратковременное набухание здоровой роговицы и дегидратацию отёчной роговицы, а также оптическое просветление биоткани как в первом, так и во втором случаях за время наблюдения. Раствор глюкозы оказывает влияние на состояние эпителиального и эндотелиального слоёв роговицы. В процессе воздействия средний диаметр клеток эндотелия уменьшается при отёке роговицы, в то время как диаметр клеток эпителия сначала увеличивается, а затем возвращается к первоначальному состоянию.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантами Президента РФ «Ведущие научные школы» (1177.2012.2) и Финляндии FiDiPro TEKES (40111/11).*

### Список литературы

1. Freund D. E., McCally R. L., Farrell R. A. Effects of fibril orientations on light scattering in the cornea // J. Opt. Soc. Amer. A. 1986. Vol. 3. P. 1970–1982.
2. Farrell R. A., Freund D. E., McCally R. L. Research on corneal structure // Johns Hopkins Appl. Physics Lab. Techn. Digest. 1990. Vol. 11, № 1, 2. P. 191–199.
3. Komai Y., Ushiki T. The three-dimensional organization of collagen fibrils in the human cornea and sclera // Invest. Ophthalm. Vis. Sci. 1991. Vol. 32. P. 2244–2258.
4. Leonard D. W., Meek K. M. Refractive indices of the collagen fibrils and extrafibrillar material of the corneal stroma // Biophysical J. 1997. Vol. 72. P. 1382–1387.
5. Meek K. M., Dennis S., Khan S. Changes in the refractive index of the stroma and its extrafibrillar matrix when the cornea swells // Biophys. J. 2003. Vol. 85, № 4. P. 2205–2212.
6. Clark J. I. Order and disorder in the transparent media of the eye // Exp. Eye Res. 2004. Vol. 78. P. 427–432.
7. Muller L. J., Pels E., Schurmans L.R.H.M., Vrensen G.F.J.M. A new three-dimensional model of the organization of proteoglycans and collagen fibrils in the human corneal stroma // Exp. Eye Res. 2004. Vol. 78. P. 493–501.
8. Hassell J. R., Birk D. E. The molecular basis of corneal transparency // Exp. Eye Res. 2010. Vol. 91. P. 326–335.
9. Douth J., Quantock A. J., Smith V. A., Meek K. M. Light transmission in the human cornea as a function of position across the ocular surface: theoretical and experimental aspects // Biophysical J. 2008. Vol. 95. P. 5092–5099.
10. Boote C., Dennis S., Newton R. H., Puri H., Meek K. M. Collagen fibrils appear more closely packed in the prepupillary cornea: optical and biomechanical implications // Invest. Ophthalm. Vis. Sci. 2003. Vol. 44, № 7. P. 2941–2948.



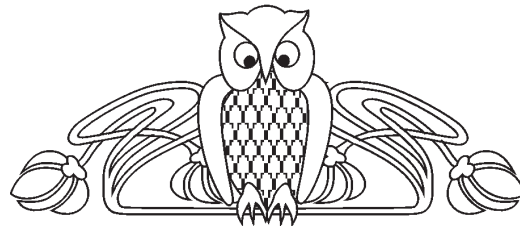
11. Kim Y. L., Walsh J. T. Jr., Goldstick T. K., Glucksberg M. R. Variation of corneal refractive index with hydration // *Phys. Med. Biol.* 2004. Vol. 49. P. 859–868.
12. Азанбаев Б. М., Алимбекова З. Ф., Мухаммадиев Т. Р., Габбасов А. Р. Лазерная сканирующая томография глаза : передний и задний сегмент. М. : Август Борг, 2008.
13. Зуев В. К., Туманян А. Р., Аль Джумаа Сухейль. Качественная характеристика клеток заднего эпителия при факоемульсификации // *Офтальмохирургия.* 1994. Т. 3. С. 8–13.
14. Ронкина Т. И., Золоторевский А. В., Багров С. Н. Активация пролиферации эндотелия роговицы человека // *Офтальмохирургия.* 1995. Т. 4. С. 36–42.
15. Harris J. E., Nordquest L. T. The hydration of the cornea. The transport of water from the cornea // *Amer. J. Ophthalmol.* 1955. Vol. 40, pt. II. P. 100–111.
16. Luxenberg M. N., Green K. Reduction of corneal edema with topical hypertonic agents // *Amer. J. Ophthalmol.* 1971. Vol. 71. P. 847–853.
17. Бакуткин В. В., Шубочкин Л. П. Увеличение светопропускания склеры и патологически измененной роговицы // *Офтальмол. журн.* 1991. Т. 2. С. 105–107.
18. Matsuura T., Ikeda H., Idota N., Motokawa R., Hara Y., Annaka M. Anisotropic swelling behavior of the cornea // *J. Phys. Chem. B.* 2009. Vol. 113, № 51. P. 16314–16322.
19. Hosseini K., Kholodnykh A. I., Petrova I. Y., Esenaliyev R. O., Hendrikse F., Motamedi M. Monitoring of rabbit cornea response to dehydration stress by optical coherence tomography // *Invest. Ophthalm. Vis. Sci.* 2004. Vol. 45, № 8. P. 2555–2562.
20. Ларин К. В., Гхосн М. Г. Измерение с помощью ОКТ скорости диффузии воды и лекарственных препаратов в изолированной и целой роговице глаза // *Квантовая электроника.* 2006. Т. 36, № 12. С. 1083–1088.
21. Pircher M., Gotzinger E., Leitgeb R., Fercher A. F., Hitzenberger C. K. Measurement and imaging of water concentration in human cornea with differential absorption optical coherence tomography // *Optics Express.* 2003. Vol. 11, № 18. P. 2190–2197.
22. Wu Y., Clarke D., Mathew A., Nicoud I., Li X. Noninvasive optical coherence tomography monitoring of structure and hydration changes of human corneas in different preservation media // *J. Biomed. Opt.* 2011. Vol. 16, № 2. P. 026015.
23. Lin R. C., Shure M. A., Rollins A. M., Izatt J. A., Huang D. Group index of the human cornea at 1.3-microm wavelength obtained in vitro by optical coherence domain reflectometry // *Opt. Lett.* 2004. Vol. 29, № 1. P. 83–85.
24. Ghosn M. G., Tuchin V. V., Larin K. V. Nondestructive quantification of analyte diffusion in cornea and sclera using optical coherence tomography // *Invest. Ophthalm. Vis. Sci.* 2007. Vol. 48, № 6. P. 2726–2733.
25. Bohnke M., Masters B. R. Confocal microscopy of the cornea // *Progress in Retinal and Eye Research.* 1999. Vol. 18, № 5. P. 553–628.
26. Аветисов С. Э., Егорова Г. Б., Федоров А. А., Бобровских Н. В. Конфокальная микроскопия роговицы. Сообщение 1. Особенности нормальной морфологической картины // *Вестн. офтальмологии.* 2008. Т. 3. С. 3–5.
27. Сметанкин И. Г., Агаркова Д. И. Конфокальная микроскопия и оптическая когерентная томография в оценке анатомо-функционального состояния роговичной раны (in vivo) после факоемульсификации катаракты // *Современные технологии в медицине.* 2012. Т. 3. С. 89–92.
28. Zhou Y., Chan K. K. H., Lai T., Tang S. Characterizing refractive index and thickness of biological tissues using combined multiphoton microscopy and optical coherence tomography // *Biomedical Optics Express.* 2013. Vol. 4, № 1. P. 38–50.
29. Huang Y., Meek K. M. Swelling studies on the cornea and sclera : the effects of pH and ionic strength // *Biophysical J.* 1999. Vol. 77. P. 1655–1665.
30. Thoft R. A., Friend J., Dohlman C. H. Corneal glucose concentration : flux in the presence and absence of epithelium // *Arch. Ophthalmol.* 1971. Vol. 85. P. 467–472.
31. Myung D., Derr K., Huie P., Noolandi J., Ta K.P., Ta C.N. Glucose permeability of human, bovine, and porcine corneas in vitro // *Ophthalm. Res.* 2006. Vol. 38, № 3. P. 158–163.
32. Genina E. A., Bashkatov A. N., Tuchin V. V. Tissue optical immersion clearing // *Expert Review of Medical Devices.* 2010. Vol. 7, № 6. P. 825–842.



УДК 616.43; 616-008.9; 616.39

## ОПТИМИЗАЦИЯ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ КАТАРАКТ У ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

А. С. Тишкова<sup>1</sup>, Т. Г. Каменских<sup>1</sup>, В. А. Галанжа<sup>1</sup>,  
А. Б. Бучарская<sup>1</sup>, Г. Н. Маслякова<sup>1</sup>, А. Н. Башкатов<sup>2</sup>,  
Э. А. Генина<sup>2</sup>, В. И. Кочубей<sup>2</sup>, А. М. Буров<sup>3</sup>, В. В. Тучин<sup>2</sup>



<sup>1</sup>Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского

<sup>2</sup>Саратовский государственный университет

<sup>3</sup>Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов

E-mail: a.n.bashkatov@mail.ru

В работе исследована патология хрусталика человека при различных формах катаракты. Обследовано 220 больных (220 глаз) с катарактой. Проведены морфологические, иммуногистохимические и иммуноцитохимические исследования капсулы и вещества хрусталика с антителами к  $\alpha$ - ( $\alpha$ -А и  $\alpha$ -В),  $\beta$ - и  $\gamma$ -кристаллинам. У больных сахарным диабетом выявлена более выраженная экспрессия  $\alpha$ -В и  $\beta$ -кристаллинов по сравнению с группой больных с возрастной катарактой. Продемонстрирована корреляция между составом кристаллинов хрусталика и его плотностью. Показано, что меньшая плотность ядра хрусталика у пациентов с сахарным диабетом позволяет проводить факоэмульсификацию с использованием ультразвука более низкой мощности и уменьшить время воздействия ультразвука на ткани глаза.

**Ключевые слова:** катаракта, сахарный диабет, ультразвуковая факоэмульсификация, кристаллины.

### Optimization of Phacoemulsification in Different Forms of the Cataract in the Patients with Diabetes Mellitus

A. S. Tishkova, T. G. Kamenskih, V. A. Galanzha,  
A. B. Bucharskaya, G. N. Maslyakova, A. N. Bashkatov,  
E. A. Genina, V. I. Kochubey, A. M. Burov, V. V. Tuchin

In this work, human lens pathology in different forms of the cataract was studied. Two hundred twenty patients with a cataract (220 eyes) were included in the study. Morphological, immunohistological and immunocytochemical investigations of both lens capsule and substance with antibodies to  $\alpha$ - ( $\alpha$ -A and  $\alpha$ -B),  $\beta$ -, and  $\gamma$ - crystallines were carried out. Diabetic patients revealed a more pronounced expression of  $\alpha$ - and  $\beta$ -B crystallin compared with a group of patients with age-related cataracts. Correlation between composition of the crystallines in a lens and its density was demonstrated. It is shown that the lower density of the lens nucleus in patients with diabetes allows lowering the power of ultrasound phacoemulsification as well as reducing the sonication time of eye tissues.

**Key words:** cataract, ultrasound phacoemulsification, diabetes mellitus, crystallins.

### Введение

В настоящее время сахарный диабет является одной из основных причин слепоты в мире. У пациентов, страдающих сахарным диабетом, катаракта встречается в 2 раза чаще и в более

молодом возрасте (при сахарном диабете 1-го типа она формируется к 35–40 годам). Катаракта является многофакторным, полиэтиологичным заболеванием, представляющим собой основную причину устранимой слепоты в мире на сегодняшний день. Как правило, больные с катарактой на фоне сахарного диабета также страдают диабетической ретинопатией, что повышает риск хирургического лечения катаракты и способствует развитию осложнений в послеоперационном периоде. Единственным эффективным методом лечения катаракты является хирургическое вмешательство. Основным методом хирургического лечения катаракты сегодня является факоэмульсификация с имплантацией интраокулярной линзы, но её выполнение у пациентов, страдающих сахарным диабетом, сопряжено с повышенным риском осложнений и неэффективности консервативной терапии множественных осложнений в интра- и послеоперационном периодах, что делает актуальным оптимизацию факоэмульсификации катаракты у больных сахарным диабетом [1–4].

Целью работы является оптимизация хирургического лечения различных форм катаракт у пациентов с сахарным диабетом.

### Материалы и методы

В ходе данного исследования было обследовано 220 больных катарактой (220 глаз): основная группа – 120 больных сахарным диабетом (120 глаз), из них 11 пациентов с диабетической катарактой (11 глаз), 109 – с возрастной катарактой (109 глаз) на фоне сахарного диабета, контрольная группа – 100 пациентов с возрастной катарактой, не страдающих сахарным диабетом (100 глаз). Распределение больных по возрастному критерию представлено в табл. 1.



Таблица 1

**Распределение больных катарактой по возрастному критерию**

Количество больных	Возраст, лет						
	до 20	21–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90
Группа I Диабетическая катаракта (n = 11)	2	7	2	–	–	–	–
Группа II Возрастная катаракта на фоне сахарного диабета (n = 109)	–	–	32	28	27	21	–
Группа III (контроль) Возрастная катаракта без сахарного диабета (n = 100)	–	–	–	11	34	42	13

Всем больным проводились следующие виды офтальмологического обследования: биомикроскопия глаза, офтальмоскопия, ультразвуковое сканирование глаза, лазерная сканирующая конфокальная томография, оптическая когерентная томография, электрофизиологические исследования глаза, визометрия, периметрия, пневмотонометрия.

Микрохирургическое лечение пациентов с катарактой проводилось в клинике глазных болезней Саратовского государственного медицинского университета методом ультразвуковой микроаксиальной факоемульсификации с использованием хирургической системы «Infiniti» («Alcon», США) по стандартной методике. В ходе операций регистрировалось эквивалентное время ультразвука, затраченное на дробление хрусталика. Всем больным проводились морфологические, иммуноцитохимические и иммуногистохимические исследования капсулы и вещества хрусталика глаза человека при использовании стандартных методик окрашивания для определения экспрессии  $\alpha$ - ( $\alpha$ -A и  $\alpha$ -B),  $\beta$ - и  $\gamma$ -кристаллинов. Для окраски использовались следующие антитела: mouse monoclonal [c9F2] to alpha A crystallin, mouse monoclonal [1B6.1-3G4] to alpha B crystallin, mouse monoclonal to beta B1 crystallin и mouse monoclonal to gamma crystallin (Abcam Plc, Великобритания). Морфометрическое исследование срезов хрусталика, окрашенных иммуногистохимическим методом, проводилось с использованием автоматизированной комбинированной системы для анализа цифровых изображений Ariol SL50 (Genetix, Великобритания) на базе центра коллективного пользования «Симбиоз» ИБФРМ РАН. Изображения в автоматическом режиме были получены с применением микро-

скопа Olympus BX 61 с встроенной цифровой камерой U-CMAD3 с объективами PlanApo N 1.25x/0.04 и MPlanFL N 5x/0.15 для выбора рабочих областей, а также UPlanFL N 20x/0.5 для подсчета иммунопозитивных областей. Забор вещества хрусталика и его капсулы производился во время микрохирургических операций по поводу катаракты: ультразвуковой микроаксиальной факоемульсификации. Морфометрический анализ препаратов хрусталика выполнялся согласно методике, описанной в работе [5]. Плотность катаракты оценивалась по классификации Emery и Little (5 градаций плотности) [6], основанной на колориметрических характеристиках хрусталика глаза.

**Результаты и их обсуждение**

В табл. 2 представлены результаты морфометрического анализа иммуногисто- и иммуноцитохимических препаратов хрусталика всех обследованных групп пациентов. Полученные значения представляют собой отношение числа пикселей изображения препарата хрусталика, которые после окраски соответствующим первичным антителом приобрели специфическую окраску, к общему числу пикселей изображения препарата и, таким образом, отражают процентное содержание того или иного типа кристаллинов в исследуемом препарате хрусталика.

Из приведенной таблицы видно, что у больных сахарным диабетом как с осложненной диабетической, так и с возрастной катарактой на фоне сахарного диабета наблюдается более выраженная экспрессия  $\alpha$ -B и  $\beta$ -кристаллинов и сниженная экспрессия  $\alpha$ -A-кристаллинов по сравнению с группой больных с возрастной катарактой, не страдающих сахарным диабетом. Экспрессия  $\gamma$ -кристаллинов незначительна.



Таблица 2

## Содержание кристаллинов в хрусталике глаза, отн. ед.

Группа	Кристаллины	Возраст, лет						
		до 20	21–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90
I	$\alpha$ -A	0.305±0.036	0.305±0.021	0.306±0.051	–	–	–	–
	$\alpha$ -B	0.566±0.013	0.566±0.062	0.569±0.068	–	–	–	–
	$\beta$	0.759±0.113	0.757±0.071	0.765±0.091	–	–	–	–
	$\gamma$	0.017±0.003	0.018±0.003	0.018±0.002	–	–	–	–
II	$\alpha$ -A	–	–	0.306±0.011	0.305±0.043	0.303±0.018	0.305±0.061	–
	$\alpha$ -B	–	–	0.565±0.019	0.568±0.051	0.569±0.089	0.570±0.059	–
	$\beta$	–	–	0.743±0.109	0.754±0.086	0.759±0.023	0.765±0.065	–
	$\gamma$	–	–	0.019±0.002	0.019±0.004	0.019±0.004	0.018±0.002	–
III	$\alpha$ -A	–	–	–	0.361±0.037	0.361±0.063	0.373±0.044	0.375±0.056
	$\alpha$ -B	–	–	–	0.317±0.054	0.319±0.037	–	–
	$\beta$	–	–	–	0.459±0.052	0.461±0.078	0.469±0.067	0.477±0.094
	$\gamma$	–	–	–	0.017±0.001	0.018±0.003	0.017±0.004	0.018±0.002

Видно, что содержание различных типов кристаллинов не имеет ярко выраженных возрастных различий и в основном связано с различиями в тяжести заболевания, что позволяет оценить относительное содержание (долевой вклад) различных типов кристаллинов в препаратах хрусталика для пациентов разных групп. Для оценки относительного содержания кристаллинов, представленных в табл. 2, значения были нормированы таким образом, чтобы суммарное содержание кристаллинов различных типов равнялось единице, что позволяет неявным образом учесть возможные погрешности как при окраске препарата (частичное прокрашивание кристаллинов других типов и возможное частичное прокрашивание нерастворимой фракции протеинов хрусталика), так и при обработке изображений (выделения соответствующей цветовой компоненты). Относительное содержание кристаллинов усреднено по группам пациентов (в зависимости от заболевания). Результат нормировки и усреднения представлен в табл. 3.

Таблица 3

## Содержание кристаллинов в хрусталике глаза, %

Группа	Кристаллины			
	$\alpha$ -A	$\alpha$ -B	$\beta$	$\gamma$
I	18.4±2.2	34.4±2.9	46.1±5.6	1.1±0.16
II	18.5±2.0	34.5±3.3	45.8±4.3	1.2±0.19
III	31.4±4.3	27.2±3.9	39.9±6.2	1.5±0.21

Из литературных данных известно, что в норме кристаллины составляют порядка 90% белков хрусталика глаза (10% составляют протеины нерастворимой фракции) и, в свою очередь, белковая фракция составляет порядка 35% от веса хрусталика (65% – вода) [7–9]. При этом долевой вклад  $\alpha$ -кристаллинов составляет по разным данным 50% [10] или 45% [11] от общего содержания кристаллинов,  $\beta$ -кристаллинов – 42% [10] или 40% [11] и  $\gamma$ -кристаллинов – 8% [10] или 15% [11]. Представленные в табл. 3 данные в целом соответствуют литературным. Так, для контрольной группы III содержание  $\alpha$ -кристаллинов составляет ~58.6%,  $\beta$ -кристаллинов ~39.9% и  $\gamma$ -кристаллинов – ~1.5%. Различия по сравнению с литературными данными в долевом вкладе  $\gamma$ -кристаллинов связаны с возрастными изменениями хрусталика, поскольку показано, что в наибольшей степени с возрастом агрегируют  $\gamma$ -кристаллины, причем скорость агрегации этих белков выше для катарактальных хрусталиков [12]. Наличие сахарного диабета проявляется в увеличении на 15% по сравнению с контрольной группой долевого вклада  $\beta$ -кристаллинов. Для  $\gamma$ -кристаллинов наблюдается ~20%-ное снижение по сравнению с контрольной группой, причем это изменение связано в основном с диабетом, поскольку пациенты I группы относятся к относительно молодой категории. Общее содержание  $\alpha$ -кристаллинов уменьшается по сравнению с контрольной группой примерно на 10%, однако



если для  $\alpha$ -А-кристаллинов наблюдается снижение долевого вклада, то для  $\alpha$ -В-кристаллинов наблюдается его рост.

Основным этапом хирургического лечения катаракты является удаление помутневшего ядра хрусталика. Именно его высокая плотность, наблюдаемая при той или иной зрелости катаракты и старшем возрасте пациента, не позволяет размельчить его непосредственно внутри глаза механическим путем и требует его выведения наружу либо экстракапсулярным, либо интракапсулярным способом. Разработка и внедрение метода ультразвукового воздействия на помутневшее вещество хрусталика, его фрагментация до небольших осколков и удаление из глаза посредством канюли небольшого диаметра, а также разработанные в последние годы высоковязкие вископротекторы и искусственные интраокулярные линзы из мягких полимеров создали возможность производить удаление катаракты через маленький разрез методом факоемульсификации.

Однако длительное воздействие ультразвука на ткани глаза, а также длительные манипуляции различными инструментами внутри глаза могут привести к осложнениям как во время операции, так в послеоперационном периоде. Такие осложнения как буллезная кератопатия, разрыв задней капсулы хрусталика, выпадение стекловидного тела, последующие послеоперационные витреоретинальные осложнения сводят на «нет» все достоинства факоемульсификации. Именно поэтому время, потраченное на эмульсификацию

катаракты посредством ультразвука, а также дополнительные манипуляции, направленные на ускорение и облегчение этого процесса, определяют в большинстве случаев наличие и тяжесть операционных и послеоперационных осложнений.

Поскольку степень зрелости катаракты и плотность ядра хрусталика коррелируют между собой [13], то оценка плотности хрусталика позволяет определить вид операционного вмешательства, тактику самой операции, спрогнозировать выполнение и возможность появления осложнений после операции.

Согласно одной из классификаций плотность ядра хрусталика подразделяется на четыре степени (от I до IV), которые определяются самим офтальмологом при биомикроскопии глаза пациента на щелевой лампе: не плотная, менее плотная, плотная и очень плотная. Цвет ядра хрусталика, согласно этой классификации, может быть различным и не влияет на оцениваемую плотность [14]. Вторая классификация, напротив, строится в зависимости от цвета ядра хрусталика: I степень плотности характеризуется наличием серого цвета уплотнений ядра хрусталика, II степень – наличием янтарного и янтарно-желтого цвета помутнений ядра хрусталика, III степень – желтого и желто-бурого цвета, IV степень – бурого и темно-бурого цвета и V степень – черного цвета [15].

В данной работе значения плотности катаракты оценивались по шкале Emery и Little [6], результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Средняя плотность катаракты по шкале Emery и Little, баллы

Плотность ядра хрусталика в группах	Возраст, лет						
	до 20	21–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90
Группа I	2.5±0.3	2.6±0.4	2.8±0.4	–	–	–	–
Группа II	–	–	3.4±0.6	3.6±0.3	3.8±0.4	4.4±0.5	–
Группа III	–	–	–	3.9±0.3	4.2±0.5	4.5±0.7	4.9±0.6

Из таблицы видно, что плотность хрусталика зависит как от возраста пациента (с увеличением возраста возрастает плотность хрусталика), так и от наличия сахарного диабета (при наличии сахарного диабета плотность хрусталика меньше,

чем у пациентов с возрастной катарактой в той же возрастной группе).

Эквивалентное время ультразвука, затраченное на дробление хрусталика при различных формах катаракты, представлено в табл. 5.

Таблица 5

Эквивалентное время ультразвука, использованного при факоемульсификации, с

Группа	Возраст, лет						
	до 20	21–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90
I	3±0.6	3±0.5	4±0.7	–	–	–	–
II	–	–	5±0.5	7±0.6	10±0.4	14±0.5	–
III	–	–	–	9±0.5	12±0.3	15±0.3	20±0.4



Из сравнения данных, приведенных в табл. 4 и 5, хорошо видно, что время ультразвука, затраченное на дробление хрусталика при различных формах катаракты, полностью коррелирует с плотностью ядра хрусталика, т.е. при увеличении плотности хрусталика растет время ультразвука, затраченное на дробление хрусталика.

Меньшая плотность ядра хрусталика у пациентов с катарактой на фоне сахарного диабета, связанная с особенностями кристаллинового состава у этих пациентов, позволяет проводить факоэмульсификацию с использованием меньшей мощности (или меньшего времени воздействия) ультразвука, поскольку использование большей мощности ультразвука для этих пациентов было бы не только излишним, но и потенциально опасным для структур глаза, в том числе роговицы, сосудистой оболочки и сетчатки. Учет этих особенностей позволит проводить факоэмульсификацию с использованием щадящих параметров ультразвука, что минимизирует его воздействие на ткани глазного яблока и уменьшит риск связанных с ними осложнений в послеоперационном периоде у пациентов с сахарным диабетом, и получать более высокие функциональные результаты.

### Заключение

На основе морфометрического исследования срезов хрусталика, окрашенных иммуногистохимическим методом, с помощью анализа их цифровых изображений выявлены отличия кристаллинового состава хрусталика у больных сахарным диабетом по сравнению с группой больных с возрастной катарактой. Выявлены корреляции между кристаллиновым составом хрусталика, его плотностью, возрастом пациента и наличием сахарного диабета. Показана возможность уменьшения времени воздействия ультразвука на ткани глаза, что позволит снизить сроки достижения максимально возможной остроты зрения в послеоперационном периоде.

### Список литературы

1. Дедов И. И. Новые возможности терапии сахарного диабета 2 типа // Сахарный диабет. 2009. № 5. С. 1–3.
2. Буратто Л. Хирургия катаракты. Переход от экстракапсулярной экстракции катаракты к факоэмульсификации. Milano, Canelli : Fabiano Editore, 1999. 472 с.
3. Мальцев Э. В., Павлюченко К. П. Биологические особенности и заболевания хрусталика. Одесса : Астропринт, 2002. 448 с.
4. Корсакова Н. В. Возрастная катаракта : современные аспекты патогенеза. Чебоксары : ГУП «ИПК «Чувашия», 2010. 86 с.
5. Каменских Т. Г., Тишкова А. С., Галанжа В. А., Колбенева И. О., Бучарская А. Б., Маслякова Г. Н., Буров А. М., Башкатов А. Н., Генина Э. А. Иммуногисто- и цитохимические исследования хрусталика при различных формах катаракты // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. 2011. № 1(53), вып. 2. С. 191–196.
6. Emery J. M., Little J. H. Phacoemulsification and Aspiration of Cataracts; Surgical Techniques, Complications, and Results. St. Louis : CV Mosby, 1979. P. 45–48.
7. Ansari R. R. Ocular static and dynamic light scattering: a noninvasive diagnostic tool for eye research and clinical practice // J. Biomed. Opt. 2004. Vol. 9(1). P. 22–37.
8. Шенкалова В. М. Анатомия и гистология глаза // Многоотомное Руководство по глазным болезням : в 5 т. / под ред. В. Н. Архангельского. М. : Медгиз, 1962. Т. 1, кн. 1, отд. 2, ч. 1. С. 137–205.
9. Шмелева В. В. Катаракта. М. : Медицина, 1981. 224 с.
10. Pierscionek B.K., Belaidi A., Bruun H. H. Refractive index distribution in the porcine eye lens for 532 nm and 633 nm light // Eye. 2005. Vol. 19. P. 375–381.
11. Xia J.-Z., Wang Q., Tatarkova S., Aerts T., Clauwaert J. Structural basis of eye lens transparency : light scattering by concentrated solutions of bovine  $\alpha$ -crystallin proteins // Biophys. J. 1996. Vol. 71. P. 2815–2822.
12. Российский фонд фундаментальных исследований. URL: [http://www.rfbr.ru/rffi/ru/project\\_search/o\\_400968](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_400968) (дата обращения: 29.05.2014).
13. Способ дооперационного определения плотности ядра хрусталика : пат. RU 2505812 С1 Рос. Федерация № 2013108760/15, заявл. 27.02.2013; опублик. 27.01.2014; Бюл. № 3, 8 с.
14. Федоров С. Н., Копалева В. Г., Андреев Ю. В., Беликов А. В. Результаты 1000 лазерных экстракций катаракты // Офтальмохирургия. 1999. № 3. С. 3–14.
15. Phacoemulsification : principles and techniques / ed. L. Buratto. Thorofare, NJ, SLACK Inc., 1998. 519 p.



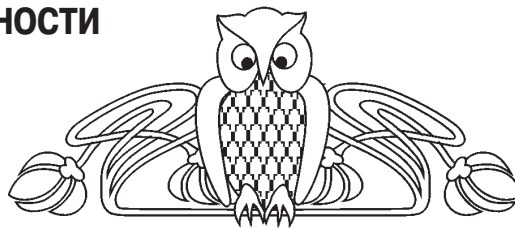


УДК 546.296

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

О. А. Черкасова, В. З. Углонова

Саратовский государственный университет  
E-mail: CherkasovaOA@yandex.ru



Проведены исследования по изучению радиационного фона помещений хозяйственно-бытового назначения при различных условиях. По данным настоящего исследования выполнено вертикальное распределение мощности экспозиционной дозы жилых помещений, установлено влияние внешних факторов на ее величину. Получены зависимости и выявлены особенности изменения радиационного фона в исследуемых помещениях. Обнаружен вклад в прирост мощности дозы от отделочных материалов. Исследование водопроводной воды позволяет говорить о вкладе в величину мощности дозы ее температуры и способа подачи, так как полученные значения различаются в 1.5 раза.

**Ключевые слова:** радиация, радиационный фон, мощность экспозиционной дозы, радон, строительные материалы, радон в воде.

### Ecological Diagnostics of the Safety of Premises

O. A. Cherkasova, V. Z. Uglonova

A study was made of the radiation background of premises of economic and household purposes under various conditions. According to the data obtained, a vertical distribution of the exposure rate of premises was revealed; the influence of external factors on its value was established. Dependences were obtained and features of radiation background changes in the rooms under study were revealed. The contribution of finishing materials to the increase in the exposure rate was found. Analysis of tap water allows us to speak of the contribution of its temperature and way of supplying to the exposure rate value because the gotten values differ by 1.5 times.

**Key words:** radiation, radiation background, exposure rate, radon, construction materials, radon in water.

### Введение

По данным многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых, основной радиационный фон на нашей планете создается за счет естественных источников излучения [1]. Естественные радионуклиды (ЕРН) присутствуют практически во всех объектах окружающей среды, создавая радиационный фон [1]. Исследования показали, что дозовые нагрузки от природного излучения формируются в значительной мере за счет радионуклидов, входящих в так называемую группу «радон». Понятием «радон» объединяются в группу 19 изотопов, из которых только три (радон, торон, актион) распространены в природной среде в значимых

концентрациях [2, 3]. Все они активно мигрируют в структурах земной коры. Установлено, что изотопы радона (*радон – радиоактивный химический, образующийся в результате распада радия; в нормальных условиях – бесцветный инертный газ, значительно тяжелее воздуха с периодом полураспада 3.8 суток*) распадаются, испуская альфа-частицы и превращаясь в изотопы полония, висмута, свинца [4, 5] (рис. 1). Радон вместе с дочерними продуктами распада (ДПР) вносит примерно 70% годовой индивидуальной эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации.

Первые же исследования радиологического воздействия радона на население показали, что концентрация радона в воздухе жилых домов, особенно одноэтажных, часто превышает уровень предельно допустимых концентраций (ПДК) [6, 7]. Установлено, что на величину радиационного фона, обусловленную радоном и его ДПР, существенное влияние оказывают радиационные характеристики и показатели строительных материалов, почвы под зданием, используемой воды и бытового газа [8, 9, 10]. Установлено, что коэффициент перехода радона из воды в воздух помещения составляет  $(0.5-1.0) \cdot 10^{-4}$ . Если количество радона в воде соответствует нормативу 60 Бк/л, то это дает дополнительное количество радона в воздух помещения, равное  $6.0 \text{ Бк/м}^3$ , что меньше фонового содержания радона в жилых помещениях. Только при значительном превышении норматива по радону в воде, его вклад в дозу облучения может быть сравнимым с вкладом радона, который поступает из почвы или строительных материалов. Дело в том, что радий в незначительных количествах содержится во всех типах почв, грунтах, минералах и, следовательно, строительных материалах. Относительно небольшой период полураспада радона (3.823 дня) и высокая способность к диффузии позволяют ему распространяться по порам и трещинам в почве, через щели в фундаменте зданий поступать из

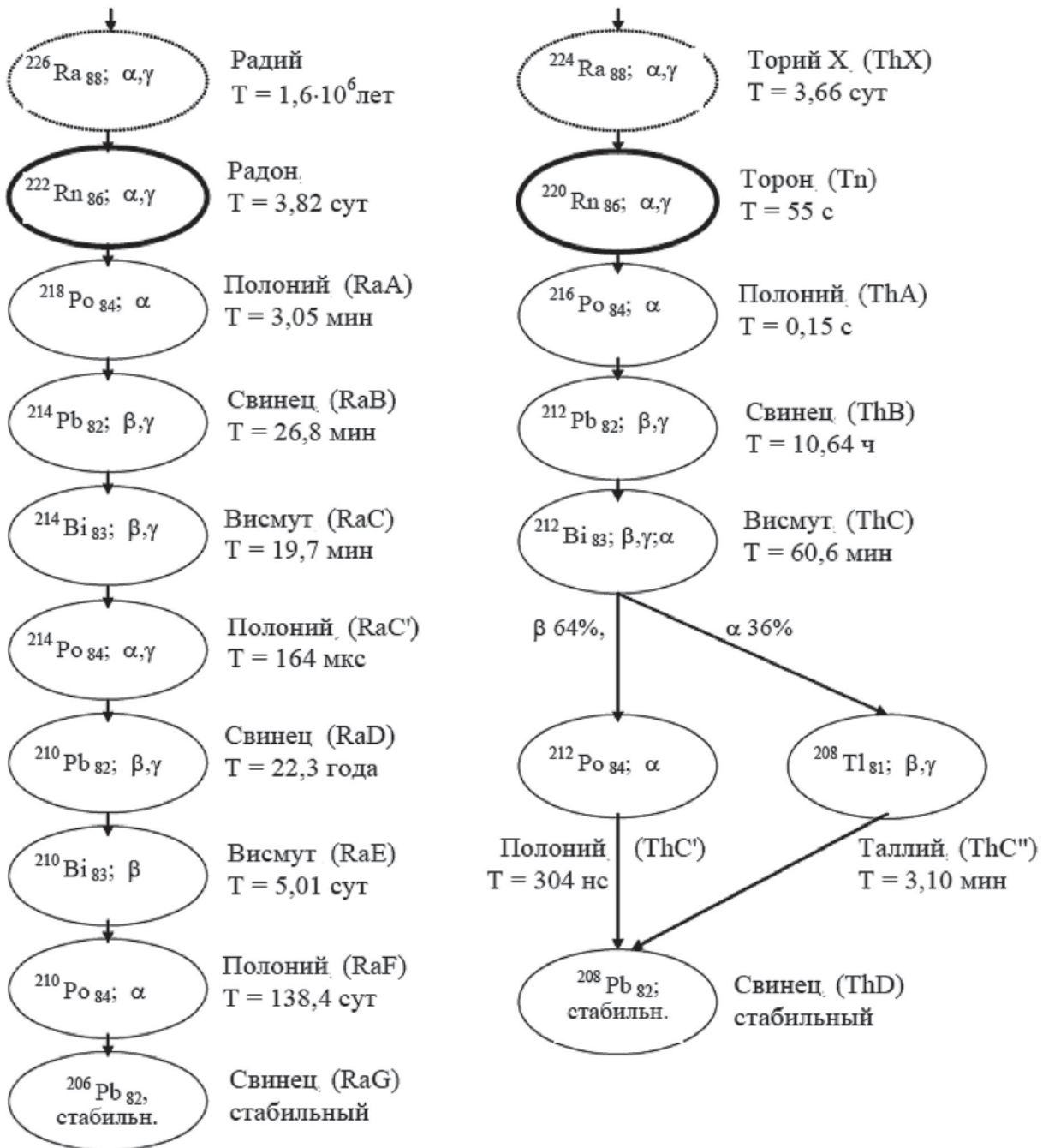


Рис. 1. Изотопы радона и их дочерние продукты в цепочках распада (символ, путь распада ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучение). T – период полураспада

подвалов в помещения, в меньшей степени с природным газом и водой и, при отсутствии вентиляции, накапливаться там в значительных концентрациях [11–14]. Относительный вклад каждого из названных источников формирования «радоновой нагрузки» в жилище может быть представлен следующим образом: грунт под зданием и строительные материалы – 78%; наружный воздух – 13%; вода, используемая в доме – 5%; природный газ – 4%.

Изотопы радона являются основными субстанциями, ответственными за распространение радиоактивных веществ в жилые помещения и за загрязнение вдыхаемого людьми воздуха радиоизотопами. С радиологической точки зрения опасен не сам радон, а набор генетически связанных радионуклидов, им порождаемый. Исследования ученых показывают, что вдыхание радона и его ДПР приводит к облучению легочной ткани чело-



века. Долгое время считалось, что вклад радона и его ДПР в ингаляционное облучение людей незначителен. Однако в ряде работ ставится под сомнение приведенное выше утверждение [15, 16]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что «радоновое» облучение повышает вероятность возникновения онкологических заболеваний таких органов, как желудок, прямая кишка, кожа, гонадов, щитовидной железы [6, 17–21]. При высоких дозах облучения из-за расстройства метаболизма гибнет большое число клеток. Возникают морфологические и функциональные изменения в тканях, органах и системах. Это приводит к развитию общего заболевания организма. Формирование общего лучевого поражения начинается с молекулярного уровня, проходит клеточный, тканевой, органной и системный уровни биологической интеграции и заканчивается уровнем целостного организма. Особенно большие изменения после облучения клетки наблюдаются в обмене сложных белков – нуклеопротеидов. Ионизирующие излучения повреждают ферменты, и это приводит к расстройству процесса синтеза белков. Нарушение обмена нуклеопротеидов приводит к тяжелым последствиям. Расстройство процессов репликации молекул ДНК вызывает срыв клеточного деления, расстройство процессов производства молекул РНК – снижение продукции белка. Нарушение обмена белков приводит к расстройству динамического обновления различных внутриклеточных структур [22].

В связи с этим цель данной работы – определение радиационного фона в жилых помещениях, возникающего в результате эксхалляции и деэманации радона и его ДПР – является актуальной.

#### Объект и методы исследования

В качестве локальных источников ионизирующего излучения выбраны строительные и отделочные материалы, а также водопроводная вода жилых и бытовых помещений различного назначения.

Рассмотрим более детально объекты исследования. **Объект А** – двухэтажный дом (коттедж) из белого кирпича (20 лет), включает помещения различной этажности: 1 – *подвал (погреб)* (глубина 2 м), стены выложены из белого кирпича, площадь – 4.5 м<sup>2</sup>; 2 – *1-й этаж*: жилая комната, санузел (полы и стены облицованы плиткой, раковина – керамика), кухня (газовая плита, деревянные полы), прихожая; 3 – *2-й этаж*: жилая комната. **Объект Б** – *одноэтажный гараж* (керамзито-

бетонная конструкция, 40 м<sup>2</sup>). **Объект В** – *одноэтажная баня* (белый силикатный кирпич, внутренняя отделка деревом, 25 м<sup>2</sup>). **Объект Г** – совмещенный санузел 5-этажного кирпичного жилого дома (возраст ~ 55 лет). **Объект Д** – совмещенный санузел 9-этажного панельного жилого дома (возраст ~ 25–35 лет). Объекты Г и Д имеют внутреннюю облицовку из керамической плитки, а также в них установлены различные керамические изделия бытового назначения.

Исследования по определению радиационного фона помещений проводили с использованием следующих приборов: индикатор радиоактивности РАДЭКС РД 1503 (КВАРТА-РАД, Россия) и дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА» (БПО «Экран», Россия). Измерение радиационного фона на объектах А, Б, В проводили на высоте 1.0 м от пола и не ближе 0.5 м от стен во всех помещениях. На объектах Г и Д предварительно были получены результаты средней арифметической фоновой мощности экспозиционной дозы, создаваемой керамическими изделиями и отделочными материалами, которую приняли за начальное значение. После измерения средней мощности на этих объектах исследования фиксировали изменения в величине мощности экспозиционной дозы при включении водопровода. С учетом того, что дозиметры проградуированы в единицах мощности экспозиционной дозы (мкР/ч), результаты измерений пересчитывались в единицы мкЗв/ч с использованием соотношения:  $H \text{ (мкЗв/ч)} = 0.009 \cdot P \text{ (мкР/ч)}$ .

Изменения мощности во времени статистически обрабатывались по общепринятым методам с использованием *t*-критерия Стьюдента, достоверными считали различия при значении уровня значимости  $p < 0.05$ . Точность и надёжность произведённой оценки характеризуются вероятностью того, что действительное отклонение найденного приближения от истинной величины не превзойдёт заданного предела. Уровень достоверности полученных результатов составляет  $0.02 < p < 0.05$ . Расчет приведен на выборке из 10 измерений в каждой точке замера. Результатом всех измерений является построение зависимости величины фоновой мощности от исследуемого параметра.

#### Результаты и их обсуждение

*Влияние высоты помещений на величину радиационного фона.* Исследовано влияние расстояния от поверхности земли на величину фоновой мощности экспозиционной дозы (табл. 1).



Установлено, что с увеличением этажности помещения величина фоновой мощности экспозиционной дозы уменьшается. Такое вертикальное распределение согласуется с литературными данными [23], и может быть объяснено проникновением радона и его дочерних продуктов распада в дом из грунта сквозь трещины в фундаменте и через пол и его концентрированием в основном в непроветриваемых подвальных помещениях и на нижних этажах жилых и производственных построек [23].

Таблица 1

**Влияние расстояния от поверхности земли на величину фоновой мощности экспозиционной дозы ( $n = 8, P = 0.95$ ). Объект исследования А. РАДЭКС РД1503**

Высота от поверхности земли, м	$\Phi$ , мкЗв/ч
Погреб (-2)	0.19±0.010
1-й этаж (1)	0.15±0.008
2-й этаж (4)	0.13±0.008

Аналогичные измерения были проведены на приборе «СОСНА». Результаты исследований представлены на рис. 2. Полученные результаты подтверждают данные исследований, полученные на приборе РАДЭКС.

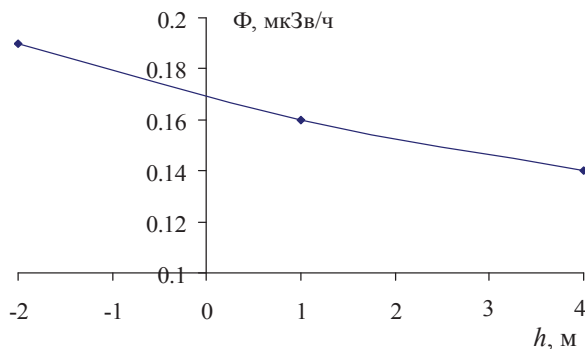


Рис. 2. Зависимость величины фоновой экспозиционной дозы от высоты исследуемого объекта ( $n = 8, P = 0.95$ ). Объект исследования А. Прибор «Сосна»

*Измерение величины фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях одного этажа.* Результаты исследований по определению фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях первого этажа объекта А (спальная комната, ванная комната, туалет, кухня) представлены в табл. 2. Анализ данных исследования показал, что в помещениях – туалет и ванная – величина фоновой мощности экспозиционной дозы превышает ~ в 1.3 мкЗв/ч эту же величину, определенную в комнате, прихожей и кухне. Это, вероятно, связано

с наличием в указанных помещениях большого количества дополнительных источников – *строительных и отделочных материалов* (настенная и напольная кафельная плитка, раковина) и *воды*, которые повышают фоновую мощность экспозиционной дозы.

Таблица 2

**Значение величины фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях одного этажа ( $n = 8, P = 0.95$ )**

1-й этаж	РАДЭКС, мкЗв/ч	«Сосна», мкЗв/ч
Комната	0.15±0.01	0.16±0.02
Кухня	0.14±0.01	0.15±0.02
Ванная	0.19±0.02	0.18±0.02
Туалет	0.18±0.02	0.17±0.01

*Определение величины фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях, находящихся на одном земельном участке.* Представлены результаты, полученные в помещениях, находящихся на одном земельном участке, но возведенных из разных строительных материалов (табл. 3). Из таблицы видно, что данные отличаются незначительно, что вполне закономерно для этих объектов. Это может быть объяснено одинаковой эксхалацией радона и его дочерних продуктов на всей территории земельного участка.

Таблица 3

**Значения величины фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях, находящихся на одном земельном участке ( $n = 8, P = 0.95$ ). Объект исследования А, Б, В**

1-й этаж	РАДЭКС, мкЗв/ч	«Сосна», мкЗв/ч
Гараж	0.120±0.001	0.130±0.015
Баня	0.140±0.010	0.130±0.015

При сравнении мощности дозы на открытой местности и внутри помещений замечаем, что они различаются, но различие это может зависеть от многих причин. Установлено, что мощность дозы внутри помещений больше мощности дозы на открытой местности. Такой феномен можно объяснить двумя факторами. С одной стороны, происходит эксхалация радионуклидов и их накопление внутри помещений. С другой стороны, это происходит за счет экранирования влияния построек по отношению к внешнему фону.

*Зависимость величины фоновой мощности экспозиционной дозы от температуры воды, времени её истечения и формы истечения.* Предварительные исследования показали, что



средняя арифметическая фоновая мощность экспозиционной дозы в исследуемых помещениях различна и отличается приблизительно в 3 раза. Так, для полигона Г она составила 5 мкР/ч, полигона Д – 17 мкР/ч. Это, вероятно, связано с различным местонахождением и возрастом исследуемых помещений, а также природой материала, из которого они возведены.

Известно, что содержание радона наблюдается в любой воде, омывающей породы даже с низким содержанием радия [13, 24–26]. Растворённый в воде радон представляет существенную угрозу для здоровья людей. Радон способен перемещаться по водопроводным трубам централизованного водоснабжения на расстояние 10 км и более [13]. С водой радон попадает в пищеварительную систему человека, вызывая внутреннее облучение.

Установлено, что при нагревании и кипячении воды радон практически весь деэманурует и поступает в организм ингаляционным способом. В связи с вышесказанным исследования по содержанию радона в воде хозяйственно-бытового назначения являются важной и актуальной задачей.

Исследования показали, что величина фоновой мощности экспозиционной дозы ( $\Phi$ ), создаваемая водой, зависит от ряда факторов: температуры, времени истечения и формы истечения воды. Установлено, что с повышением температуры воды наблюдается изменение радиационного фона (рис. 3). Установлено, что повышение температуры воды до 35°C повышает фоновую мощность экспозиционной дозы в ~ 3 раза. Дальнейшее повышение температуры воды на 5° С увеличивает величину  $\Phi$  на 3–5 единиц.

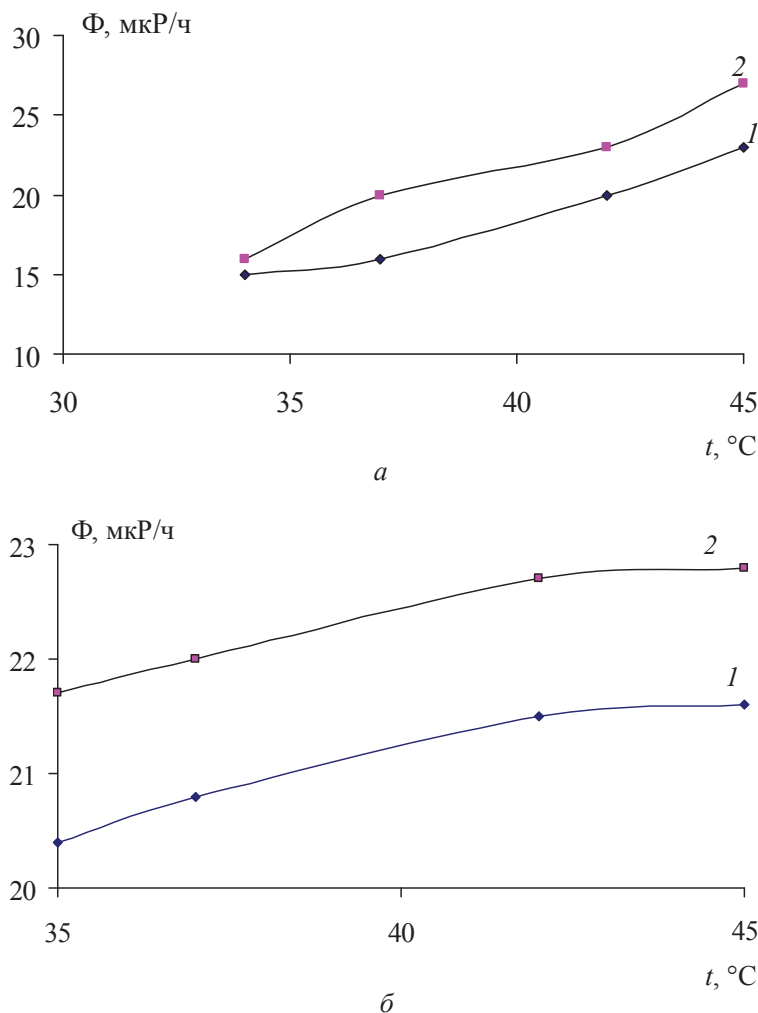


Рис. 3. Зависимость величины фоновой экспозиционной дозы излучения от температуры воды и формы её истечения ( $n = 10, P = 0.95$ ): а – объект исследования Г, б – объект исследования Д. Время истечения воды – 35 мин: 1 – кран (струя воды), 2 – душ. Прибор РАДЭКС



Полученные результаты свидетельствуют о процессе дезманирования радона при нагревании воды. Из рис. 3 также видно, что на величину фоновой мощности экспозиционной дозы оказывает значительное влияние и форма истечения воды из труб. Так, кривая 2, соответствующая истечению воды из душа (распылителя), характеризуется

большими значениями  $\Phi$ , чем кривая 1. Полученные результаты могут быть объяснены увеличением скорости дезманирования радона и ДПР с увеличением площади распыляемой воды. Однако следует отметить, величина фоновой мощности экспозиционной дозы при этом не зависит от времени истечения воды и не изменяется (рис. 4).

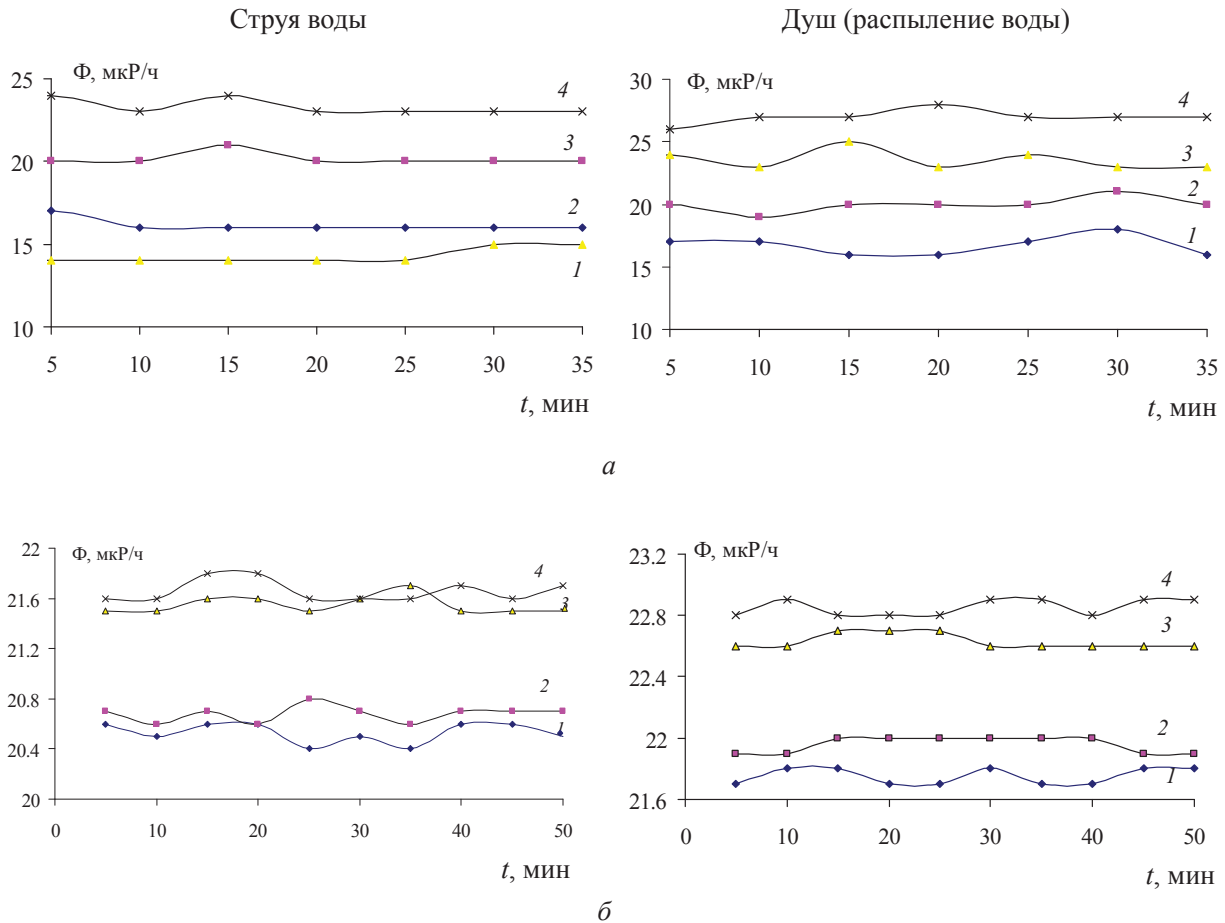


Рис. 4. Зависимость величины фоновой экспозиционной дозы излучения от температуры и времени истечения воды из душа ( $n = 10$ ,  $P = 0.95$ ): а – объект исследования Г; б – объект исследования Д; 1 – 34° С, 2 – 37° С, 3 – 42° С, 4 – 45° С. Прибор РАДЭКС

### Выводы

Обобщение и анализ экспериментальных данных позволили установить следующие закономерности изменения радиационного фона в исследуемых помещениях.

1. Средняя арифметическая фоновая мощность экспозиционной дозы различных объектов может отличаться. Этот факт согласуется с известными литературными данными [8, 11] и может зависеть от геолого-морфологических особенностей строения территории, на которых расположены объекты, «природой» строительного материала, а также наличием

внутри объекта дополнительных источников радона и его ДПР.

2. Величина мощности фоновой дозы зависит от высоты (этажности) объекта. Так, на каждом следующем этаже значение величины  $\Phi$  понижается. Это связано, прежде всего, с ограничением поступления радона и его ДПР из слоев почвы, так как вертикальные и горизонтальные перекрытия являются преградой распространяющимся ДПР.

3. Использование распыляющих источников воды приводит к резкому повышению величины мощности фоновой дозы. В свою очередь,



повышение температуры воды оказывает незначительное влияние на увеличение мощность фоновой экспозиционной дозы.

4. Статистическая обработка результатов исследований свидетельствует об отсутствии случайных и систематических погрешностей.

### Список литературы

1. Кузин А. М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М. : Наука, 1991. 115 с.
2. Сердюкова А. С., Капитонов Ю. Т. Изотопы радона и продукты их распада в природе. М. : Атомииздат, 1975. 295 с.
3. Тихонов М. Н. Радонная радиация : источники, дозы и нерешенные вопросы // Экология промышленного производства. 2008. № 1. С. 35–51.
4. Радиация. Дозы, эффекты, риски / пер. с англ. Ю. А. Банникова. М. : Мир, 1988. 79 с.
5. Усманов С. М. Радиация : справочный материал. М. : ВЛАДОС, 2003. 173 с.
6. Огородников Б. И. Торон и его дочерние продукты в проблеме ингаляционного облучения // Атомная техника за рубежом. 2006. № 6. С. 10–15.
7. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009) : Гигиенические нормативы. Утв. и введены в действие постановлением глав. гос. санитарного врача РФ Г. Г. Онищенко от 07.07.2009 г. № 47 с 01.09.2009 г. М. : Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009. 225 с.
8. Лучин И. А., Титов В. К., Лашков Б. П. Радон в почвах и зданиях. СПб. : НПО «Рудгеофизика», 1991. 16 с.
9. Сидельникова О. П., Козлов Ю. Д. Влияние активности естественных радионуклидов строительных материалов на радиационный фон помещений. М. : Энергоатомиздат, 1996. 160 с.
10. Яковлева В. С. Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. С. 20–21, 117–124.
11. Онищенко Г. Г., Иванов С. И. Основные итоги деятельности государственной санитарно-эпидемиологической службы по ограничению облучения населения России от природных источников ионизирующих излучений, нерешенные проблемы и задачи на предстоящий период // Здоровье населения и среда обитания : информ. бюл. 2000. № 3(84). С. 1–7.
12. Тихонов М. Н. Радонная радиация на территориях с повышенным радиационным фоном // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 10. С. 1–24.
13. Романова А. А., Игнатьев Г. В. Радон в системе централизованного водоснабжения // Вестн. ЧитГУ. 2011. Т. 76, № 9. С. 119–122.
14. Шулейкин В. Н. Радон почвенного и атмосферного воздуха и дегазация земли // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. М. : Ин-т проблем нефти и газа РАН, 2010. Вып. 1(1). С. 4–7.
15. Igarashi G., Saeki S., Takahata N., Sumikawa K., Tataka S., Sasaki Y., Takahashi M., Sano Y. Ground Water Radon Anomaly before the Kobe Earthquake in Japan // Science. 1995. Vol. 269, № 5220. P. 60–61.
16. Heynes R. M. The distributicof domestic radon concentration and lung cancer mortality in Enfland and Walas // Radiol. prof. dosim. 1988. Vol. 25, № 2. P. 93–96.
17. Адеишвили Т. Г., Хвелидзе Л. В., Маманенишвили И. Т. О влиянии естественной радиоактивности на здоровье человека // Intern. J. Immunol. 1988. № 8. P. 174–181.
18. Иванов З. Анамнестические, физикальные и биодозиметрические индикаторы поражения легких у неурановых шахтеров // Докл. Болг. АН. 2000. Т. 53, № 9. С. 115–118.
19. Трифонова Т. А., Ширкин Л. А. Оценка и сравнительный анализ рисков для здоровья населения (на примере г. Владимир). Владимир : ВООО ВОИ ПУ «Рост», 2010. 80 с.
20. Василенко О. И. Радиационная экология. М. : Медицина, 2004. 216 с.
21. Василенко И. Я. Биологическое действие продуктов ядерного деления. Отдаленные последствия поражения // Радиобиология. 1993. Т. 33, вып. 3. С. 442–452.
22. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита / под ред. С. А. Куценко. СПб. : Фолиант. 2004. 528 с.
23. Влацкий Ф. Д. Исследования содержания радона в жилых помещениях Первомайского района Оренбургской области // Вестн. ОГУ. Естественные и технические науки. 2005. Т. 2, № 10. С. 68–73.
24. Гаврилюк Ю. М., Гангапшев А. М., Кузьминов В. В., Панасенко С. И. Мониторинг содержания <sup>222</sup>Rn в воздухе низкофоновых лабораторий с помощью импульсной ионной ионизационной камеры // Изв. Рос. акад. наук. Сер. физ. 2011. Т. 75, № 4. С. 583–587.
25. Грубич А. О. Об оптимизации измерений радона в воздухе помещений // АНРИ. 2003. № 2. С. 59–62.
26. Воронов А. Н. Радон в подземных водах : экологические аспекты // Экологические проблемы гидрогеологии : Восьмые Толстихинские чтения : материалы науч.-метод. конф. СПб., 1999. С. 148–151.



УДК 535.345.1

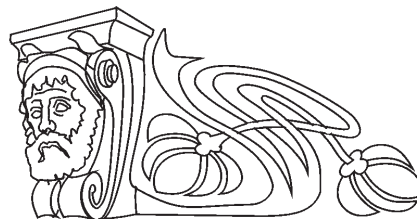
## КОНСТРУКТИВНАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СОЛИТОНОВ В ВОЛОКНЕ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ ДИСПЕРСИИ

М. А. Дорохова<sup>1</sup>, А. И. Конюхов<sup>2</sup>,  
Л. А. Мельников<sup>1</sup>, А. С. Пластун<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.

<sup>2</sup>Саратовский государственный университет

E-mail: martada@inbox.ru



В данной статье представлены результаты численного моделирования столкновения солитонов, распространяющихся в оптическом волокне с периодически изменяющейся дисперсией. Моделирование проведено на основе нелинейного уравнения Шредингера. Рассмотрены различные режимы совместного распространения двух солитонов. Наибольший интерес представляет собой режим распространения, который соответствует формированию интенсивного импульса из двух фундаментальных солитонов.

**Ключевые слова:** оптические солитоны, слияние солитонов, волокно с переменной дисперсией, конструктивная интерференция.

### Constructive Interference of Optical Solitons in Dispersion Oscillating Fiber

М. А. Dorokhova, А. I. Konyukhov,  
L. A. Melnikov, А. S. Plastun

In this article the results of numerical modeling of soliton's collision in dispersion oscillating fiber are presented. Nonlinear Schroedinger equation for modelling was used. Different propagation regimes of the couple of solitons are considered. One of these results is merging of two solitons into high-intensity pulse.

**Key words:** optical solitons, solitons merge, dispersion oscillating fiber, constructive interference.

### Введение

Чем меньше длительность импульса, тем существеннее оказывает влияние на него дисперсия и нелинейность оптического волокна [1]. Особый интерес представляет такое явление, когда совместное сбалансированное действие дисперсии и нелинейности приводит к формированию устойчивых оптических импульсов, сохраняющих практически неизменную форму при распространении по волокну. Такие импульсы принято называть оптическими солитонами.

Теоретические и экспериментальные исследования за последние годы позволили выявить ряд особенностей формирования, распространения и взаимодействия солитонов при наличии многочисленных возмущающих факторов.

Свойства оптических солитонов позволяют использовать их для передачи информации в длинных коммуникационных линиях связи, а также в волоконно-оптических системах для генерации сверхкоротких лазерных импульсов.

Как показывают исследования, при столкновении солитонов возможны различные дальнейшие эволюционные картины их распространения. В данной статье авторов интересует конструктивная интерференция солитонов в результате их взаимодействия, следствием которой является суммирование их амплитуд. Примером этого служит явление слияния солитонов с формированием одного импульса. Ранее для столкновения солитонов и их слияния использовались различные оптические системы: в [2] исследовалось слияние щелевых солитонов в волоконной брегговской решетке (слияние происходило у солитонов, принимающих предельные значения энергии и скорости); в [3] были найдены условия для слияния солитонной пары в лазере с синхронизацией мод и т.д.

В данной статье для контроля столкновения и слияния солитонов предлагается использовать оптические волокна с переменным диаметром. Данные волокна интересны тем, что их дисперсия также изменяется периодически вдоль длины волокна [4, 5]. Волокно с периодическим изменением дисперсии позволяет разделять оптические солитоны [4]. Интересен обратный процесс, когда пара оптических солитонов преобразуется в одиночный импульс. Используя нелинейное уравнение Шредингера и моделируя с помощью него эволюцию двух оптических солитонных импульсов в волокне с переменной дисперсией, авторы проанализировали поведение солитонов в зависимости от заданных начальных параметров. Как оказалось, существуют режимы, когда два солитона при столкновении сливаются и движутся после этого как один импульс.





### Столкновение солитонной пары

Как упоминалось выше, оптические солитоны возникают в результате совместного действия аномальной дисперсии и нелинейности (керровская фазовая самомодуляция). Эволюция солитонов в волоконном световоде подчиняется нелинейному уравнению Шредингера (НУШ) [1]:

$$i \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \gamma |u|^2 u = 0. \quad (1)$$

В данном случае  $u(z, t)$  – амплитуда огибающей волнового пакета,  $\beta_2$  характеризует дисперсию групповой скорости,  $\gamma$  – параметр нелинейности.

Одним из решений уравнения (1) являются оптические солитоны. Оптический солитон имеет огибающую в виде гиперболического секанса. Рассмотрим начальное поле в виде двух солитонов, разделенных временным интервалом  $s$ :

$$u(z=0, t) = N \sqrt{\frac{|\beta_2|}{\gamma \tau_0}} \left[ \operatorname{sech} \left( \frac{\tau - s/2}{\tau_0} \right) + \operatorname{sech} \left( \frac{\tau + s/2}{\tau_0} \right) \right]. \quad (2)$$

Здесь  $N$  – порядок для каждого из солитонов. Порядок солитона определяется по формуле

$$N^2 = \frac{L_D}{L_{NL}} = \frac{\gamma P_0 \tau_0^2}{|\beta_2|}, \quad (3)$$

где  $L_D, L_{NL}$  – дисперсионная и нелинейная длины соответственно;  $P_0$  – пиковая мощность начального импульса [1].

Если  $N = 1$ , то солитон относится к фундаментальным солитонам. Одним из основных его свойств является то, что при постоянной дисперсии волокна ( $\beta_2 = \text{const}$ ) форма солитона не изменяется при распространении. Два синфазных солитона (2), максимумы которых первоначально разнесены во времени, сближаются, сливаются, затем некоторую дистанцию проходят как единый волновой пакет и вновь разделяются. На рис. 1 представлено моделирование распространения двух фундаментальных солитонов (2) в волокне с фиксированной дисперсией.

Рассмотрим поведение сталкивающихся солитонов в волокне с периодическим изменением дисперсии. Для нашего моделирования будем использовать волокно с периодически модулированным диаметром сердцевины. Дисперсия такого волокна также изменяется вдоль его длины [4] по следующему закону:

$$\beta_2(z) = \beta_2^{(0)} \left[ 1 + 0.2 \sin \left( 2\pi \frac{z}{z_m} + \varphi \right) \right], \quad (4)$$

здесь  $\beta_2^{(0)}$  – среднее значение коэффициента дис-

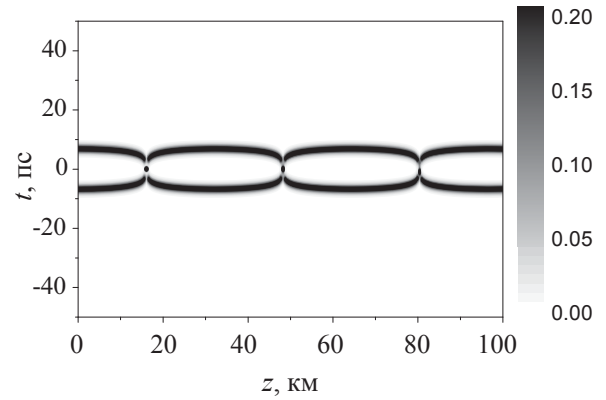


Рис. 1. Распространение двух фундаментальных синфазных солитонов в волокне с фиксированной дисперсией ( $\beta_2 = \text{const}$ ). Интенсивность  $|u(z, t)|^2$  нормирована на единицу. Параметры, используемые при моделировании:  $\beta_2 = -12,76 \text{ пс}^2/\text{км}$ ,  $\gamma = 8,2 \text{ Вт}^{-1}\text{км}^{-1}$ ,  $\tau_0 = 2 \text{ пс}$ ,  $s = 6 \text{ пс}$

персии второго порядка,  $z_m$  – период модуляции дисперсии,  $\varphi$  – начальная фаза модуляции.

В случае использования волокна, дисперсия которого изменяется по синусоидальному закону (4), мы уже не получим периодического изменения поля, как на рис. 1. Один из возможных сценариев изображен на рис. 2: два фундаментальных солитона, запущенных в волокно с переменной дисперсией, пройдя некоторое расстояние, сталкиваются, после чего расходятся без последующих столкновений. В данном случае сценарий поведения поля похож на распад солитона второго порядка. После воздействия периодического изменения дисперсии формируются два фундаментальных солитона, распространяющихся с различными групповыми скоростями. Различие в групповых скоростях солитонов возникает из-за сдвига несущей частоты импульсов. Несущая частота одного импульса сдвинута в низкочастотную область спектра относительно первоначального значения, для другого импульса частота сдвинута в высокочастотную область. Частотные сдвиги для каждого из импульсов противоположны по знаку и равны по величине. Для солитона второго порядка разделение на два фундаментальных солитона наиболее эффективно происходит, когда период изменения дисперсии  $z_0 = (\pi/2)\tau_0^2/|\beta_2|$  совпадает с периодом изменения дисперсии волокна. Для параметров, соответствующих режиму, показанному на рис. 1,  $z_0 = 0.16 \text{ км}$ . При моделировании было получено, что разделение солитонов после их столкновения происходит при периодах модуляции, отличных от величины  $z_0$ .

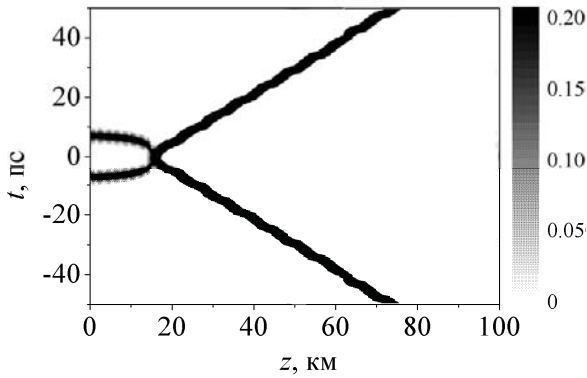


Рис. 2. Столкновение двух фундаментальных солитонов в волокне с периодической модуляцией дисперсии по закону (4). Фаза модуляции  $\varphi = 0$ , период модуляции  $z_m = 7$  км. Остальные параметры см. рис. 1

Изменяя период модуляции дисперсии волокна, можно найти режимы преобразования двух синфазных солитонов в одиночный устойчивый импульс. Как видно из рис. 3, после прохождения определенного расстояния два фундаментальных солитона, столкнувшись, сливаются в один импульс высокой интенсивности. Часть энергии уносится в виде двух дополнительных импульсов, соответствующих дисперсионным волнам. Дисперсионная волна имеет недостаточную интенсивность для поддержания солитонного режима распространения. Поэтому при дальнейшем распространении в волокне интенсивность боковых импульсов будет снижаться за счет дисперсионного расплывания. Слияние солитонов было обнаружено при нескольких периодах модуляции, км:  $z_m = 2.0; 2.2; 2.3; 2.4$ . Режимы при разных  $z_m$  отличаются интенсивностью дисперсионной волны и ее групповой скоростью. Общим для всех режимов является появление центрального (при  $t = 0$ ) интенсивного импульса.

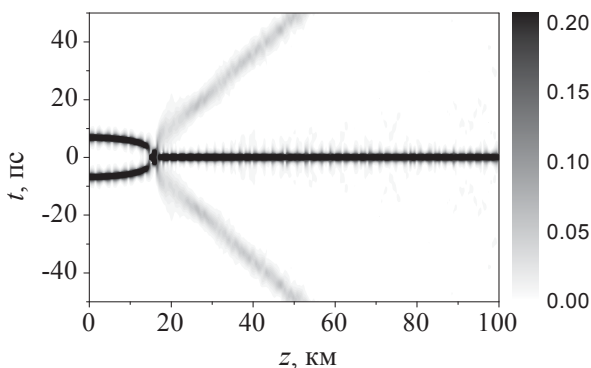


Рис. 3. Слияние двух фундаментальных солитонов в волокне с периодической модуляцией дисперсии (4). Период модуляции  $z_m = 2$  км,  $\varphi = 0$ . Остальные параметры см. рис. 1

На рис. 4 показана пиковая интенсивность одного из начальных импульсов, а также пиковая интенсивность центрального импульса при  $t = 0$ . После появления центрального импульса его пиковая интенсивность продолжает осциллировать при распространении в волокне. Однако, как видно из рис. 4, интенсивность полученного одиночного импульса оказывается примерно в два раза выше, чем интенсивность начального импульса.

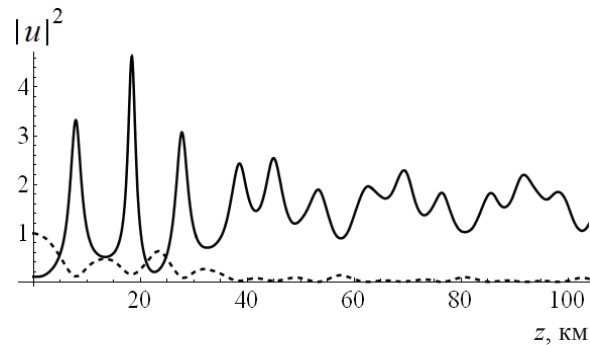


Рис. 4. Интенсивность выходного импульса (сплошная линия) и интенсивность начальных импульсов (пунктирная линия) для режима, показанного на рис. 3

### Заключение

В данной статье были представлены результаты моделирования столкновений оптических солитонов первого порядка ( $N = 1$ ) в волокне с периодически изменяющейся вдоль длины дисперсией. Такие волокна представляют большой практический интерес. Их применяют для сжатия солитонов, генерации стабильного континуума и, как было показано выше, для эффективного управления динамикой распространения солитонов. Солитоны, распространяющиеся в таком волокне, после прохождения некоторого расстояния упруго сталкиваются, а потом расходятся. Но, если мы будем использовать специальные условия, связанные с периодом модуляции, то столкнувшиеся солитоны сольются в один импульс с высокой интенсивностью. Происходит так называемая конструктивная интерференция, в результате которой интенсивность выходного импульса выше, чем интенсивность начальных импульсов. Таким образом, данный эффект может использоваться для повышения энергии лазерных импульсов.

### Список литературы

1. Ахманов С. А., Выслоух В. А., Чиркин А. С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: Наука, 1988. 309 с.



2. Mak W. C., Malomed B. A., Chu P. L. Formation of a standing-light pulse through collision of gap solitons // Phys Rev E. 2003. Vol. 31, № 68. P. 1–9.
3. Ablowitz M. J., Horikis T. P., Nixon S. D., Zhu Y. Asymptotic analysis of pulse dynamics in mode-locked lasers // Studies in Applied Mathematics. 2009. Vol. 122, iss. 4. P. 411–425.
4. Sysoliatin A. A., Konyukhov A. I., Melnikov L. A. Dynamics of optical pulses propagating in fibers with variable dispersion // Numerical Simulations of Physical and Engineering Processes. 2011. P. 277–300.
5. Bauer R. G., Melnikov L. A., Multi-soliton fission and quasiperiodicity in a fiber with a periodically modulated core diameter // Opt. Commun. 1995. Vol. 115. P. 190–195.

УДК 538.975

## ТЕРМОСТАБИЛЬНЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ЖИГ ГЕНЕРАТОР

А. Н. Литвиненко, В. В. Тихонов

Саратовский государственный университет  
E-mail: LitvinenkoAN@gmail.com



В работе предложена оригинальная конструкция термостабильного электрически перестраиваемого ЖИГ генератора СВЧ с пленочным ЖИГ резонатором в цепи обратной связи. Печатная плата генератора вместе с катушками электрической перестройки и встроенной системой термокомпенсации располагалась внутри экрана портативной магнитной системы. Температурный дрейф частоты ЖИГ резонатора компенсировался температурным размагничиванием постоянных магнитов.

**Ключевые слова:** ЖИГ генераторы, температурная нестабильность, термостабилизация.

### Thermostable Tunable YIG Oscillator

A. N. Litvinenko, V. V. Tikhonov

In the paper the original construction of thermostable electrically tunable microwave YIG oscillator with planar resonator in feedback loop is proposed. PCB of oscillator with tunable coil and thermocompensated system is located inside the screen of the portable magnetic system. Temperature drift YIG resonator frequency compensated temperature demagnetization of permanent magnets.

**Key words:** YIG oscillator, thermal instability, thermostabilization.

### Введение

Современные тенденции развития мобильных систем радиолокации, навигации и связи проявляются в продвижении в область более высоких частот. При этом к бортовым системам предъявляются повышенные требования миниатюризации, энергоёмкости и другие. В системах обработки радиосигналов начинают преобладать цифровые методы [1]. Однако эффективность этих методов во многом зависит от качества опорного сигнала. В частности, для повышения точности радарных систем необходимо предельное снижение уровня фазовых шумов, а для защиты от шумового противодействия необходимо иметь возможность быстрой перестройки ча-

стоты опорного сигнала. В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют транзисторные ЖИГ генераторы.

В настоящее время в основном используются генераторы на ЖИГ сферах, которые серийно выпускаются целым рядом российских и зарубежных фирм [2]. Однако область их применения весьма ограничена из-за высокой температурной нестабильности частоты ЖИГ резонаторов. С началом производства высококачественных пленок ЖИГ резонаторов, которые также обладают высокой добротностью, порядка  $10^3$ – $10^4$ , но отличаются более высокой технологичностью и низкой стоимостью. Однако переход к планарной технологии по-прежнему не решал проблемы термостабилизации. Более того, эта проблема усложнялась температурной нестабильностью постоянных магнитов, которые использовались в портативных системах намагничивания пленок ЖИГ.

Известные способы термостабилизации не вполне удовлетворяют требованиям мобильных систем. Термостатирование и фазовая автоподстройка частоты ЖИГ генератора приводят к желаемому результату ценой дополнительных энергозатрат, значительного усложнения устройства и увеличения его габаритов. В этом смысле более предпочтительными представляются методы термокомпенсации дрейфа частоты резонатора за счет температурного изменения величины намагничивающего поля. Для реализации этих методов в конструкцию магнитной системы дополнительно вводились термокомпенсационные элементы (термошунты, термосопротивления) [3], которые вместе с постоянными магнитами обеспечивали требуемое изменение поля в рабо-



чем зазоре магнитной системы (см., например, [4]). Однако настройка такой системы оказалась достаточно сложной и трудоемкой задачей.

Наиболее простой и эффективный способ автоподстройки частоты пленочного ЖИГ резонатора был предложен в работе [5], где в качестве термокомпенсационных элементов использовалась специально подобранная комбинация разнородных магнитов. Этот способ был реализован в оригинальной конструкции портативной экранированной электрически перестраиваемой магнитной системы, которая к тому же допускала размещение внутри экрана микрополосковой схемы интегрального СВЧ устройства [6].

В данной работе эта конструкция использовалась для термостабилизации ЖИГ генератора СВЧ. В задачу работы входило: разработка принципиальной схемы и топологии печатной платы малошумящего транзисторного ЖИГ генератора; макетирование генератора в составе портативной магнитной системы [6]; настройка системы термостабилизации и ее испытание в широком диапазоне температур.

### 1. Моделирование схемы ЖИГ генератора

В задачу моделирования входила разработка транзисторного ЖИГ генератора с предельно низким уровнем фазовых шумов и широкой полосой перестройки частоты генерации.

Известно, что уровень фазовых шумов генератора определяется: во-первых, нагруженной добротностью частотно задающего резонатора в цепи обратной связи (в нашем случае пленочного ЖИГ резонатора), во-вторых, собственной нестабильностью СВЧ транзистора и, в-третьих, качеством согласования активной части автогенератора с внешним СВЧ трактом. Известно также, что наиболее широкой полосой перестройки обладает схема транзисторного генератора с общей базой. В этой схеме резонатор подключается к активной части генератора по схеме двухполюсника, что давало дополнительное преимущество в плане ослабления нагрузки ЖИГ резонатора.

Схема транзисторного ЖИГ генератора с общей базой представлена на рис. 1.

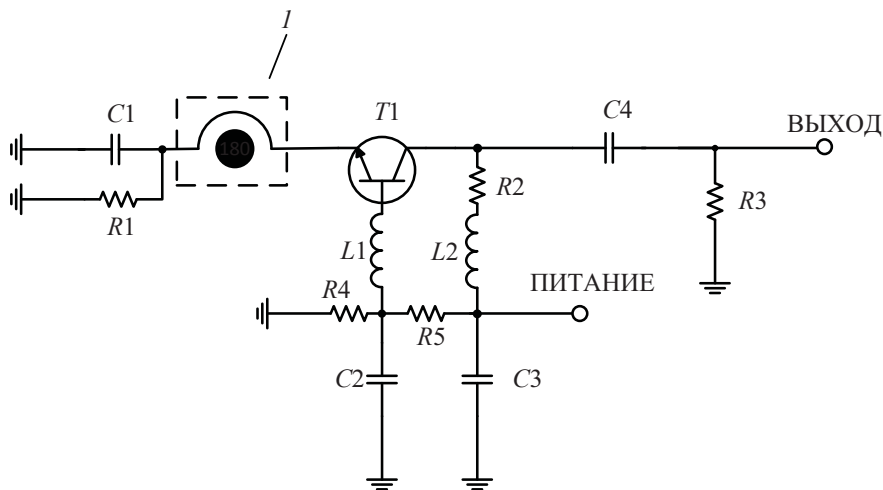


Рис. 1. Принципиальная схема транзисторного ЖИГ генератора с общей базой.  
1 – ЖИГ резонатор с микрополосковым преобразователем

Для реализации схемы генератора был выбран биполярный транзистор BFU730f фирмы NXP [7], который отличался предельно низким уровнем собственных шумов, порядка 0.8дБ, на частотах до 5ГГц. В цепях согласования активной части использовались высокочастотные пассивные элементы фирмы Murata [8], которые обеспечивали стабильную работу генератора в диапазоне 3-6ГГц.

Моделирование колебательных процессов в схеме генератора, которая приведена на рис. 1, осуществлялось в системе ADS фирмы Agilent

[9]. Эта система позволяла осуществлять полный цикл проектирования электронных схем, включая моделирование процессов развития колебаний, моделирование электромагнитных полей в заданной топологии печатной платы, а также расчет характеристик выходного сигнала генератора с учётом влияния паразитных параметров печатной платы.

В расчетах использовалась нелинейная модель транзистора BFU730f, которая была предоставлена производителем в виде SPICE-файла [10]. Этот файл импортировался в систему



ADS вместе с файлами  $S$ -параметров пассивных элементов, которые выбирались из соответствующих библиотек производителей [11]. Помимо этого в системе ADS использовалась модель ЖИГ резонатора с элементом связи, эквивалентная схема которого представлена на рис. 2.

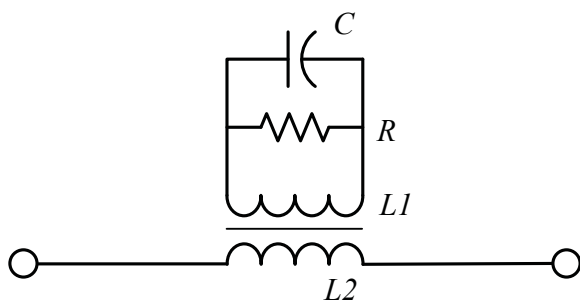


Рис. 2. Эквивалентная схема нагруженного ЖИГ резонатора:  $C$  – емкость,  $L1$  – индуктивность,  $R$  – сопротивление,  $L2$  – индуктивность микрополоскового преобразователя

Значения эквивалентных параметров  $L1$ ,  $L2$ ,  $C$ ,  $R$  рассчитывались с использованием измеренных  $S$ -параметров ЖИГ резонаторов по методике, предложенной в работе [12].

Для реализации электрической схемы генератора, (см. рис. 1) была разработана топология печатной платы, которая представлена на рис. 3.

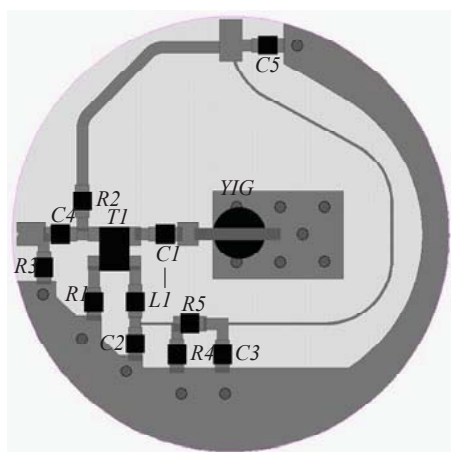


Рис. 3. Топология печатной платы

С целью уменьшения паразитных емкостных параметров и уменьшения потерь печатной платы был выбран материал Arlon-250 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2.5$  и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta = 0.0014$ . Диаметр платы составлял 20 мм, толщина 0.5 мм. Геометрия и размеры печатной платы задавались внутренними размерами цилиндрической магнитной системы.

В задачу моделирования входил расчет  $S$ -параметров активной части генератора, временной анализ генерируемого сигнала и уровня фазовых шумов. Результаты расчетов  $S11$ -параметров представлены на рис. 4.

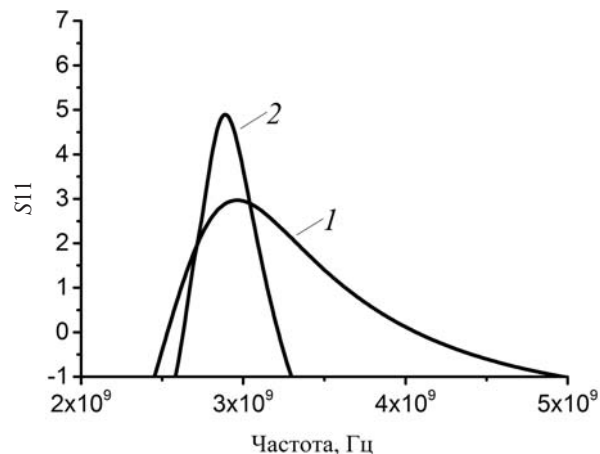


Рис. 4. Результаты расчетов  $S11$ -параметров активной части транзисторного автогенератора

Кривая 1 была рассчитана по принципиальной схеме, приведенной на рис. 1. Кривая 2 была рассчитана по той же схеме, но с учётом паразитных параметров печатной платы. Видно, что паразитные параметры печатной платы сужают частотный диапазон усиления активной части генератора, но при этом остается достаточно широкая полоса для перестройки частоты ЖИГ генератора.

На рис. 5 представлены временные реализации генерируемых сигналов.

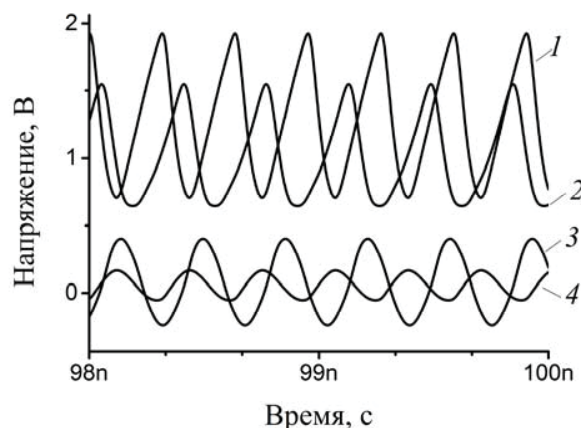


Рис. 5. Временная реализация генерируемых сигналов

Кривые 1, 2 соответствует колебаниям на выходе генератора соответственно без учета и с учетом влияния параметров печатной платы. Кривые 3, 4 соответствуют колебаниям на входе ЖИГ резонатора также без учета и с учетом вли-



яния параметров печатной платы. Видно, что на выходе транзисторного генератора возникают монохроматические колебания на частоте возбуждения ЖИГ резонатора. При этом паразитные параметры печатной платы не оказывают заметного влияния на тип колебаний.

На рис. 6 представлены результаты расчета уровня фазовых шумов. Видно, что фазовые шумы составляют  $-74$  дБн/Гц при отстройке частоты на  $1$  кГц и  $-94$  дБн/Гц при отстройке частоты на  $10$  кГц, что является показателем высокой стабильности частоты генератора.

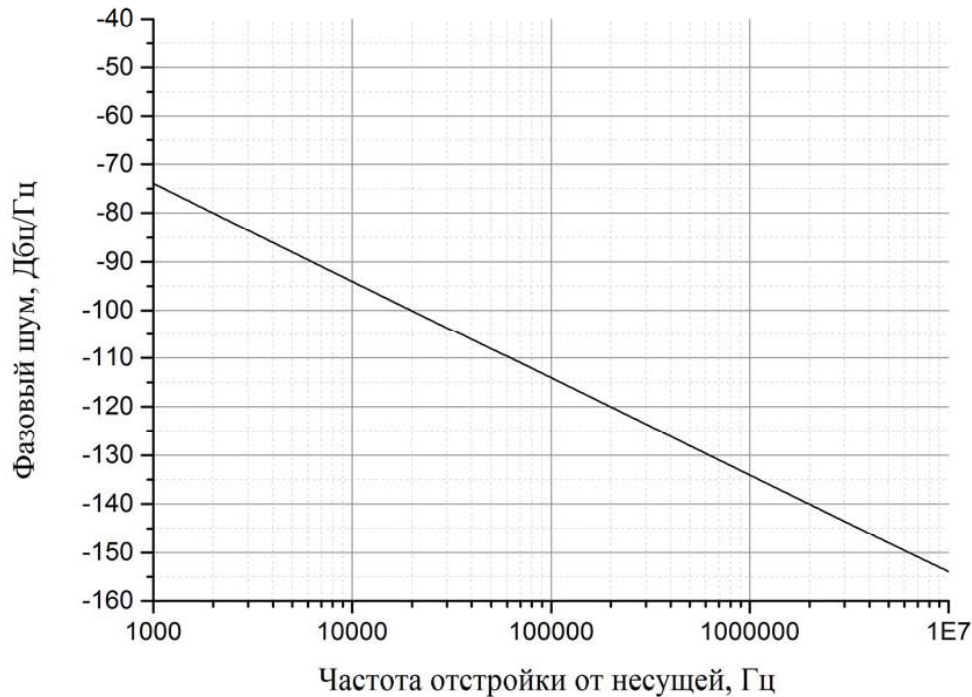


Рис. 6. Фазовые шумы схемы транзисторного ЖИГ генератора

Таким образом, в результате моделирования была показана возможность физической реализации предложенной схемы автогенератора.

## 2. Экспериментальные результаты

Конструкция магнитной системы и внешний вид экспериментального макета транзисторного ЖИГ генератора представлены на рис. 7.

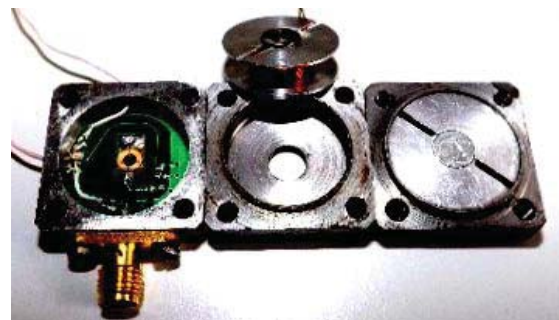
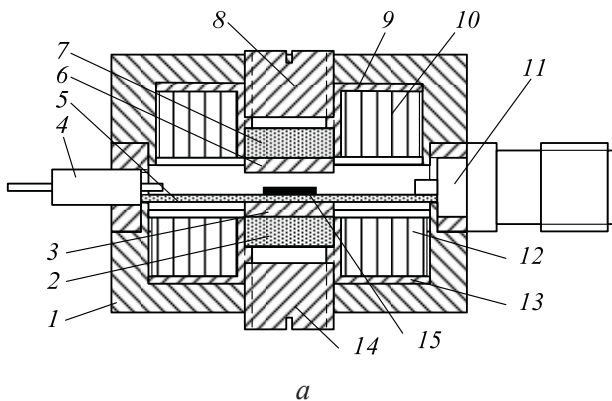


Рис. 7. Конструкция (а) и внешний вид (б) макета термостабильного транзисторного ЖИГ генератора. Обозначения рис. 7. а: 1 – стальной экран; 2, 7 – неодим-железо-боровые магниты; 3, 6 – полюсные наконечники; 4 – питание ЖИГ генератора; 5 – печатная плата с ЖИГ резонатором; 7 – пленочный ЖИГ резонатор; 8, 14 – регулировочные винты; 9, 13 – каркасы катушек электрического управления; 10, 12 – витки катушек электрического управления; 11 – выход СВЧ сигнала, 15 – ЖИГ резонатор



В макете генератора были установлены два одинаковых Ne-Fe-B магнита диаметром 5 мм и толщиной 1.5 мм. На плате генератора располагался пленочный ЖИГ резонатор круглой формы диаметром 2 мм. Резонатор изготавливался методом лазерного скрайбирования из эпитаксиальной пленки толщиной 13.6 мкм. Резонатор размещался в центре рабочего зазора магнитной системы, как показано на рис. 7, а. На вход генератора подавалось напряжение питания 2.5 В, генерируемый сигнал поступал на выходной СВЧ разъем макета генератора. Частота выходного сигнала измерялась частотомером.

Механическая перестройка частоты генератора осуществлялась при помощи изменения положения регулировочных винтов 8, 14 на рис. 7, а. Электрическая перестройка частоты осуществлялась подачей напряжения на катушки управления 10, 12 на рис. 7, а. Диапазон механической перестройки составлял 1.8–3.6 ГГц. Электрическая перестройка позволяла изменять частоту генерации в пределах  $\pm 100$  МГц.

Механическая регулировка частоты генератора использовалась для настройки системы термостабилизации, которая осуществлялась по методике, приведённой в работе [5]. Согласно данной методике генератор при комнатной температуре  $T_0$  настраивался на частоту стабилизации  $f_{st}(T_0)$ , на которой температурный коэффициент дрейфа частоты генератора  $\alpha_{st} = \Delta f_{st} / \Delta T$  обращался в ноль. После чего положение регулировочных винтов фиксировалось. В дальнейшем перестройка частоты генератора осуществлялась только электрической регулировкой.

Для определения частоты стабилизации  $f_{st}(T_0)$  проводились две серии измерений температурных зависимостей частот  $f_1(T)$ ,  $f_2(T)$ , которые отличались начальной настройкой частоты генератора при комнатной температуре  $f_1(T_0)$ ,  $f_2(T_0)$ . Частоты  $f_1(T_0)$ ,  $f_2(T_0)$  выбирались на краях диапазона механической перестройки так, чтобы температурные зависимости  $f_1(T)$ ,  $f_2(T)$  имели противоположный наклон, как показано на рис. 8 (см. кривые 1, 2).

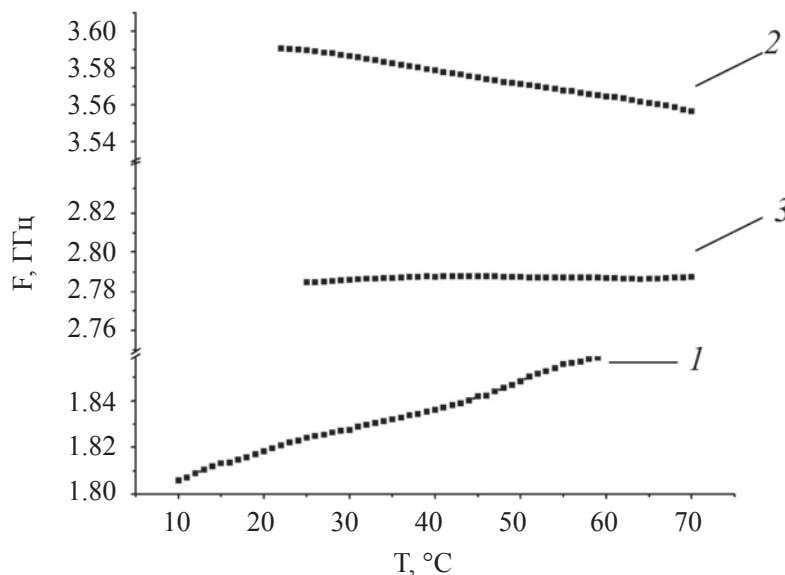


Рис. 8. Результаты измерения температурной зависимости частоты генератора:  
 1 –  $f_1(T_0) = 1.82$  ГГц; 2 –  $f_2(T_0) = 3.59$  ГГц; 3 –  $f_{st}(T_0) = 2.78$  ГГц

С использованием линейных аппроксимаций кривых 1, 2 рассчитывались температурные коэффициенты дрейфа частоты  $\alpha_1 = \Delta f(T) / \Delta T = 1.02$  КГц/°С и  $\alpha_2 = \Delta f(T) / \Delta T = 0.72$  КГц/°С, которые затем использовались для расчета частоты стабилизации ЖИГ генератора:

$$f_{st}(T_0) = \frac{\alpha_1 f_2(T_0) + \alpha_2 f_1(T_0)}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

В нашем случае, расчетная частота стабилизации оказалась равной  $f_{st}(T_0) = 2.78$  ГГц. При настрой-

ке генератора на эту частоту снова проводились температурные измерения  $f_{st}(T)$ , результаты которых представлены на рис. 8 (см. кривую 3). Как и ожидалось, линейная аппроксимация кривой 3 обуславливала температурный коэффициент  $\alpha_{st} \approx 0$ . При этом неравномерность частоты в диапазоне температур 20–80 °С не превышала  $\Delta f_{st}(T) \leq 10$  кГц.

Результаты измерения фазовых шумов генератора представлены на рис. 9.

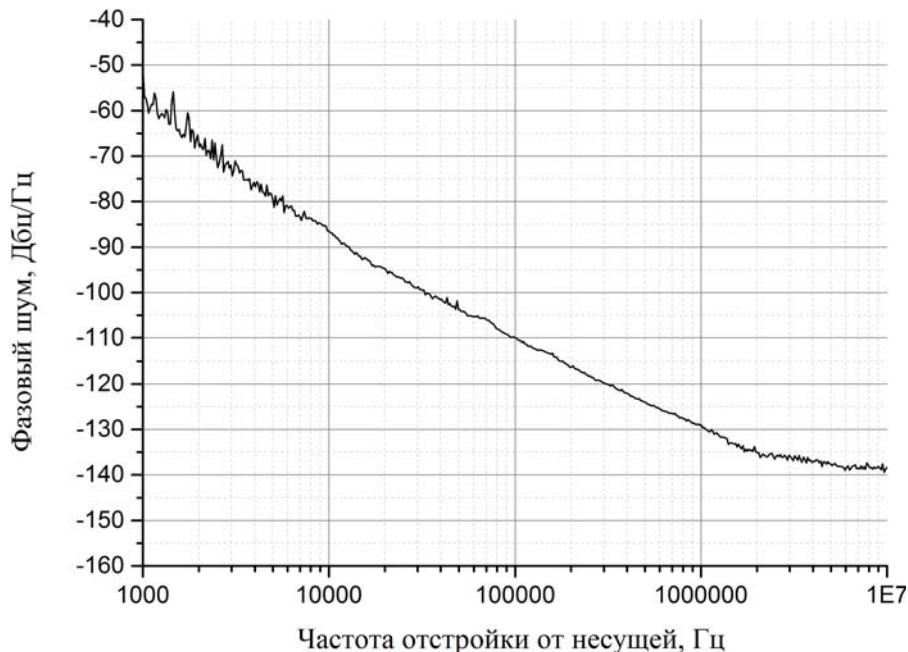


Рис. 9. Фазовые шумы макета транзисторного ЖИГ генератора

Видно, что фазовые шумы составляют  $-60$  дБн/Гц при отстройке частоты на  $1$  кГц и  $-85$  дБн/Гц при отстройке частоты на  $10$  кГц, что является типичной характеристикой для транзисторных ЖИГ генераторов.

### Заключение

Таким образом, была показана возможность создания термостабильного электрически перестраиваемого ЖИГ генератора с использованием портативной экранированной магнитной системы со встроенной системой электрической перестройки и температурной стабилизацией частоты. Важным преимуществом предложенного способа термостабилизации является то, что он практически не усложняет конструкцию намагничивающих систем, отличается простотой настройки и не зависит от индивидуальных особенностей пленок ЖИГ и постоянных магнитов. При этом обеспечивается стабильность частоты генератора в широком диапазоне положительных температур. Еще большее повышение температурной стабильности частоты может быть достигнуто за счет простейших методов термостатирования.

Было показано, что характеристики транзисторных генераторов с пленочным ЖИГ резонатором в цепи обратной связи сравнимы с аналогичными характеристиками генераторов на ЖИГ сферах. Использование пленочных резонаторов дает преимущество в плане повышения технологичности и снижения себестоимости

ЖИГ генераторов. Продвижение в область более высоких частот, а также дальнейшее улучшение электрических и шумовых характеристик ЖИГ генераторов на основе пленочных резонаторов может быть достигнуто за счет использования технологии интегральных схем.

### Список литературы

1. *Chenakin A.* Frequency Synthesis : Current Solutions and New Trends // Microwave Journal. 2007. May. P. 256–266.
2. Microlambda Wireless, YIG Tuned Oscillator web page. URL: <http://www.microlambdawireless.com/apppdfs/ytodefinitions2.pdf> (дата обращения: 09.04.2014).
3. *Кекало И. Б., Самарин Б. А.* Физическое металловедение прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами. М. : Metallurgy, 1989.
4. А.с.5065565 Рос. Федерация. Экранированная магнитная система / В. В. Тихонов, А. В. Толкачев, Ю. Б. Рудый. – №5065565/09; заявл.18.08.1992; опубл.10.04.1996, Бюл. № 6.
5. *Тихонов В. В., Литвиненко А. Н., Никитов С. А., Сучков С. Г.* Температурная стабилизация спинволновых ферритовых устройств // РЭ. 2013. Т. 58, № 1. С. 83–90.
6. Миниатюрное устройство намагничивания и термостабилизации ферритовых СВЧ резонаторов : пат. 2492539 Рос. Федерация / Тихонов В. В., Литвиненко А. Н., Никитов С. А. – № 2011143096; заявл. 26.10.2011; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 25.
7. Высоочастотный биполярный транзистор BFU730F фирмы NXP. URL: [www.nxp.com/pip/BFU730F](http://www.nxp.com/pip/BFU730F) (дата обращения: 05.04.2014).





8. Высокочастотные пассивные элементы фирмы Murata. URL: <http://www.murata.com/products/microwave/index.html> (дата обращения: 09.04.2014).
9. Система проектирования электронных схем Advanced Design System. URL: <http://www.home.agilent.com/ru/pc-1297113/advanced-design-system-ads?&cc=RU&lc=rus> (дата обращения: 07.04.2014).
10. Spice-модель высокочастотного биполярного транзистора BFU730F фирмы NXP. URL: [http://www.nxp.com/documents/spice\\_model/spice\\_BFU730F.prm](http://www.nxp.com/documents/spice_model/spice_BFU730F.prm) (дата обращения: 07.04.2014).
11. S-параметры пассивных элементов фирмы Murata. URL: [http://www.murata.com/products/design\\_support/lib/index.html#tab](http://www.murata.com/products/design_support/lib/index.html#tab) (дата обращения: 07.04.2014).
12. Ollivier P. M. Microwave YIG-Tuned Transistor Oscillator Amplifier Design Application to C Band // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 1972. Vol. SC-7, № 1. February. P. 54–60.

УДК 539.182/184, 519.677

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОННЫХ СПЕКТРОВ МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ

М. К. Березин, М. Л. Чернавина,  
А. В. Новоселова, В. И. Березин

Саратовский государственный университет  
E-mail: nusena1975@mail.ru; berezin@sgu.ru



Описаны алгоритмы для колебательного анализа возбужденных электронных состояний молекул и вычисления изменения геометрии молекулы при электронном возбуждении. Алгоритмы реализованы в виде специальных программ. Описаны исходные данные программ. Все исходные данные для комплекса формируются на основе решения задач молекулярной динамики в рамках квантовых моделей. Разработаны алгоритмы решения обратной вибронной задачи, которые позволяют оценивать частоты нормальных колебаний, потенциальные функции в возбужденных электронных состояниях и вычислять изменение геометрии молекулы при электронном возбуждении. Представлена блок-схема программного комплекса и приведен численный пример.

**Ключевые слова:** колебательный анализ, электронное возбуждение, молекулярная динамика, квантовая модель, спектроскопия, поглощение, квантовомеханическое силовое поле.

### Numerical Simulation of Vibronic Spectra for Polyatomic Molecules

М. К. Berezin, М. L. Chernavina,  
А. V. Novoselova, V. I. Berezin

Algorithms for vibrational analysis of the excited electronic states of molecules and calculations of molecular structure at electronic excitation are described. Algorithms are realized in the form of special programs. Basic data of programs are described. All initial data for this complex are formed on the basis of the molecular dynamics and quantum models. Solution algorithms of the inverse vibronic task allowing to estimate frequencies of normal modes, force fields in the raised electronic conditions and to calculate molecular geometry changes at electronic excitation are developed. The flowchart of a program complex is submitted and the numerical example is given.

**Key words:** stable algorithm for calculation, normal mode analysis, electronic excited states, molecular dynamics, quantum model, vibronic spectroscopy, absorption spectra, quantum-mechanical force fields.

### Введение

Решение прямых и обратных вибронных задач проводится с целью получения информации о спектральных и структурных параметрах молекул непосредственно из экспериментальных вибронных спектров. К числу таких параметров относятся частоты нормальных колебаний и потенциальные функции в возбужденных электронных состояниях, изменение геометрии молекулы при электронном возбуждении, производные от момента перехода по нормальным координатам, характеризующие эффекты электронно-колебательного взаимодействия и элементы матрицы Душинского, оценивающие «перепутывание» нормальных координат при электронном возбуждении [1]. Все указанные параметры могут быть вычислены, как показано в [2], в рамках квантовых моделей при решении прямой вибронной задачи с помощью комплекса программ с применением методов *ab initio* и теории функционала плотности (DFT-методов). Однако приближенность квантовых моделей не позволяет рассчитывать эти параметры с точностью, достаточной для удовлетворительной интерпретации экспериментальных вибронных спектров. В связи с этим в программном комплексе предусмотрен ряд процедур, с помощью которых в интерактивном режиме возможно уточнение параметров исходной модели с целью получения лучшего согласия с экспериментом. Описание этих процедур и является целью данной работы.



## 1. Частоты колебаний и силовые поля

Частоты нормальных колебаний в возбужденных электронных состояниях могут быть оценены с повышенной точностью теми же методами, что и для основных электронных состояний – методами переноса масштабирующих множителей [3], методом частотных сдвигов [4] или с помощью частотных масштабирующих функций [5]. Наличие таких уточненных частот колебаний позволяет провести масштабирование квантовомеханического силового поля исходной модели и оценить эффективное силовое поле молекулы [5] в возбужденном электронном состоянии в зависимых естественных координатах.

## 2. Изменение геометрии молекулы при электронном возбуждении

Наиболее важным параметром обратной вибронной задачи является изменение геометрии молекулы при электронном возбуждении  $\Delta S$ . От этого параметра, как показано в [6], зависят смещения нормальных координат  $d_i$ , приведенные смещения  $\Delta_i$  и, следовательно, интенсивности вибронных полос, т.е. вид самого спектра. Геометрия молекулы в возбужденном электронном состоянии может быть оценена из вращательной структуры вибронных полос. Однако число таких данных в настоящее время ограничено. Кроме этого, для расчета изменения геометрии нужно знать и геометрию молекулы в основном электронном состоянии. Но суть проблемы состоит в том, что интенсивности вибронных полос очень чувствительны к малейшим изменениям геометрии, и эти изменения могут лежать для длин связей в интервале сотых-тысячных долей ангстрема, а для углов – десятых долей градуса. Такую точность в оценке геометрии многоатомных молекул, лишь за некоторыми исключениями, не обеспечивает ни один из методов структурного анализа. Поэтому оценка изменения геометрии многоатомных молекул в возбужденных состояниях представляет собой самостоятельную задачу вибронной спектроскопии.

В рамках программного комплекса [6] эта задача может быть решена в три этапа. На первом этапе решается прямая вибронная задача – вычисляются  $d$ ,  $\Delta$  и интенсивности вибронных полос в спектре поглощения. Как показывает расчетная практика, вычисленный вибронный спектр согласуется с экспериментальным качественно. Однако такого согласия достаточно, чтобы установить знаки смещений нормальных координат  $d_i$ .

На втором этапе в матрицу частотных интервалов NU3 из [6] вводятся частоты основных прогрессий, комбинационных тонов и соответствующие относительные экспериментальные интенсивности. Затем проводится вариация смещений нормальных координат  $d_i$ , которые являются исходными параметрами задачи в программе ABSORP, с целью получения согласия вычисленных и опытных относительных интенсивностей.

На третьем этапе согласие с экспериментом оценивается количественно по минимальному средне-квадратичному отклонению вычисленных интенсивностей от опытных в прогрессиях. Отдельный анализ прогрессий обусловлен тем, что основная структура вибронного спектра формируется за счет прогрессий нормальных колебаний, имеющих наибольшие смещения нормальных координат  $d_i$ . Для этих целей создана специальная программа VIBROPROG автоматического расчета смещений нормальных координат по опытным интенсивностям полос в прогрессиях с последующим вычислением изменения геометрии молекулы  $\Delta S$  при электронном возбуждении

$$\Delta S = L'd, \quad (1)$$

где  $L'$  – форма колебаний в возбужденном электронном состоянии.

Основные исходные данные программы такие же, как в программном комплексе [6]. Дополнительно используются две матрицы:  $L'$  – матрица форм колебаний в возбужденном состоянии и матрица IEXPAВ – опытных интегральных интенсивностей линий в прогрессиях спектра поглощения. В верхней строке этой матрицы указываются номера колебаний из списка частот колебаний молекулы  $\omega_{02}$  или  $\omega_{01}$ , для которых ниже в матрице указываются интенсивности линий в прогрессиях. Номер колебания несет в себе еще и информацию о знаке смещения нормальной координаты для данного колебания, который устанавливается по результатам решения прямой вибронной задачи. Если в исходном расчете смещение  $d_i$  оказалось отрицательным, то в матрице IEXPAВ номер колебания должен быть отрицательным. Матрица  $L'$  вычисляется при масштабировании квантово-механического силового поля в возбужденном состоянии.

Автоматизированный расчет смещений нормальных координат основан на следующем алгоритме. Сначала по опытной интенсивности основного тона  $\omega$  вычисляется в приближении одномерного осциллятора начальное смещение



$d_0$ , затем создается с определенным шагом диапазон значений  $d_1, d_2 \dots$  больших и меньших  $d_0$ . Для всех значений  $d$  из диапазона проводится расчет интенсивностей линий в прогрессиях данного колебания, но уже с учетом эффекта Душинского. Лучшим выбирается то значение  $d_i$ , которое дает минимальное среднеквадратичное отклонение ( $\sigma$ ) вычисленных интенсивностей от опытных в прогрессии. Эти значения  $d_i$  выводятся на печать в матрице  $d01$  для исследуемых колебаний, а вычисленные интенсивности линий в прогрессиях при оптимальных  $d_i$  печатаются в матрице результатов RES, где сравниваются с опытными интенсивностями. Ниже представлен с целью иллюстрации фрагмент модельного расчета с числом колебаний, равным 6. Четыре колебания имеют нулевые смещения (1, 3, 4, 5), а для двух колебаний (2, 6) они заметно отличны от нуля. Поэтому колебания 2, 6 имеют достаточно длинные прогрессии. Заканчивается работа программы VIBROPROG расчетом матрицы  $\Delta S$ , которая содержит разность длин связей, валентных и двугранных углов для двух электронных состояний – основного и возбужденного.

*Блок-схема программы VIBROPROG автоматизированного расчета смещений нормальных координат по опытным интенсивностям полос в прогрессиях вибронного спектра поглощения с последующим вычислением изменения геометрии молекулы при электронном возбуждении*

**Исходные данные**

- $\omega_{02}$  – частоты нормальных колебаний в основном электронном состоянии,  $\text{см}^{-1}$ ,
- $\omega_{01}$  – частоты нормальных колебаний в возбужденном электронном состоянии,  $\text{см}^{-1}$ ,
- $Z$  – матрица Душинского,
- $S_{00}$  – интегральная интенсивность 0-0 перехода (1 или в произвольных единицах, например в пикселях),
- $\nu_{00}$  – частота 0-0 перехода,  $\text{см}^{-1}$ ,
- $L'$  – матрица форм колебаний в возбужденном состоянии,
- ИEXPAВ – опытные интегральные интенсивности линий в прогрессиях спектра поглощения (в тех же единицах, что и  $S_{00}$ ),

$$IEXPAВ = \begin{pmatrix} 2 & -6 \\ 0,6 & 1,622 \\ 0,193 & 1,370 \\ 0,024 & 0,710 \\ 0,006 & 0,250 \\ 0 & 0,05 \\ 0 & 0,01 \end{pmatrix} N(\pm)$$

**Управляющие параметры**

- ND = 1 или 0 – расчет с учетом или без учета эффекта Душинского,
- PAВ = 1 или 0 – частоты выводятся в шкале колебательного сдвига  $\Delta\omega$  или в шкале вибронных частот  $\nu_{00} + \Delta\omega$ ,  $\text{см}^{-1}$ .

**Результаты расчета**

$\sigma$  – среднеквадратичные отклонения опытных и вычисленных интенсивностей в прогрессиях колебаний 2 и 6.

$$\sigma = (0,014; 0,064)$$

$d01$  – вычисленные смещения нормальных координат (в ед. А(а.е.м.)<sup>1/2</sup>) для колебаний 2 и 6

$$d01 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0,273 & 2 \\ 0 & 3 \\ 0 & 4 \\ 0 & 5 \\ -0,399 & 6 \end{pmatrix}$$

**RES – частоты, опытные и вычисленные интенсивности линий в прогрессиях колебаний 2 и 6**

RES=

2	0	0	6	0	0
1012	1.214	1.190	613	1.622	1.769
2024	0.705	0.680	1226	1.370	1.398
3036	0.026	0.248	1839	0.710	0.644
4048	0.068	0.065	2452	0.250	0.189
5060	0.014	0.013	3065	0.050	0.036
6072	0	0.002	3678	0.010	0.004
$\Delta\Omega(\text{см}^{-1})$	$I_1^{оп}$	$I_1^{выч}$	$\Delta\Omega(\text{см}^{-1})$	$I_4^{оп}$	$I_4^{выч}$

**Вычисление изменения геометрии при электронном возбуждении**

$$\Delta S = Ld01$$

*Построение вычисленного вибронного спектра (прогрессий) с помощью программы моделирования и визуализации контуров спектральных линий IXCONTOUR.*

**3. Оценка эффекта Душинского**

Одним из факторов, приводящих к нарушению зеркальной симметрии спектров поглощения и флуоресценции, является эффект Душинского.

Влияние эффекта Душинского на интенсивности вибронных полос осуществляется через посредство двух групп матриц: А, С, В1 и Е, Д1 [7]. Первая группа связана с произведени-



ем матриц  $\beta\alpha^{-1}$  и  $\alpha^{-1}\beta$ , которые практически мало зависят от матрицы Душинского, так как представляют собой фактически произведения прямой матрицы на обратную.

Вторая группа матриц непосредственно зависит от матрицы  $\alpha^{-1}$  и, следовательно, от матрицы Душинского  $\zeta$ . К числу линий, зависящих от матрицы  $E = \alpha^{-1}$ , относятся «горячие» полосы в секвенции 1-1 в спектрах поглощения, а также любые линии в спектрах флуоресценции и SVL-флуоресценции, так как интенсивности этих полос определяются элементами матрицы  $D$ , зависящими от  $D1$  и, следовательно, от  $\alpha^{-1}$ . «Холодные» полосы в спектре поглощения слабо зависят от эффекта Душинского.

Чтобы по экспериментальным интенсивностям вибронных полос в спектре поглощения оценить эффект Душинского, следует прежде всего обратиться к секвенциям и кроссеквенциям 1-1, интенсивность которых зависит от ИФК вида

$$\frac{\langle 1(i)|1(j) \rangle}{\langle (0')|(0'') \rangle} = E_{ji} + B_i D_j. \quad (2)$$

Для антисимметричных колебаний  $B_i = D_j = 0$ . Это позволяет найти отношение элементов матрицы Душинского по интенсивностям «горячих» полос в секвенции  $I_{ji}^{on}$  и кроссеквенции  $I_{ji}^{on}$  антисимметричных колебаний, принадлежащих к одному представлению

$$\frac{\zeta_{ij}}{\zeta_{jj}} = \left( \frac{\omega'_i + \omega''_i}{\omega'_j + \omega''_j} \right) \left( \frac{\omega'_j(v_{00} + \omega'_j - \omega''_j)}{\omega'_i(v_{00} + \omega'_i - \omega''_i)} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{I_{ji}^{on}}{I_{jj}^{on}} \right)^{\frac{1}{2}} = c. \quad (3)$$

Чтобы интенсивность кроссеквенции была заметной, элемент матрицы Душинского  $\zeta_{ij}$ , как видно из (3), должен быть достаточно большим. Это позволяет перейти к двумерной задаче, в которой с учетом ортогональности матрицы Душинского имеем

$$\zeta_{ij}^2 + \zeta_{ji}^2 = 1. \quad (4)$$

Соотношение (4) позволяет найти отдельно элементы матрицы Душинского по интенсивностям вибронных полос

$$\zeta_{ij} = \frac{c}{\sqrt{1+c^2}}, \quad \zeta_{ji} = \frac{1}{\sqrt{1+c^2}}, \quad (5)$$

где  $c$  определено в (3).

Знак элементов  $\zeta_{ij}$  и  $\zeta_{ji}$  устанавливается при решении прямой вибронной задачи в нулевом приближении. В случае полносимметричных колебаний элементы матриц  $B_i$  и  $D_i$  в приближении одномерного осциллятора имеют противоположные знаки, а матрица  $E_{ji}$  становится **диагональной**:

$$B_i = \sqrt{2} \frac{\omega'_i''}{\omega'_i + \omega''_i} \Delta'_i, \quad D_i = -B_i \sqrt{\frac{\omega'_i}{\omega''_i}}, \quad E_{ii} = \frac{2\sqrt{\omega'_i \omega''_i}}{\omega'_i + \omega''_i}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (2), имеем:

$$\frac{\langle 1(i)|1(i) \rangle}{\langle (0')|(0'') \rangle} = E_{ii} - \sqrt{\frac{\omega'_i}{\omega''_i}} B_i^2. \quad (7)$$

Из (7) видно, что с ростом  $B_i$  (интенсивности полносимметричного колебания) ИФК (7) и, следовательно, интенсивность соответствующей секвенции уменьшается. Секвенция исчезает полностью, когда

$$B_i^2 = \frac{2\omega''_i}{\omega'_i + \omega''_i}. \quad (8)$$

В приближении близких частот  $\omega'_i = \omega''_i$  соответствующее приведенное смещение в этом случае равно

$$\Delta'_i = \sqrt{2}. \quad (9)$$

Мы видим, что отсутствие секвенции 1-1 для полносимметричного колебания в спектре служит признаком большой величины приведенного смещения  $\sim \sqrt{2}$  для этого колебания. Указанный вывод оказывается очень полезным при анализе спектров SVL-флуоресценции с уровня основного тона фундаментального полносимметричного колебания.

Оценку элементов матрицы Душинского для полносимметричных колебаний можно также выполнять, используя (2) для частного случая, когда  $B_i$  мало настолько, что можно пренебречь вкладом произведения  $B_i D_j$  по сравнению с  $E_{ji}$  в (2). Это отвечает реальной ситуации, когда одно из полносимметричных колебаний на частоте  $\omega'_i$  имеет очень маленькое смещение нормальной координаты, а кроссеквенция этого колебания  $1(i) \leftarrow 1(j)$  проявляется в спектре за счет эффекта Душинского. В этом случае по интенсивности кроссеквенции  $I_{ji}^{on}$  можно оценить эффект Душинского, используя соотношение для относительной интенсивности в спектре поглощения:

$$I_{ji}^{on} = \frac{v_{00} + \omega'_i - \omega''_j}{v_{00}} E_{ji}^2. \quad (10)$$

Из (10) находим

$$E_{ji} = \sqrt{\frac{v_{00} I_{ji}^{on}}{v_{00} + \omega'_i - \omega''_j}} = K. \quad (11)$$

Если в рамках двумерной модели найти  $E_{ji}$  как элемент обратной матрицы  $\alpha^{-1}$ , и воспользоваться при этом (4), то в результате получается квадратное уравнение для недиагонального элемента матрицы Душинского  $\zeta_{ij}$ :

$$\zeta_{ij}^2 + \frac{d}{K(ab-cd)} \zeta_{ij} - \frac{ab}{ab-cd} = 0. \quad (12)$$





## Список литературы

1. Грибов Л. А., Баранов В. И., Зеленцов Д. Ю. Электронно-колебательные спектры многоатомных молекул. М.: Наука, 1997. 476 с.
2. Baker J., Jarzecki A. A., Pulay P. Direct Scaling of Primitive Valence Force Constants: An Alternative Approach to Scaled Quantum Mechanical Force Fields. // J. Phys. Chem. A. 1998. V. 102, № 8. P. 1412–1424.
3. Березин К. В., Нечаев В. В. Расчет частот колебаний и интенсивностей полос в ИК-спектре тетраазапорфина методом функционала плотности // Журн. прикл. спектр. 2003. Т. 70, № 2. С. 182–188.
4. Березин К. В., Нечаев В. В., Кривохижина Е. В. Применение метода линейного масштабирования частот в расчетах нормальных колебаний многоатомных молекул // Оптика и спектр. 2003. Т. 94, № 3. С. 398–401.
5. Березин В. И., Богачев Н. В., Абахаева З. М. Применение ЭВМ в молекулярной спектроскопии: учеб. пособие. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1989. 92 с.
6. Березин М. К., Тен Г. Н., Березин К. В., Березин В. И. Моделирование спектров SVL-флуоресценции // Проблемы оптической физики и биофотоники: материалы 14-й междунар. молодежной науч. школы по оптике, лазерной физике и биофизике, Саратов, 5–8 октября 2010 г. / под ред. В. В. Тучина, Г. В. Симоненко. Саратов: Изд-во «Новый ветер», 2010. С. 212–217.

УДК 539.182/184, 519.677

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИНТЕНСИВНОСТИ ВИБРОННЫХ ПОЛОС В СПЕКТРАХ ПОГЛОЩЕНИЯ И РЕЗОНАНСНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

М. К. Березин, М. Л. Чернавина,  
А. В. Новоселова, В. И. Березин

Саратовский государственный университет  
E-mail: nusena1975@mail.ru; berezin@sgu.ru

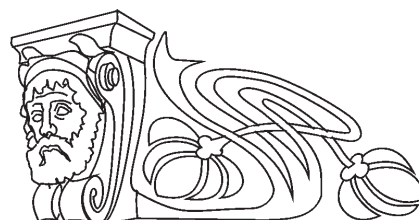
Описаны алгоритмы и программа для расчета электронно-колебательных (вибронных) спектров поглощения и флуоресценции молекул с учетом зависимости интенсивностей от температуры. Алгоритмы основаны на построении квантовых моделей молекул в основном и возбужденном электронных состояниях с применением методов *ab initio* и теории функционала плотности (DFT-методов). Теоретическое изучение электронно-возбужденных состояний для многоатомных молекул. Предсказание электронных спектров поглощения и флуоресценции многоатомных молекул. Интенсивности полос в спектрах зависят от температуры. Все исходные данные для расчета формируются на основе решения задач молекулярной динамики в рамках квантовых моделей. Предложен параметрический метод учета эффекта Герцберга–Теллера для расчета интенсивностей вибронных полос.

**Ключевые слова:** эффект Герцберга–Теллера, интегралы Франка–Кондона, вибронное взаимодействие, SVL-флуоресценция, матрица Душинского, спектры поглощения.

### Temperature Effects in Vibronic Intensity of Absorption and Resonance Fluorescence Spectra

М. К. Berezine, M. L. Chernavina,  
A. V. Novoselova, V. I. Berezine

Algorithms and program for calculation of the vibronic absorption and fluorescence molecular spectra are described taking into account the dependence of intensities on temperature. The algorithms are based on the construction of molecule's quantum models in ground and excited electronic states with application of *ab initio* and density functional methods. The theoretic study of excited electronic states for polyatomic



molecules, prediction of electronic absorption and fluorescence spectra of polyatomic molecules, the temperature dependence of intensities are described. All the initial data for calculation are formed on the basis of molecular dynamics within the framework of quantum model. The parametric technique of accounting Herzberg–Teller effect for calculation vibronic intensities is offered.

**Key words:** Herzberg–Teller effect, Franck–Condon integrals, vibronic interaction, SVL-fluorescence, Duschinsky matrix, absorption spectra.

### Введение

В статье описаны алгоритмы и программа для расчета электронно-колебательных (вибронных) спектров поглощения и флуоресценции с учетом зависимости интенсивностей от температуры. Алгоритмы основаны на построении квантовых моделей молекул в основном и возбужденном электронных состояниях с применением методов *ab initio* и теории функционала плотности (DFT-методов) [1–3] и современных методов решения задач молекулярной динамики, таких как масштабирование квантовомеханических силовых полей [4, 5], использование шкал для масштабирования частот [6, 7], вычисление эффективных силовых полей [8], оценка ангармонических эффектов [9] и других. Предложен параметрический метод учета эффекта Герцберга–Теллера для расчета интенсивностей вибронных полос.



### 1. Учет температурной зависимости

При расчете вибронных спектров использовались интегралы Франка–Кондона (ИФК) вида

$$\begin{aligned} & \langle U_1(i) | V_1(j) V_2(f) V_3(g) V_4(r) \rangle, \\ & \langle U_1(i) U_2(y) | V_1(j) V_2(f) V_3(g) V_4(r) \rangle, \\ & \langle 0 | V_1(j) V_2(f) V_3(g) V_4(r) \rangle, \end{aligned} \quad (1)$$

которые с помощью метода перестановочных матриц [10], не выводя дополнительных формул для ИФК, можно привести к виду

$$\begin{aligned} & \langle U_1(j) U_2(f) U_3(g) U_4(r) | V_1(i) \rangle, \\ & \langle U_1(j) U_2(f) U_3(g) U_4(r) | V_1(i) V_2(j) \rangle, \\ & \langle U_1(j) U_2(f) U_3(g) U_4(r) | (0)'' \rangle. \end{aligned} \quad (2)$$

В такой форме с их помощью можно описывать «горячие» переходы в спектре поглощения. Указанный факт был использован авторами статьи при создании программ для расчета относительных интенсивностей «холодных» и «горячих» переходов и абсолютных интенсивностей линий

$$I_{\text{пол}}^{\text{abc}}(\nu_{00}) = \frac{8\pi^3 n \nu_{00} N}{3hc} \langle (0') | (0'') \rangle^2 \overline{M}_{if}^2(0) \prod_{\eta=1}^M \left(1 - e^{-\frac{h\nu_{\eta}'}{k\tau}}\right), \quad (4)$$

$$I_{\text{пол}}^{\text{abc}}(\nu) = \frac{8\pi^3 n \nu N}{3hc} \langle (U'_{\delta}) | (V'_{\lambda}) \rangle^2 \overline{M}_{if}^2(0) \exp\left(-\frac{h}{k\tau} \sum_{i=1}^n V'_i \omega'_i\right) \prod_{\eta=1}^M \left(1 - e^{-\frac{h\nu_{\eta}'}{k\tau}}\right), \quad (5)$$

а для относительной интенсивности

$$I_{\text{пол}}^{\text{omu}}(\nu) = \frac{\nu}{\nu_{00}} \left( \frac{\langle (U'_{\delta}) | (V'_{\lambda}) \rangle}{\langle (0') | (0'') \rangle} \right)^2 \exp\left(-\frac{h}{k\tau} \sum_{i=1}^n V'_i \omega'_i\right). \quad (6)$$

Для компьютерных расчетов удобно выразить абсолютную интенсивность поглощения (5) через относительную (6):

$$I_{\text{пол}}^{\text{abc}}(\nu) = c_1 I_{\text{пол}}^{\text{omu}}(\nu) \langle (0') | (0'') \rangle^2 \prod_{\eta=1}^M \left(1 - e^{-\frac{h\nu_{\eta}'}{k\tau}}\right), \quad (7)$$

где

$$c_1 = \frac{8\pi^3 n \nu_{00} N}{3hc} \overline{M}_{if}^2(0), \quad (8)$$

а сам расчет абсолютных интенсивностей выполнять в единицах  $c_1$ .

Что касается спектров обычной флуоресценции, то большое число фактов и, в частности, независимость контура полосы люминесценции от частоты возбуждающего света [13] показывают, что между актами поглощения и испускания света происходит очень быстрое перераспределение энергии по колебательным степеням свободы. В результате этого при стационарном режиме возбуждения устанавливается температурное распре-

деление по колебательным уровням возбужденной молекулы [12]. Поэтому число вибронных переходов с излучением определяется населенностью этих колебательных состояний  $N_i$ :

В состоянии термодинамического равновесия интенсивность «горячей» полосы поглощения может быть оценена по формуле из [11]

$$I_{\text{пол}}(\nu_{(u'),(v'')}) = \frac{8\pi^3 n \nu N}{3hc} \left| \langle f(u'_{\sigma}) | \bar{M} | i(v'_{\lambda}) \rangle \right|^2,$$

в которой  $N$  следует заменить на населенность уровня  $N_j$ , с которого начинается вибронный переход [12]:

$$N_j = N \exp\left(-\frac{h}{k\tau} \sum_{i=1}^n V_i'' \omega_i''\right) \prod_{\eta=1}^M \left(1 - e^{-\frac{h\nu_{\eta}'}{k\tau}}\right), \quad (3)$$

где  $n$  – число осцилляторов (нормальных колебаний) в основном электронном состоянии, участвующих в вибронном переходе;  $\nu''$ ,  $\omega_i''$  – квантовые числа и частоты колебаний этих осцилляторов;  $M$  – число нормальных колебаний молекулы. Подставляя (4) в (3), получаем для абсолютных интенсивностей вибронных полос поглощения на частотах  $\nu_{00}$  и  $\nu$  в приближении Франка – Кондона:

деление по колебательным уровням возбужденной молекулы [12]. Поэтому число вибронных переходов с излучением определяется населенностью этих колебательных состояний  $N_i$ :

$$N_i = N \exp\left(-\frac{h}{k\tau} \sum_{i=1}^m U'_i \omega'_i\right) \prod_{\eta=1}^M \left(1 - e^{-\frac{h\nu_{\eta}'}{k\tau}}\right), \quad (9)$$

где  $N$  – число возбужденных молекул в единице объема;  $m$  – число осцилляторов возбужденной молекулы, участвующих в вибронном переходе с излучением;  $U'_i$ ,  $\omega'_i$  – квантовые числа и частоты колебаний этих осцилляторов.

Подставляя (9) в формулу для интенсивности флуоресценции из [14], получаем для абсолютных интенсивностей вибронных полос в спектре флуоресценции на частотах  $\nu_{00}$  и  $\nu$  в приближении Франка – Кондона

$$I_{\text{изл}}^{\text{abc}}(\nu_{00}) = \frac{64\pi^4 n^3 \nu_{00}^4 N}{3c^3} \langle (0') | (0'') \rangle^2 \overline{M}_{if}^2(0) \prod_{\eta=1}^M \left(1 - e^{-\frac{h\nu_{\eta}'}{k\tau}}\right),$$



$$I_{изл}^{abc}(\nu) = \frac{64\pi^4 n^3 \nu^4 N}{3c^3} \langle (U'_\delta) | (V''_\lambda) \rangle^2 \bar{M}_{if}^2(0) \exp\left(-\frac{h}{k\tau} \sum_{i=1}^n U'_i \omega'_i\right) \prod_{\eta=1}^M (1 - e^{-\frac{h\omega'_\eta}{k\tau}}), \quad (10)$$

а для относительной интенсивности (по отношению к линии излучения на частоте  $\nu_{00}$ )

$$I_{изл}^{omn}(\nu) = \left(\frac{\nu}{\nu_{00}}\right)^4 \left(\frac{\langle (U'_\delta) | (V''_\lambda) \rangle}{\langle (0') | (0'') \rangle}\right)^2 \exp\left(-\frac{h}{k\tau} \sum_{i=1}^m U'_i \omega'_i\right). \quad (11)$$

Компьютерный расчет абсолютной интенсивности вибронной полосы в спектре флуоресценции выполняется через относительную интенсивность

$$I_{изл}^{abc}(\nu) = c_2 I_{изл}^{omn}(\nu) \langle (0') | (0'') \rangle^2 \prod_{\eta=1}^M (1 - e^{-\frac{h\omega'_\eta}{k\tau}}), \quad (12)$$

а сама интенсивность вычисляется в единицах  $c_2$ :

$$c_2 = \frac{64\pi^4 n^3 \nu_{00}^4 N}{3c^3} \bar{M}_{if}^2(0). \quad (13)$$

Из формул (6) и (11) видно, что относительные интенсивности «холодных» переходов в спектрах поглощения и флуоресценции не зависят от температуры, так как такие переходы начинаются из нулевых колебательных состояний ( $V_i'' = U_i''$ ), и экспоненциальный множитель в этих формулах равен 1.

Соотношения (4)–(5) и (10)–(11) легко обобщаются на случай, когда расчет выполняется с учетом эффекта Герцберга–Теллера (ЭГТ). Для этого в них нужно сделать замену:

$$\langle (U'_\delta) | (V''_\lambda) \rangle^2 \bar{M}_{if}^2(0) \rightarrow \overline{MP}^2, \quad (14)$$

где  $\overline{MP}$  – момент перехода, состоящий в общем случае из двух вкладов – франк-кондоновского  $\overline{FK}$ , учет которого описан выше, и герцберг-теллеровского  $\overline{TT}$ .

Для моделирования вибронных спектров поглощения и флуоресценции с учетом зависимости интенсивностей от температуры создан программный комплекс, состоящий из трех программ – FLU1ABS, FLU1U2ABS, ABSORP.

Основные параметры, типы матриц и их структура сохраняются такими же, как и при моделировании спектров SVL-флуоресценции [14]. Дополнительно введен параметр TAB – абсолютная температура и два управляющих параметра – SVAB и IABS, которые позволяют по одной и той же программе проводить отдельно расчет интенсивностей в спектрах флуоресценции и поглощения. Программы FLU1, FLU1U2 для спектров поглощения рассчитывают интенсивности только «горячих» полос, возникающих

с возбужденных уровней всех осцилляторов, когда их квантовые числа меняются от 1 до 6, т.е. с уровня тона и пяти обертонов всех колебаний (FLU1), а также с уровней их комбинационных парных тонов (FLU1U2).

Для расчета интенсивностей переходов в поглощении с нулевого уровня выделена специальная программа ABSORP.

Программный комплекс позволяет рассчитывать как относительные (по отношению к 0-0 полосе или полосе сравнения), так и абсолютные интенсивности (в единицах  $c_1$  (8) или  $c_2$  (13)) вибронных полос в спектрах поглощения и флуоресценции многоатомных молекул.

#### Исходные данные программ

$d$  – смещения нормальных координат,  $A(a.e.m.)^{1/2}$ ,  
 $\omega_{02}$  – частоты нормальных колебаний в основном электронном состоянии,  $10^3 \text{см}^{-1}$ ,  
 $\omega_{01}$  – частоты нормальных колебаний в возбужденном электронном состоянии,  $10^3 \text{см}^{-1}$ ,  
 $Z$  – матрица Душинского,  
 $i_{00} = 1(10, 100\dots)$  – шкала для интенсивности 0-0-перехода,  
 TAB – абсолютная температура, °K,  
 $\nu_{00}$  – частота 0-0-перехода,  $\text{см}^{-1}$ ,  
 $I_0$  – ограничитель минимальной интенсивности, выводимой на печать.

#### Управляющие параметры

ND = 1 или 0 – расчет с учетом или без учета эффекта Душинского,  
 NU = 1 или 0 – вводится или не вводится матрица частотных интервалов,  
 SVAB = 1 или 0 – расчет «горячих» полос в спектрах флуоресценции или поглощения,  
 IABS = 1 или 0 – расчет абсолютных или относительных интенсивностей в спектрах флуоресценции и поглощения.

Все необходимые исходные данные формируются на основе решения задач молекулярной динамики в рамках квантовых моделей по базовой программе [3]. Избранными являются квантовые модели, построенные с применением методов *ab initio* и теории функционала плотности (DFT-методов).

Рассмотрим блок-схему программного комплекса для компьютерного моделирования вибронных спектров поглощения и флуоресценции многоатомных молекул с учетом зависимости интенсивностей от температуры.





**Программы**

FLU1ABS FLU1U2ABS ABSORP

Задающие матрицы для отдельных типов переходов<sup>⊕</sup>

NS11		NS22		NS33	
1	1	1	1	1	1
2	1	2	1	2	1
3	1	3	0	3	1
4	0	4	0	4	1
5	0	5	0	5	1
6	0	6	0	6	1
7	0	7	1	7	1
8	1	8	0	8	0
9	0	9	0	9	0
10	0	10	1	10	0
11	0	11	0	11	1
12	0	12	0	12	1
13	0	13	1	13	0

**Матрицы для задания линий сравнения**

IST1 IST2 IST3

**Матрицы частотных интервалов для выделения отдельных линий**

NU1 NU2 NU3

**Матрицы частот и вычисленных интенсивностей выделенных линий**

INU1 INU2 INU3

**Матрицы параметров и вычисленных интенсивностей вибронных переходов**

RESU1 RESU1U2 RESABSORP

Построение вибронного спектра с помощью программы моделирования и визуализации контуров спектральных линий IXCONTOUR

<sup>⊕</sup> Задающие матрицы определяют 13 типов вибронных переходов (первый столбец), каждый из которых или несколько из них одновременно могут быть актуализированы подстановкой 1 в правый столбец.

**2. Параметрический учет эффекта Герцберга–Теллера**

Программный комплекс можно использовать и для моделирования вибронных спектров в учетом ЭГТ. С этой целью (14) можно привести к виду [15]

$$\overline{MP}(\nu) = \langle (0') | (0'') \rangle \vec{M}_{if}(0) (\vec{B}_s + |\vec{B}'_s\rangle) \quad (15)$$

и ввести для относительного момента ЭГТ параметр

$$\vec{B}'_s = \sum_i \frac{\vec{S}'_i}{M_{if}(0)} (1 + 2A)_{is}, \quad (16)$$

в который входит  $\vec{S}'_i$  – производная от момента перехода по нормальной координате.

Рассмотрим случай, когда за счет ЭГТ в вибронном спектре проявляются антисимметричные колебания представления  $\Gamma$ .

Если электронный переход разрешен на компоненте  $\tau$ , а «заимствование» интенсивности происходит по компоненте  $\sigma$ , то относительные интенсивности полносимметричного и антисимметричного фундаментальных колебаний будут равны

$$I_{ногл}^{омн}(\nu_s) = \frac{\nu}{\nu_{00}} B_s^2, \quad (17)$$

$$I_{ногл}^{омн}(\nu_{as}) = \frac{\nu}{\nu_{00}} (B_s'^{\sigma})^2, \quad (18)$$

$$B_s'^{\sigma} = \sum_{i=1}^k G_i'^{\sigma} (1 + 2A)_{is}, \quad (19)$$

где

$$G_i'^{\sigma} = \frac{S_i'^{\sigma}}{M_{if}^{\tau}(0)}, \quad (20)$$

а суммирование проводится по колебаниям представления  $\Gamma$ , число которых равно  $k$ .

Из (17) и (18) видно, что относительную интенсивность антисимметричного колебания можно вычислять так же, как и полносимметричного колебания, если ввести матрицу  $B^{as}$  с компонентами

$$B^{as} = \begin{pmatrix} B_1'^{\sigma} \\ B_2'^{\sigma} \\ \vdots \\ B_k'^{\sigma} \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Приведенные смещения нормальных координат  $\Delta'$  для полносимметричных колебаний, когда матрица  $B$  считается известной, находятся по соотношению

$$\Delta' = \sqrt{2} (1 + \beta\alpha^{-1})^{-1} B = \sqrt{2} (1 - 2A)^{-1} B. \quad (22)$$

Введем матрицу эффективных приведенных смещений для антисимметричных колебаний представления  $\Gamma$ , заменив в (22)  $B$  на  $B^{as}$ :

$$\Delta I' = \sqrt{2} (1 - 2A)^{-1} B^{as}. \quad (23)$$

Введение матрицы  $\Delta I'$  позволяет при компьютерном моделировании учесть вклад антисимметричных колебаний в вибронный спектр поглощения. Для этого следует выполнить два расчета.



Первый расчет выполняется в приближении Франка – Кондона, когда приведенные смещения для всех антисимметричных колебаний равны 0. В результате будут вычислены интенсивности всех полносимметричных колебаний, включая четные обертоны антисимметричных колебаний.

Второй расчет выполняется, когда для антисимметричных колебаний представления  $\Gamma$  вводятся приведенные смещения  $\Delta_1'$ . Результаты такого расчета будут содержать не только интенсивности переходов для антисимметричных колебаний, активных по ЭГТ, но и интенсивность комбинационных переходов с участием полносимметричных колебаний и колебаний представления  $\Gamma$ .

Выделяя эти колебания из расчетных данных и суммируя с результатами первого расчета, получаем полный вибронный спектр поглощения, который теперь содержит наиболее интенсивные вибронные полосы.

Если электронный переход запрещен  $\bar{M}_{if}(0) = 0$ , то в (20) следует положить  $M_{if}(0) = 1$  и выполнить расчет по тому же алгоритму, что и для разрешенного перехода, но с одним исключением, состоящим в том, что относительная интенсивность вибронного перехода теперь должна вычисляться по отношению к линии сравнения, которая может быть задана с помощью матрицы IST3.

Для спектров флуоресценции расчет полного вибронного спектра может быть выполнен аналогичным образом. Для этого определим относительную интенсивность антисимметричного фундаментального колебания по отношению

$$I_{\text{ногл}}^{\text{омн}}(\nu_{as}) = \left(\frac{\nu}{\nu_{00}}\right)^4 (D_s' \sigma)^2, \quad (24)$$

где

$$D_s' \sigma = \sum_{t=1}^k G_t' \sigma E_{ts}. \quad (25)$$

$$I_{\text{ногл}}^{\text{омн}}(\nu) = \frac{\nu}{\nu_{00} S'_{00}} \left\{ \left[ \frac{\langle (U'_s) | (V''_\lambda) \rangle}{\langle (0') | (0'') \rangle} \right]^2 \left[ \sum_{s=1}^n G_s' \sigma \left( \sqrt{U'_s + 1} \left\langle \prod_{\lambda=1}^n (U'_s + \delta_{\lambda s}) \right\rangle | (V''_\lambda) \right) + \sqrt{U'_s} \left\langle \prod_{\lambda=1}^n (U'_s - \delta_{\lambda s}) \right\rangle | (V''_\lambda) \right] + \sum_{t=n+1}^N G_t' \sigma \left\langle \prod_{\lambda=1}^n (U'_s 1_t) \right\rangle | (V''_\lambda) \right]^2 \right\} \quad (28)$$

где

$$S'_{00} = \left( 1 + \sum_{t=1}^N G_t' \sigma B_t \right)^2, \quad (29)$$

а  $G_t' \sigma$  определено в (20).

Введем матрицу  $D^{as}$  с компонентами

$$D^{as} = \begin{pmatrix} D_1' \sigma \\ D_2' \sigma \\ \vdots \\ D_k' \sigma \end{pmatrix} \quad (26)$$

и с ее помощью вычислим матрицу эффективных приведенных смещений:

$$\Delta 2' = -\sqrt{2} \alpha D^{as} = -\sqrt{2} E^{-1} D^{as}. \quad (27)$$

Для получения полного вибронного спектра излучения расчет выполняется, как и в случае спектра поглощения, в два шага – в приближении Франка – Кондона и с учетом эффективных смещений  $\Delta 2'$  для антисимметричных колебаний представления  $\Gamma$ .

Если активными по ЭГТ оказываются полносимметричные колебания, то в этом случае нельзя проводить два альтернативных расчета, как в случае антисимметричных колебаний, так как в (15) оба члена  $B_s$  и  $B'_s$  при расчете интенсивностей могут быть одновременно отличными от нуля. При наличии экспериментального вибронного спектра можно ограничиться расчетом интенсивностей в приближении Франка – Кондона, если путем вариации смещений нормальных координат удастся воспроизвести опытное распределение относительных интенсивностей в спектре. Это касается прежде всего прогрессий. Если такого согласия не наблюдается, то следует учесть вклад ЭГТ. Интенсивность полносимметричных колебаний в поглощении в этом случае может быть представлена в частном случае, когда электронный переход разрешен по компоненте  $\tau$ , а переход в третье электронное состояние  $z$  разрешен по компоненте  $\sigma$ , в виде

Для относительных интенсивностей в спектре флуоресценции аналогичным образом получаем:



$$I_{\text{vib}}^{\text{anis}}(\nu) = \frac{\nu^4}{\nu_{00}^4 S_{00}''} \left\{ \left( \frac{\langle (U'_\delta) | (V_\lambda'') \rangle}{\langle (0') | (0'') \rangle} \right)^2 \left[ \sum_{s=1}^n G_s'' \left( \sqrt{V_s''+1} \langle (U'_\delta) | \prod_{\lambda=1}^n (V_\lambda'' + \delta_{\lambda s}) \rangle \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \sqrt{V_s''} \langle (U'_\delta) | \prod_{\lambda=1}^n (V_\lambda'' - \delta_{\lambda s}) \rangle \right) + \sum_{t=n+1}^N G_t'' \left( \langle (U'_\delta) | \prod_{\lambda=1}^n (V_\lambda'' 1_t) \rangle \right)^2 \right\}, \quad (30)$$

где

$$S_{00}'' = \left( 1 + \sum_{t=1}^N G_t'' D_t \right)^2. \quad (31)$$

Чтобы исключить влияние параметров  $S_{00}'$  и  $S_{00}''$  в (28) и (30), удобнее при моделировании вычислять относительные интенсивности не по отношению к 0-0 полосе, а по отношению к линии сравнения.

Если электронный переход запрещен ( $\vec{M}_{if}(0) = 0$ ), то в (28) и (30) следует приравнять 0 относительный ИФК ( $\langle (0') | (0'') \rangle = 0$ ), в  $G_s'^\sigma, G_s''^\sigma$  (20) положить  $M_{if}^s(0) = 1$ , в (29) и (31) опустить 1 в скобках. Такая операция исключает франк-кондоновский вклад  $\overline{FK}$  в интенсивность.

### Выводы

Представлена блок-схема программного комплекса для компьютерного моделирования вибронных спектров поглощения и флуоресценции многоатомных молекул с учетом зависимости интенсивностей от температуры. Все необходимые исходные данные для комплекса формируются на основе решения задач молекулярной динамики в рамках квантовых моделей. Предложен параметрический метод учета эффекта Герцберга – Теллера для расчета интенсивностей вибронных полос.

### Список литературы

1. Кон В. Электронная структура вещества – волновые функции и функционалы плотности // Успехи физических наук (Нобелевские лекции по химии – 1998). 2002. Т. 172, № 3 (март). С. 336–348.
2. Полл Дж. Квантово-химические модели PDF // Успехи физических наук. 2002. Т. 172, № 3 (март). С. 349–356.
3. Frisch M. J., Trucks G. W., Schlegel H. B., Colthup N. B., Daly L. H., Wiberley S. E. Introduction to Infrared and Raman spectroscopy. Gaussian 03, Revision B. – Gaussian Inc., Pittsburgh PA, 2003.
4. Baker J., Jarzecki A.A., Pulay P. Direct Scaling of Primitive Valence Force Constants: An Alternative Approach to Scaled Quantum Mechanical Force Fields // J. Phys. Chem. A. 1998. Vol. 102, № 8. P. 1412–1424.
5. Березин К. В., Нечаев В. В., Кривохижина Е. В. Применение метода линейного масштабирования частот в расчетах нормальных колебаний многоатомных молекул // Оптика и спектр. 2003. Т. 94, № 3. С. 398–401.
6. Yoshida H., Takeda K., Okamura J., Ehara A., Matsui H. New Approach to Vibrational Analysis of Large Molecules by Density Functional Theory : Wavenumber-Linear Scaling Method // Chem. Phys. Lett. 2000. Vol. 325, № 4. P. 477–483.
7. Березин К. В., Нечаев В. В., Кривохижина Е. В. Применение метода линейного масштабирования частот в расчетах нормальных колебаний многоатомных молекул // Оптика и спектр. 2003. Т. 94, № 3. С. 398–401.
8. Березин К. В., Черняев С. Н., Курносоев Н. А., Березин В. И. Учет базисной суперпозиционной ошибки при расчетах межмолекулярных расстояний и термодинамических характеристик водородосвязанных комплексов // Проблемы оптической физики и биофотоники (Optical physics and biophotonics) : материалы 12-й междунар. молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофизике. 23–26 сентября 2008 г., Саратов. SFM-2008 / под ред. В. В. Тучина, Г. В. Симоненко. Саратов : Изд-во «Новый ветер», 2008. С. 176–180.
9. Березин К. В., Нечаев В. В., Элькин П. М. Анггармонический анализ колебательных состояний пиримидина методом функционала плотности // Оптика и спектр. 2004. Т. 97, № 2. С. 221–231.
10. Березин В. И., Богачев Н. В., Абахаева З. М. Применение ЭВМ в молекулярной спектроскопии : учеб. пособие. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1989. 92 с.
11. Березин М. К., Тен Г. Н., Березин К. В., Березин В. И. Моделирование спектров SVL-флуоресценции // Проблемы оптической физики и биофотоники (Optical physics and biophotonics) : материалы 14-й междунар. молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофизике, 5–8 октября 2010 г., Саратов. SFM-2010 / под ред. В. В. Тучина, Г. В. Симоненко. Саратов : Изд-во «Новый ветер», 2010. С. 212–217.
12. Ельяшев М. А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М. : ГИФМЛ, 1962. 891 с.
13. Степанов Б. И., Грибковский В. П. Введение в теорию люминесценции. Минск : Изд-во АН БССР, 1963. 352 с.



14. Березин М. К., Тен Г. Н., Березин К. В., Березин В. И. Решение обратной электронно-колебательной задачи по спектрам SVL-флуоресценции // Проблемы оптической физики и биофотоники (Optical physics and biophotonics) : материалы 14-й междунар. молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофизике, 5–8 октября 2010 г., Саратов. SFM-2010 /под ред. В. В. Тучина, Г. В. Симоненко. Саратов : Изд-во «Новый ветер», 2010. С. 218–224.
15. Грибов Л. А., Баранов В. И., Зеленцов Д. Ю. Электронно-колебательные спектры многоатомных молекул. М. : Наука, 1997. 476 с.



## К 100-летию Физического института и 70-летию физического факультета

УДК 53(091), 53(092), 378.4

### «ПРИБРЕТАТЬ УМЕНИЕ ДЕЛАТЬ ФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ»:

### К 100-летию физического образования и физической науки в Саратове

**В. М. Аникин**

Саратовский государственный университет  
E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru

Приводятся сведения из истории физического образования и физической науки на физическом факультете Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского за период 1914–2014 гг.

**Ключевые слова:** Саратовский государственный университет, физический факультет.

### «To Get the Ability to Do the Physical Dimension and Research»: A Centenary of Physical Education and Science in Saratov

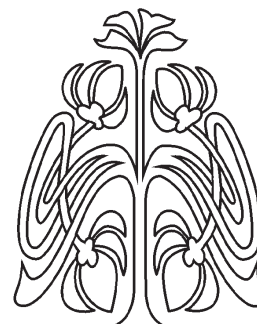
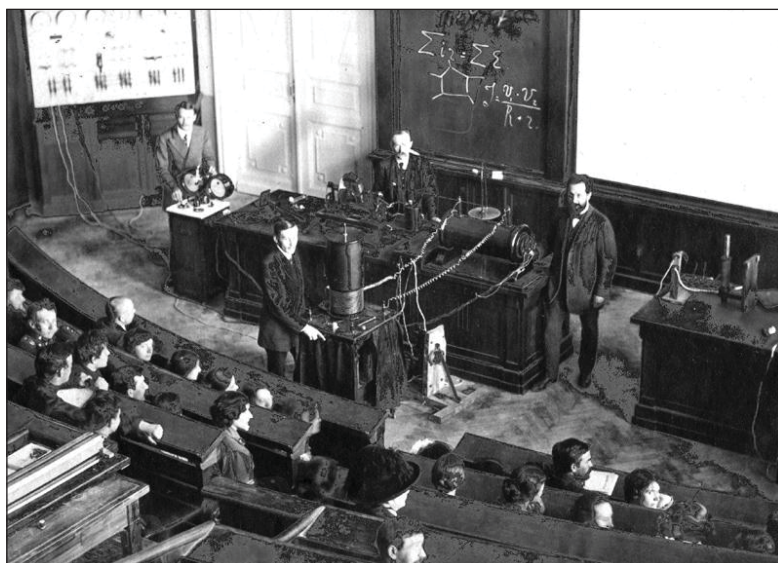
**V. M. Anikin**

Some data on the history of physical education and science in Saratov University for the period 1914–2014 years are presented.

**Key words:** Saratov State University, Physical Faculty.

*...Развитие применений наук о природе к технике давно заставило перенести центр тяжести преподавания физики из аудитории, нуждавшейся в физическом кабинете для демонстраций опытов на лекциях, в «физическую лабораторию», где учащиеся должны сами приобретать умение делать физические измерения и исследования, ставшие необходимыми для многих профессий.*

*Физический кабинет, 1902*



УНИВЕРСИТЕТСКАЯ  
ЛЕТОПИСЬ





Сто лет назад в Саратове появилось красивейшее здание с надписью на фронтоне «ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТЪ», с барельефом совы – символом мудрости – и датами «1911» и «1913». Это был третий корпус Императорского Николаевского Саратовского университета, специально построенный в 1911–1913 гг. для научных и учебных занятий по физике под руководством главного архитектора университета Карла Людвиговича Мюфке по проекту петербургского архитектора Льва Петровича Шишко<sup>1</sup>.

Имела место типичная ситуация: проект составлял один человек, а строил здание другой<sup>2</sup>. При этом понятие «строитель университета» по содержанию работы поглощало в себя и понятие «архитектор университета», поскольку, во-первых, столичный архитектор никогда не был на стройке и, во-вторых, на месте потребовалась серьезная корректировка первоначального проекта. К. Л. Мюфке пришлось решать сложные архитектурные, инженерные и экономические задачи, вносить существенные изменения и дополнения в проект. Памятная доска с именем Карла Людвиговича на стене третьего корпуса адекватно отражает его вклад в рождение здания Физического института.

Первые лекции начались здесь в весенний семестр 1914 г., а регулярная учебная деятельность – 4 (по старому стилю) октября 1914 г. Хрестоматийную известность приобрела фотография, сделанная во время лекции по физике, которую читал в Большой аудитории физического инсти-

тута один из семи профессоров-основателей Саратовского университета Владимир Дмитриевич Зёрнов. Любопытно, что Физический институт в Саратове задумывался через 8 и 6 лет после открытия аналогичных институтов соответственно при Санкт-Петербургском (1901) и Московском (1903) университетах, отвечая идеологии статьи «Физический кабинет» из Энциклопедического словаря Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона, выдержки из которой вынесены в заголовок данной статьи и эпитафия.

Историю строительства третьего корпуса университета В. Д. Зёрнов осветил в 1916 г. в статье «Физический институт Императорского Николаевского университета в Саратове», опубликованной в журнале «Физическое обозрение» [1]<sup>3</sup>. Благодаря этой публикации мы можем представить, каким корпус задумывался в то далекое время и каким он был в момент его открытия. Сведения о событиях (порой, весьма драматических) периода утверждения Саратовского университета и строительства третьего корпуса сохранили архивные заметки В. Д. Зёрнова, опубликованные в книге «Записки русского интеллигента» [2] и в его переписке [3].

Первоначально, как предусматривал «Закон об учреждении Университета в городе Саратове», утвержденный императором Николаем Вторым 10 июня 1909 г., университет создавался в составе одного медицинского факультета. Но, как было подчеркнуто в объяснительной записке, приложенной к законопроекту, – «тока (курсив

<sup>1</sup> Лев Петрович Шишко (1872–1943) – петербургский архитектор (гражданский инженер; в 1896 г. окончил Институт гражданских инженеров с золотой медалью за лучший архитектурный проект и с серебряной – за работу по строительной механике). Проектировал здания для строительства в Петербурге и в других городах России, в том числе учебного назначения (гимназии, училища, высшие учебные заведения). Профессор, ректор Технологического института (1915–1920). Погиб при бомбардировке (некролог опубликован в газете «Ленинградская правда» 6 августа 1943 г.). Биография Л. П. Шишко включена в книгу «Зодчие Санкт-Петербурга. XIX – начало XX века». Составитель и автор очерка о Л. П. Шишко (с. 816–825) В. Г. Исаченко (СПб. : Лениздат, 1998. 1070 с.). Ценился архитекторами старшего поколения.

<sup>2</sup> Например, архитектурный проект Томского Императорского университета, открытого в 1878 г., принадлежит петербургскому академику архитектуры А. К. Бруни, но практически первым и главным строителем университета в течение 13 лет (1881–1894) был томский архитектор П. П. Наранович, выпускник Петербургского Института гражданских инженеров. В последующем проектировании новых сооружений для Томского университета принимал участие и Л. П. Шишко (см.: *Богданова О. В.* Гражданские инженеры – строители Томского университета // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 303, октябрь. С. 55–60).

<sup>3</sup> Издание журнала «Физическое обозрение» (первый номер вышел в 1900 г.) связывают с именем русского физика и крупного чиновника Петра Алексеевича Зилова (1850–1921). Выпускник (1873) физико-математического факультета Московского университета (его учителем был А. Г. Столетов), он в 1874–1877 гг. слушал лекции в Гейдельбергском и Берлинском университетах. В 1877–1884 гг. заведовал кафедрой общей и прикладной физики в Императорском Московском техническом училище (ныне Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана), а с 1884 г. – кафедрой в Варшавском университете. В 1905–1912 гг. П. А. Зилов являлся попечителем Киевского учебного округа. Так, при нем (в 1910 г.) было начато сооружение специального здания для Педагогического музея в Киеве, который в процессе строительства посетили царская фамилия и премьер-министр П. А. Столыпин (музей получил в связи с этим имя цесаревича Алексея). В тот же период П. А. Зилов организовал сельскохозяйственные курсы для народных учителей в рамках кампании, проводившейся по всей стране Министерством народного просвещения. Основные труды П. А. Зилова по физике: Опытное исследование диэлектрической поляризации в жидкостях (магистерская диссертация). М. : 1878; Опытное исследование магнитной поляризации в жидкостях (докторская диссертация). М. : 1880; Курс физики. Варшава, 1895–1896; 6-е изд. Киев, 1912–1915.



автора. – В. А.) в составе одного медицинского факультета». Министерство народного просвещения предполагало не позже чем через пять лет учредить при нем и физико-математический факультет «как наиболее близкий к медицинскому, а затем – и остальные факультеты». В первую очередь решалось строительство университетских зданий «для обеспечения преподавания медицинских и естественных наук» [4, с. 248]. Случилось так (а может быть, и предопределено было самим характером физической науки), что в качестве первого лектора при открытии университета был выбран В. Д. Зёрнов, и первой лекцией, прочитанной им 23 сентября 1909 г. в стенах нового университета, стала именно лекция по физике [4, с. 211]!

Выходец из профессорской семьи, несколько поколений которой работали в Московском университете, магистр физики (его руководителем был знаменитый Петр Николаевич Лебедев), приват-доцент Московского университета, знаток трех европейских языков, профессионально владеющий инструментом скрипач, Владимир Дмитриевич Зёрнов, как показала его деятельность в Саратовском университете (основатель кафедры физики и физического института, декан физико-математического факультета, ректор Саратовского университета!), обладал всеми необходимыми качествами для успешной организаторской деятельности – знанием многих нюансов дел, которыми он занимался, инициативой, настойчивостью, требовательностью. А решать ему пришлось в прямом смысле «на пустом месте» сложную комплексную задачу – строительства корпуса, оснащения его необходимым техническим и физическим оборудованием, учебными пособиями, подбором кадров.

Помогали В. Д. Зёрнову советы его отца Дмитрия Николаевича Зёрнова, ректора Московского университета в 1898–1899 гг., научного наставника – профессора физического факультета Московского университета П. Н. Лебедева, а также знакомство с деятельностью европейских университетских центров, в которых он побывал накануне своего назначения исполняющим должность экстраординарного профессора Саратовского Императорского университета. Если, далее, сравнивать описание структуры и оснащения Физического института Саратовского университета из статьи В. Д. Зёрнова и открытого в 1901 г. (в специально построенном здании) первого в России Физического института при Санкт-Петербургском университете из статьи «Физический кабинет», помещенной в

Энциклопедическом словаре Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона [5], можно обнаружить (несмотря на архитектурные различия зданий, строившихся по проектам разных архитекторов) общие подходы к формированию подобного рода учреждений.

В 1910 г. для учебно-методического обеспечения учебного процесса по физике В. Д. Зёрновым были приобретены книги из личной библиотеки физика-академика Ореста Даниловича Хвольсона. Среди них выделялся (он сохранился и до настоящего времени) получивший широкую известность обстоятельный «хвольсоновский» пятитомный курс физики.

В 1912 г. для обеспечения лекционных демонстраций в физическом корпусе Саратовского университета была открыта Коллекция физических приборов [6], состав которой отражает рукописная «инвентарная книга» нестандартно больших размеров, которая сама по себе может рассматриваться как интересный исторический документ: строчка за строчкой в ней перечисляются физические приборы и различные инструменты, поступавшие в течение полувека в Физический институт и передававшиеся из него после Великой Отечественной войны в вузы Воронежа и Сталинграда.

Кафедра общей физики была создана в университете наряду с кафедрами медицинского профиля, и она положила начало развитию физического образования и физической науки в Саратовском университете. Физико-математический факультет в Саратовском университете был образован в период нахождения у власти Временного правительства – 1 июня 1917 г. Осенью 1918 г. профессором Саратовского университета был избран блестяще образованный физик Сергей Анатольевич Богуславский, который жил в Саратове до весны 1921 г., возглавляя физико-математическое отделение Саратовского общества естествоиспытателей, совмещая (с 1919 г.) посты профессора Саратовского и Московского университетов и готовясь к руководству Физическим институтом Московского университета.

В 1921–1922 гг. на постах заведующего Физическим институтом и кафедрой общей физики В. Д. Зёрнова сменил другой ученик лебедевской школы – Константин Александрович Леонтьев (сделанные им записи и автограф сохранились в упоминавшейся книге учета коллекции физических приборов), работавший в университете с 1918 г. Неординарность личности К. А. Леон-



тьева дополнительно характеризует тот факт, что им, помимо написания оригинальных научных работ, были осуществлены переводы с английского и немецкого языков ряда полезных для того времени научных книг.

Биографию К. А. Леонтьева в 1932 г. опубликовал уже его преемник – Петр Васильевич Голубков, долгие годы руководивший научными исследованиями и учебной работой на физическом факультете [7]. Таким образом, уже в самом «зародыше» физической науки и образования в Саратове была непосредственно продемонстрирована определяющая роль научных школ и научных династий как гарантов «эстафетной» передачи знаний новым поколениям.

Своеобразными рубежами, между которыми практически уместилась вся последующая история физической науки в Саратовском университете, являются два общероссийских научных события – заседания VI Всесоюзного съезда физиков 1928 г. с широким международным участием<sup>4</sup> и XX Международного симпозиума «Наноструктуры: физика и технологии» 2012 г. Обе встречи проводились в одной из лучших в стране аудиторий – Большой физической аудитории Физического института – 3-го корпуса и позволили преподавателям и студентам университета слышать и видеть ведущих физиков мира, включая обладателей нобелевских премий: в 1928 г. – будущих лауреатов М. Борна, П. Д. У. Дебая, П. А. М. Дирака, Н. Н. Семенова, Л. Д. Ландау,

<sup>4</sup> Наиболее полный отчет о VI Всесоюзном съезде физиков опубликовал Макс Борн в статье «VI Kongreß der Assoziation der russischen physiker», напечатанной в журнале «Die Naturwissenschaften» (1928. Bd. 16, Heft 39. September. S. 741–743; текст этой статьи доступен на сайте издательства Springer; DOI 10/1007/BF01506295).

Главные организаторы съезда – проф. А. Ф. Иоффе, председатель оргкомитета (президент съезда), проф. П. П. Лазарев и проф. В. И. Романов, заместители председателя оргкомитета (вице-президенты съезда), доцент С. И. Вавилов, секретарь оргкомитета. Заседания съезда проходили в августе 1928 г. в университетских городах по маршруту: Москва (МГУ-1, Большая физическая аудитория на Моховой, 5–9 августа) – Нижний Новгород (10 августа) – Казань (11 августа) – Саратов (СГУ, Большая физическая аудитория, 15 августа). Среди выступивших на съезде М. Борн выделяет среди зарубежных ученых Л. Н. Бриллюэна, Дж. Э. Дарвина, К. Шебля, Ст. Пиенковского, Ч. Бялбржеского, Р. В. Ладенбурга, П. Принсгейма, П. Д. У. Дебая, П. А. М. Дирака, Ф. Франка, Г. Н. Льюиса, Р. В. Поля, Р. Э. фон Мизеса, В. Г. Гайтлера, Ф. В. Лондона, П. Йордана, А. ван Аркеля. Из российских ученых Борн называет А. Ф. Иоффе, П. П. Лазарева, Д. Д. Иваненко, Л. Д. Ландау, В. Р. Бурсиана, Я. И. Френкеля, Г. С. Ландсберга, Л. И. Мандельштама, Т. П. Кравца, Д. А. Рожанского, Н. Н. Семенова, В. А. Ульянина. В числе участников съезда (а их было более 150) были также А. А. Лебедев, П. А. Ребиндер, Д. С. Рождественский, В. А. Фок и другие.

в 2012 г. – лауреата Нобелевской премии 2000 г. Ж. И. Алферова.

Интересны не оставшиеся без «последствия» детали съезда 1928 г. Организатором (президентом) съезда был академик А. Ф. Иоффе, ратовавший за организацию физических исследований в крупных провинциальных городах, вице-президентом съезда – ближайший сотрудник П. Н. Лебедева профессор П. П. Лазарев, а секретарем съезда – будущий академик и президент Академии наук СССР С. И. Вавилов. Иностранным гостям помогал владевший тремя «техническими» иностранными языками Дмитрий Владимирович Зёрнов [8], сын В. Д. Зёрнова, в то время студент четвертого курса физико-математического факультета МГУ, а в детстве учившийся в одной из саратовских гимназий, будущий член-корреспондент и руководитель Научного совета по физической электронике при Отделении общей и прикладной физики АН СССР (в последнем качестве он, безусловно, был в курсе всех дел в Саратове, обретшем после войны статус одной из «электронных столиц» России). И именно вскоре после съезда физиков 1928 г. К. А. Леонтьев перевел на русский язык книгу участника съезда немецкого физика Р. В. Поля «Введение в механику и акустику».

По существу, с К. А. Леонтьева, открывшего в Физическом институте радиотехническую лабораторию, и началось активное становление радиофизики и электроники как научного направления в Саратовском университете, которое было усилено последующими поколениями физиков (П. В. Голубков, В. И. Калинин, Г. М. Герштейн, В. Н. Шевчик, В. С. Стальмахов и др.), и которое до сих пор развивается в Саратове как одно из наиболее приоритетных на всех трех факультетах физического профиля [7, 9–12].

В мае 1931 г. физико-математический факультет был разделен, но осенью того же года был восстановлен. 18 июля 1945 г. был образован самостоятельный физический факультет. Попутно отметим, что в 30-е годы из состава СГУ был выделен ряд факультетов, которые стали основой всех существующих сегодня в Саратове вузов.

В 1930–1950 гг. на физическом факультете проходило становление и других научных и образовательных направлений:

– теоретической физики (у ее истоков стояли известный физик-теоретик Д. И. Блохинцев, работавший в СГУ в 1935–1937 гг. и А. С. Шехтер; кафедра теоретической физики была образована в 1935–1936 гг.),





– физики полупроводников и диэлектриков, в том числе оптики полупроводников (родоначальник направления – ленинградский физик В. П. Жузе, ученик и сотрудник академика А. Ф. Иоффе, трудившийся в СГУ в 1935–1944 гг., его ученица З. И. Кирьяшкина; ленинградец Е. Ф. Гросс, работавший в СГУ в 1935–1936 гг.; кафедра физики твердого тела образована в 1945 г.) [13,14];

– оптики и спектроскопии, в том числе молекулярной спектроскопии многоатомных молекул (М. Л. Кац; М. А. Ковнер, Н. К. Сидоров; кафедра оптики образована в 1946 г.) [15];

– химической физики (А. Д. Степухович; кафедра химической физики создана в 1958 г.) [16].

В 1951 г., вслед за организацией в 1945 г. лаборатории радиофизики в НИИ механики и физики СГУ, была организована кафедра радиофизики (В. И. Калинин).

Расцвет факультета приходится на время эпохального развития в Саратове электронной промышленности, начавшегося в начале 50-х годов прошлого века и происходившего при непосредственном участии физиков Саратовского университета, которые еще в предвоенные и военные годы занимались проблемами радиофизики, вакуумной и полупроводниковой электроники (К. А. Леонтьев, П. В. Голубков, В. И. Калинин, В. П. Жузе и др.).

В 1951/52 учебном году подготовку специалистов на физическом факультете вели 5 кафедр – общей физики, теоретической физики, физики твердого тела, оптики и радиофизики (одно время была в структуре факультета и кафедра астрономии). А с 1 июня 1952 г. приказом Главного управления университетов Министерства высшего образования СССР в Саратовском университете был открыт радиофизический («второй физический») факультет, в состав которого были включены кафедра радиофизики (ей «для секретности» была присвоена литера «А») и вновь организованные кафедры электроники («Б»), физики вакуума и электровакуумных технологий («В») и электро- и радиотехники («Г») (все названные кафедры до сих пор продолжают работу под несколько измененными названиями). Первый физический факультет возглавила кандидат физико-математических наук доцент Зинаида Ивановна Кирьяшкина [12], а второй физический факультет – кандидат физико-математических наук доцент Борис Михайлович Заморозков [11].

История физического факультета в послевоенные годы нашла отражение в издании 1959 г.

к 50-летию СГУ [17] и во втором томе «Истории Саратовского университета. 1909–2009» [18].

За все годы работы физического факультета (начиная с 1945 г.) подготовлено около 15000 специалистов. Среди них – академики и члены-корреспонденты Академии наук СССР и Российской академии наук, Герои труда, доктора и кандидаты наук, крупные организаторы российской и саратовской промышленности и науки; космонавт-исследователь АН СССР, руководители и преподаватели всех саратовских вузов; депутаты Государственной Думы, министры и сотрудники Правительства Саратовской области, профессора зарубежных университетов; генералы и офицеры, сотрудники органов государственной безопасности и дипломатической службы, руководители и сотрудники современных исследовательских, производственных, эксплуатационных и финансовых организаций, включая предприятия оборонно-промышленного комплекса, руководители и сотрудники предприятий различных сфер деятельности и форм собственности.

Физический факультет в составе Национального исследовательского Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского обладает устойчивыми конкурентными преимуществами, обусловленными богатыми традициями, научным и образовательным потенциалом. В его составе – 30 докторов и 50 кандидатов наук, которые работают на 9 кафедрах (общей физики, теоретической физики, оптики и биофотоники, радиофизики и нелинейной динамики, радиотехники и электродинамики, компьютерной физики и метаматериалов (базовая), прикладной физики, физики и методико-информационных технологий, физики критических и специальных технологий (базовая)). На факультете поддерживается богатый спектр образовательных программ по направлениям бакалавриата: физика (с профилями фундаментальная и экспериментальная физика, оптика и лазерная физика, физика живых систем, компьютерная физика), радиофизика (с профилями информационные технологии и компьютерное моделирование в радиофизике, мета- и наноматериалы для радиофизики и радиоэлектроники), биотехнические системы и технологии, инфокоммуникационные технологии и системы связи, конструирование и технологии электронных средств), педагогическое образование. В магистратуре факультета ведется обучение в рамках магистерских программ «Теоретическая и экспериментальная физика», «Биофизика», «Медицинская фотоника», «Физика оптических



явлений», «Магнитоэлектроника в системах защиты информации», «Радиофизические системы и комплексы», «Педагогическое образование». Успешно ведутся исследования в рамках многочисленных научных отечественных и международных грантов, результаты которых находят в публикациях – монографиях, учебниках, статьях, издаваемых в издательствах отечественного и мирового уровня, активно развиваются международные научные и образовательные связи.

Из числа крупных структурных изменений физического факультета на рубеже последних двух столетий естественно отметить выделение из него кафедр, которые стали образующими двух новых факультетов университета физического профиля – факультета нелинейных процессов (2000 г., кафедра электроники) и факультета нано- и биомедицинских технологий (2005 г., кафедры физики твердого тела и физики полупроводников).

Исторически в третьем корпусе сегодня расположены кафедры, которые являются лидерами не только на своих факультетах, в университете, но и в международном образовательном и научном пространстве. Их названия отражают современные направления деятельности. Это кафедры оптики и биофотоники (заведующий кафедрой – заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук профессор В. В. Тучин), радиофизики и нелинейной динамики (заведующий кафедрой – заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук профессор В. С. Анищенко), электроники, колебаний и волн (заведующий кафедрой – член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук профессор Д. И. Трубецков), физики твердого тела (заведующий кафедрой – заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук профессор Д. А. Усанов).

Перечень памятных дат из истории физического факультета в текущем столетии будет опубликован в следующем номере журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика».

#### Список литературы

1. Зёрнов В. Д. Физический институт Императорского Николаевского университета в Саратове // Физическое обозрение. 1916. Т. 17.
2. Зёрнов В. Д. Записки русского интеллигента. М. : Изд-во «Индрик», 2005. 400 с.
3. Письма профессора В. Д. Зёрнова периода открытия и становления Саратовского университета. 1909–1914 // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1999. Т. 7, № 2–3. С. 156–75; № 6. С. 121–137.
4. Аврус А. И., Гапоненков А. А., Данилов В. Н. История Саратовского университета. 1909–2009 : в 2 т. Т. 1. 1909–1945. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2009. 296 с.
5. Физический кабинет // Энциклопедический словарь Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона : в 86 т. СПб. : Типография акц. общества Брокгауз–Ефрон, 1902. Т. 70. С. 212–214.
6. Игнатьев А. А., Куликов М. Н., Данке О. Г. Музей лекционных демонстраций физического факультета // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2012. Т. 12, вып. 2. С. 86–90.
7. Голубков П. В. Константин Александрович Леонтьев // УФН. 1932. Т. 12, вып. 4. С. 501–505.
8. К 100-летию со дня рождения Дмитрия Владимировича Зёрнова (1907–1971) // Радиотехника и электроника. 2007. Т. 52, № 5. С. 637–638.
9. Анищенко В. С., Хохлов А. В. Венедикт Иванович Калинин (1907–1960) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2008. Т. 8, вып. 1. С. 49–58.
10. Анищенко В. С. Профессор В. И. Калинин и университетское образование // Там же. С. 58–64.
11. Кафедра электроники, колебаний и волн. Прошлое, настоящее, будущее. Саратов : Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2002. 162 с.
12. Жарков Ю. Д., Короновский А. А., Лёвин Ю. И., Храмов А. Е. Кафедре электроники, колебаний и волн Саратовского университета – 60 лет // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2012. Т. 12, вып. 1. С. 78–90.
13. Усанов Д. А. К 100-летию профессора Владимира Пантелеймоновича Жузе // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2005. Т. 5, вып. 1. С. 108–109.
14. Усанов Д. А. К 60-летию кафедры физики твердого тела // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2006. Т. 6, вып. 1/2. С. 85–90.
15. Тучин В. В. Юбилей кафедры оптики и биофотоники и столетие ее основателя Марка Львовича Каца // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2007. Т. 7, вып. 1. С. 65–74.
16. Гольдфейн М. Д., Карнаухова Л. И., Кожевников Н. В. Профессор Александр Давидович Степухович – организатор научной школы в области химической физики в Саратове (К 100-летию со дня рождения) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2011. Т. 11, вып. 2. С. 85–90.
17. Саратовский университет. 1909–1959. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1959. 292 с.
18. Мясиев А. П. История Саратовского университета. 1909–2009 : в 2 т. Т. 2. 1945–2009. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2009. 348 с.



УДК 53(091). 53(092), 378.4

## ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМПЕРАТОРСКОГО НИКОЛАЕВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В САРАТОВЕ

В. Д. Зёрнов



Воспроизводится статья профессора Владимира Дмитриевича Зёрнова о строительстве здания Физического института (Третьего корпуса) Саратовского университета из журнала «Физическое обозрение» за 1916 г. (т. 17) с сохранением старой орфографии<sup>1</sup>.  
**Ключевые слова:** Саратовский университет, Физический институт.

**Physical Institute of Emperor Nicholas University  
in Saratov**

**V. D. Zernov**

The article by Prof. Vladimir D. Zernov from Journal Physical Review (Russia, 1916) is reprinted.

**Key words:** Saratov University, Physical Faculty.

Приступая къ описанію зданія Физическаго Института ИМПЕРАТОРСКАГО Николаевскаго Саратовскаго Университета, я хочу въ короткихъ словахъ изложить исторію возникновенія этого учрежденія. Это почти необходимо, чтобы были понятны нѣкоторыя детали этого описанія.

ИМПЕРАТОРСКІЙ Николаевскій Университетъ открытъ въ 1909 году въ составѣ одного медицинскаго факультета, но законопроектъ предвидѣлъ открытіе физико-математическаго факультета не позднѣе, какъ черезъ пять лѣтъ послѣ открытія Университета, т. е. не позднѣе осени 1914 года. Согласно съ этимъ были ассигнованы средства на постройку и оборудованіе всѣхъ учебно-вспомогательныхъ учрежденій физико-математическаго факультета и въ частности на постройку Физическаго Института было ассигновано 162000 руб. и на научное его оборудованіе 41000 рублей.

Желая по возможности скоро осуществить требованіе законопроекта и приступить къ постройкѣ Физическаго Института, я въ декабрѣ 1909 года, съ согласія перваго ректора Николаевскаго Университета проф. В. И. Разумовскаго,

лично обратился къ нынѣ покойному Министру Народнаго Просвѣщенія А. Н. Шварцу и просилъ у него разрѣшенія для ускоренія дѣла заказать проектъ архитектору Министерства Народнаго Просвѣщенія. При этомъ мною было указано на необходимость проектировать въ зданіи Института нѣкоторыя жилыя помѣщенія, а именно: квартиру для завѣдывающаго, двѣ квартиры для ассистентовъ и нѣсколько комнатъ для низшихъ служащихъ. Г. Министръ, вполнѣ соглашаясь съ необходимостью немедленно приступить къ проектированію Института, не только далъ свое согласіе на передачу заказа министерскому архитектору, но призналъ необходимымъ устройство при Институтѣ жилыхъ помѣщеній и нашелъ желательнымъ построить новый Институтъ по болѣе широкому масштабу, чтобы это учрежденіе удовлетворяло требованіямъ учебно-ученой жизни на долгое время.

Заручившись согласіемъ Г. Министра, я передалъ архитектору заданіе и черновой набросокъ плана зданія. Г. Архитекторъ, разсмотрѣвъ набросокъ, обѣщаль переработать его согласно съ требованіями Министерства и указаль, что жилыя помѣщенія лучше вынести въ отдѣльную пристройку, приведя соображенія техническаго характера, съ которыми нельзя было не согласиться.

Въ мартѣ 1910 года эскизный проектъ архитекторомъ былъ доставленъ въ Саратовъ, а въ маѣ того же года при участіи проф. В. И. Разумовскаго и моего проектъ былъ проведенъ черезъ строительный комитетъ Министерства. При этомъ архитектору было поручено внести въ проектъ нѣкоторыя исправленія. Въ частности комитетъ указаль на удаленность коллекцій отъ аудиторіи, Кромѣ того комитетъ призналъ желательнымъ сокращеніе площади Института на 10%, такъ какъ иначе проектированное зданіе должно было-бы стоить значительно дороже 162000 рублей. Осталось сдѣлать указанныя исправленія и составить подробную смѣту. Но приступить къ постройкѣ удалось только въ маѣ 1911 года. Несмотря на неоднократныя напоминанія не только со стороны университетской строи-

<sup>1</sup> В музее физических приборов физического факультета хранится отдельный оттиск статьи с выходными данными: ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТЪ ИМПЕРАТОРСКАГО НИКОЛАЕВСКАГО УНИВЕРСИТЕТА ВЪ САРАТОВѢ. Проф. В. Д. Зерновъ. («КІЕВЪ, Типо-Литограф. «С. В. Кульженко». Пушкинск. ул. № 4. 1916. Отдѣльный оттискъ изъ «Физич. Обозрѣнія» (17 томъ 1916 г.))». Статья подготовлена к печати О. Г. Данке.



тельной комиссией, но и со стороны городского самоуправления, проект и смета не могли быть своевременно получены из Министерства. Наконец Г. Министр телеграммой разрешил сдавать работы до получения сметы, а вслед за этим была получена и смета, утвержденная в сумме 246515 рублей 99 к.,<sup>2\*)</sup> но вместо чистового проекта мы получили набросок на кальке, в который никаких исправлений не было внесено, а сокращение сметы было произведено за счет жилой постройки: она отсутствовала.

Набросок плана пришлось перерабатывать на месте, так как в нем оказалось немало недостатков: так, внутри здания почти не было капитальных стѣн, а всѣ переборки были показаны деревянными штукатурными; громадный полъ аудиторіи не имѣлъ достаточной опоры. Все это казалось намъ недопустимымъ для Физическаго Института, такъ какъ первое требованіе, предъявляемое къ такому зданію, это прочность и устойчивость. Съ согласія строительной комиссiи указанные недостатки были устранены. Внутри зданія введено достаточное количество капитальных стѣн: подъ аудиторію также введены каменные стѣны, а всѣ деревянные переборки замѣнены желѣзо-бетонными. Размѣры самаго Института были прежніе, и это, конечно, являлось для насъ утѣшеніемъ. Вотъ какія обстоятельства заставили насъ впоследствии испросить разрѣшеніе на устройство жилыхъ

<sup>2\*)</sup> В смете не было предусмотрено техническое оборудованіе зданія водой, газомъ и электрическимъ освещеніемъ; на эти статьи суммы были доассигнованы впоследствии.

помѣщеній въ самомъ зданіи Института, и вотъ почему эти помѣщенія какъ-бы вкраплены въ лабораторныя помѣщенія.

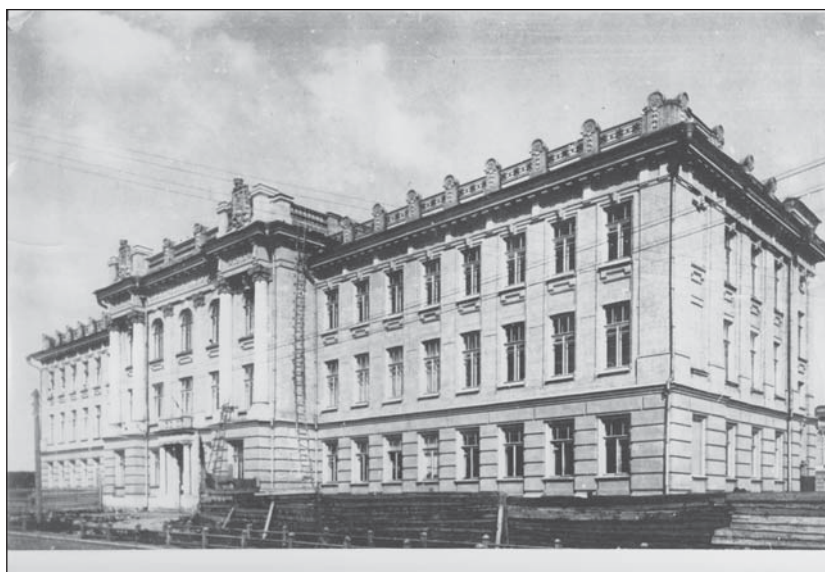
2-го мая 1911 года было, наконецъ, приступлено къ землянымъ работамъ, а въ декабрѣ 1913 года можно было частично перебраться въ новое помѣщеніе Института, описаніе котораго въ томъ видѣ, какой онъ принялъ послѣ всѣхъ исправленій и дополненій, я и намѣренъ представить.

Руководство постройкой и исправленіе проекта принялъ на себя строитель Николаевскаго Университета, архитекторъ К. Л. Мюфке.

### Общее расположеніе.

Зданіе выстроено въ три этажа (фиг. 1), съ полуподваломъ подъ крыльями и съ вынесенной большой аудиторіей. Каждый этажъ того и другого крыла представляетъ собою самостоятельное цѣлое; такимъ образомъ учрежденія Института могутъ быть до известной степени изолированы другъ отъ друга.

Главный входъ въ центрѣ зданія приводитъ въ обширный вестибюль съ двумя шинельными. Въ правомъ отъ входа крыльѣ перваго этажа была проектирована обширная мастерская, какъ для обслуживанія нуждъ Физическаго Института, такъ и для практики студентовъ. Эта мысль обучить студентовъ-физиковъ ремеслу осуществлена, напримѣръ, въ Геттингенскомъ Физическомъ Институтѣ, гдѣ каждый ищущій званія учителя физики доженъ пройти курсъ въ мастерской и представить въ видѣ отчета два сомоделныхъ прибора. Если эта мѣра желательна въ Германіи,



Фиг. 1

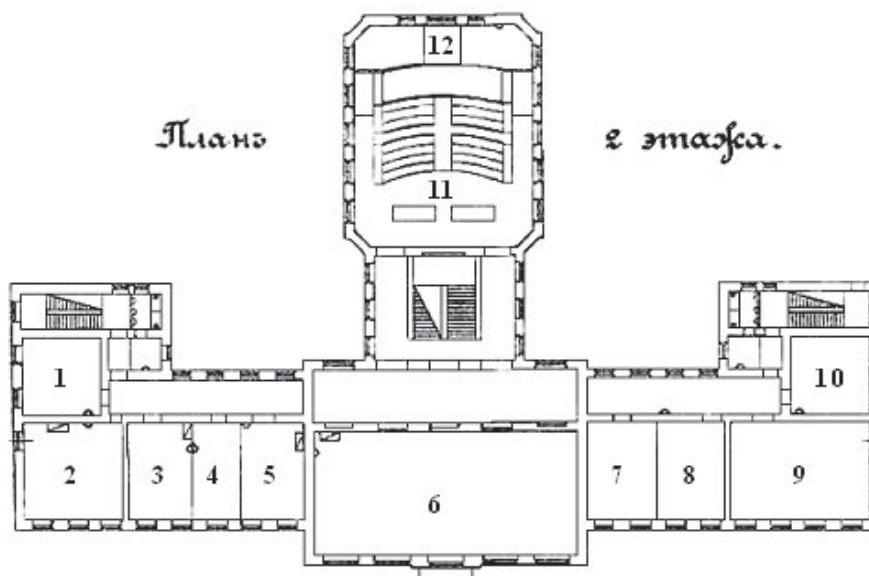


то у насъ она является насущной необходимостью. Но пока, вслѣдствіе отсутствія жилой пристройки, подъ мастерскую отведена только часть помѣщенія, а часть пришлось приспособить для квартиры препаратора и механика.

Первый этаж лѣваго крыла предназначенъ для специальныхъ работъ: здѣсь же пришлось выдѣлить небольшую квартиру для ассистен-

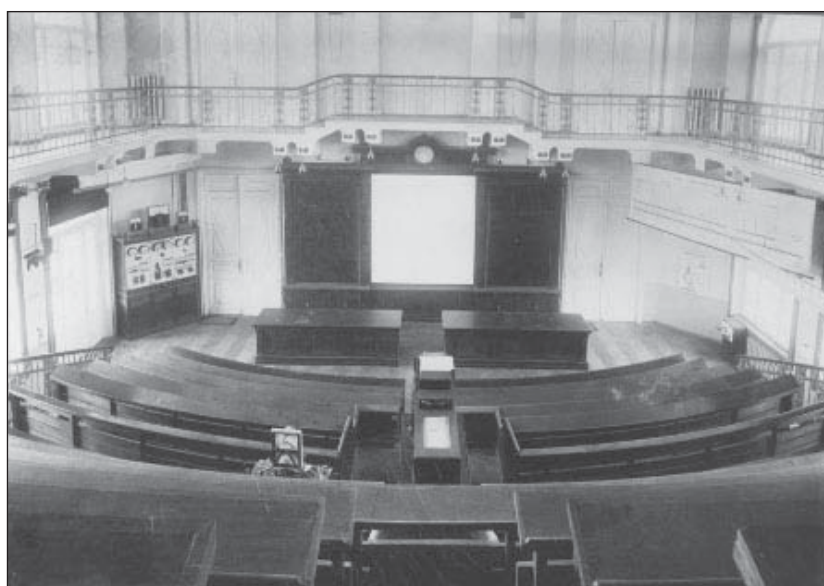
та. Въ первомъ этажѣ аудиторной пристройки помѣщается машинная, аккумуляторная и три комнаты, предназначенныя для буфета и студенческой читальни.

Во второмъ этажѣ (фиг. 2) надъ входомъ и шинельными помѣщается обширная коллекція, а противъ нея, въ аудиторной пристройкѣ, большая аудиторія (фиг. 3).



Фиг. 2.

- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| Библиотека.          | Лабораторія.       |
| Кабинетъ профессора. | Лабораторія.       |
| Кабинетъ ассистента. | Малая аудиторія.   |
| Фотографическая.     | Лабораторія.       |
| Кабинетъ ассистента. | Большая аудиторія. |
| Коллекціи.           | Приготовительная   |



Фиг. 3. Большая аудиторія.



Въ правомъ крыльѣ второго этажа расположена малая аудитория и лабораторія для преподавательскаго персонала; въ лѣвомъ – лабораторіи преподавательскаго персонала, фотографическая и институтская библиотека.

Весь третій этажъ отданъ подь практическія занятія студентовъ, причемъ все помѣщеніе состоитъ изъ трехъ залъ и двухъ комнатъ; эти послѣднія назначены для оптическихъ работъ.

Полуподвальное помѣщеніе пока является запаснымъ.

Надъ крыльями зданія расположены двѣ площадки, уровень пола которыхъ помѣщенъ на высотѣ конька крыши.

### **Перекрытія и перегородки.**

Всѣ отвѣтственныя перекрытія Института – желѣзобетонныя на желѣзобетонныхъ балкахъ. Небольшія перекрытія въ вестибюлѣ также желѣзобетонныя, но на желѣзныхъ балкахъ. Такъ какъ перекрытія рассчитаны на весьма большую нагрузку и сдѣланы съ большимъ запасомъ прочности, то устойчивость пола получилась весьма большая.

### **Лѣстницы.**

Какъ видно изъ плана (фиг. 2), Институтъ имѣетъ три лѣстницы. Центральная оригинальной конструкціи: марши помѣщены посреди лѣстничной клѣтки, а не ло стѣнамъ. Эта особенность позволила лѣстничную клѣтку освѣтить правильно расположенными большими окнами. Первый маршь значительно расширенъ и изогнутъ такъ, чтобы первыя ступени приходились противъ главнаго входа. Ступени всѣхъ лѣстницъ сдѣланы изъ искусственнаго мрамора, т. е. смѣси кусочковъ мрамора съ бетономъ.

### **Полы и потолки.**

Полы вестибюля, шинельныхъ, помѣщеній перваго этажа подь аудиторіей и нижнихъ корридоровъ выстланы метласкими плитками. Аудитория и коллекція имѣютъ паркетъ по асфальту, а во всѣхъ лабораторныхъ помѣщеніяхъ положенъ линолеумъ по бетону. Устройство линолеумовыхъ половъ вызвало немалыя хлопоты. Фирма «Проводникъ», взявшая большую часть этой работы, по исполненіи своего обязательства категорически отказалась отъ новаго подряда, вслѣдствіе отсутствія опытныхъ мастеровъ и дороговизны спеціального клея. Другая мѣстная фирма, взявшая остальную часть работы, примѣняла неподходящій клей, вслѣдствіе чего работу пришлось передѣлывать съизнова.

Всѣ потолки представляютъ собою переплеты желѣзо-бетонныхъ балокъ съ архитектурными балками, что красиво разнообразитъ большія поверхности потолковъ. Въ большой аудиториі въ кесонахъ и на переплетахъ балокъ положена изящная лѣпка – лавровыя вѣнки и лавровыя вѣтви.

### **Отопление и вентиляція.**

Зданіе имѣетъ водяное отопленіе. Два котла помѣщаются въ полуподвалѣ подь аудиторной пристройкой.

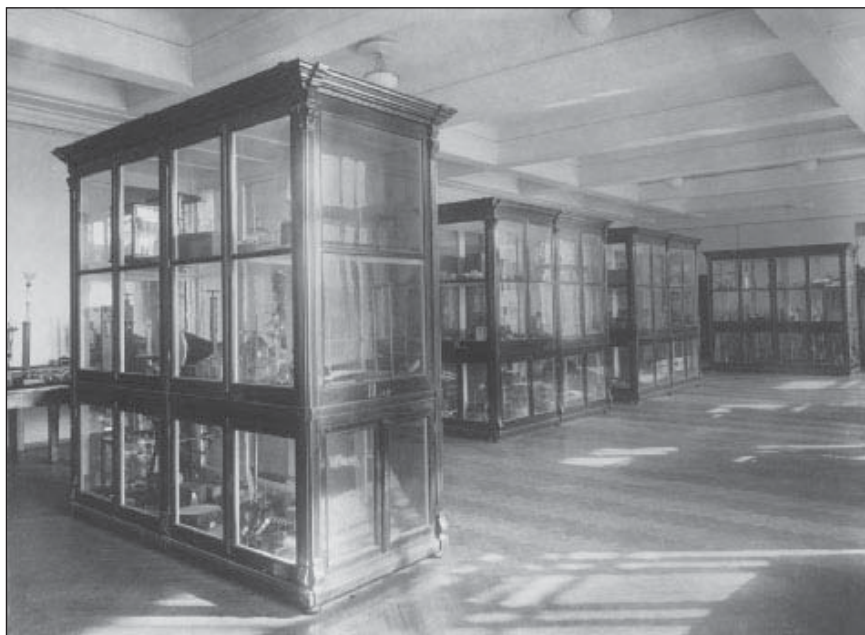
Вентиляція тепловая усилена электрическими вентиляторами, для чего имѣются пять моторовъ, тянущихъ воздухъ 1) изъ центральной части зданія, 2) и 3) изъ крыльевъ и 4) и 5) изъ уборныхъ. Вентиляцію и отопленіе ставила фирма Эриксонъ.

### **Умформеры и аккумуляторная баттарей.**

Такъ какъ г. Саратовъ имѣетъ постоянный токъ въ 440 в. по трехпроводной системѣ – 220, 0, + 220, а такимъ напряженіемъ не всегда удобно пользоваться, то въ Институтѣ поставленъ вращающійся умформеръ, заряжающій аккумуляторную баттарейу въ 60 элементовъ, емкостью въ 70 амперъ-часовъ. Токъ отъ этой баттарей проведенъ во всѣ помѣщенія Института. Кромѣ этого имѣется умформеръ, дающій трехфазный переменный токъ въ 110 в. Этотъ послѣдній подведенъ въ аудиторию и въ лабораторныя помѣщенія второго этажа. Установку умформеровъ и аккумуляторной баттарей, а также всю проводку въ Институтѣ, съ большой тщательностью выполнила московская фирма «Пр-ки Я. Жуковскаго».

### **Большая аудитория.**

Большая аудитория (фиг. 3) занимаетъ площадь въ 55 квадратныхъ саженъ и имѣетъ въ высоту 11 аршинъ. Она имѣетъ четыре входныхъ двери; двѣ внизу изъ второго этажа, по бокамъ лекторскаго стола, и двѣ изъ третьяго этажа, приводящія на балконъ, который окружаетъ всю аудиторию и даетъ доступъ къ задней части аудиториі и къ верхней площадкѣ амфитеатра. Дубовый, на желѣзныхъ балкахъ, амфитеатръ на 300 мѣсть сдѣланъ въ два подъема. Первые пять рядовъ имѣютъ отлогій подъемъ, остальные шесть подымаются значительно круче. Число мѣсть можетъ быть значительно увеличено добавленіемъ стульевъ передъ первымъ рядомъ, въ проходѣ, отдѣляющемъ первый подъемъ отъ второго, и на балконѣ. На высотѣ прохода между двумя



Фиг. 4. Коллекция приборовъ.

подъемами, по срединѣ амфитеатра, устроена площадка для проекціоннаго фонаря.

Лекторскій столъ состоитъ изъ двухъ частей съ проходомъ по срединѣ. Каждая часть имѣетъ пять аршинъ длины. По концамъ стола имѣются двѣ раковины съ проведенной водой, скрытыя подъ снимающейся крышкой стола. Столъ оборудованъ газомъ и электричествомъ. Сторона, обращенная къ лектору, имѣетъ нѣсколько небольшихъ ящичковъ, но въ большей части совершенно открыта. Сторона, обращенная къ слушателямъ, закрыта дубовой феленкой. Двѣ боковыя доски съ безконечными полотнами и съ центральнымъ постояннымъ экраномъ въ видѣ стѣны, покрытой ровнымъ слоемъ алебаstra, составляетъ одно сооруженіе, сдѣланное по изящному рисунку К. Л. Мюфке. Специальная шиферная матерія для досокъ, полученная отъ фирмы August Fessler въ Вѣнѣ, представляетъ огромное преимущество по сравненію съ часто употребляемымъ чернымъ линолеумомъ. Эта матерія легкая, весьма гибкая и съ матовой поверхностью, благодаря чему письмо мѣломъ выдѣляется на ея фонѣ весьма рѣзко. Направо отъ стола помѣщается распредѣлительная доска, дающая 1) городской токъ въ 440 в. по трехпроводной системѣ; 2) токъ отъ институтской аккумуляторной батареи въ 110 в. и 3) трехфазный переменный токъ въ 110 V. отъ институтскаго умформера. Всѣ три цѣпи подведены также къ лѣвой части стола. Постоянный токъ въ 110 в. подведенъ также къ площадкѣ, на

которой помѣщается эпидіаскодъ Цейсса. Направо отъ стола имѣется подъемный алгоминіевый экранъ для проекцій съ лекторскаго стола. Направо же отъ стола имѣется выходъ на маленькій балконъ. Всѣ шестнадцать оконъ аудиторіи оборудованы подъемнымъ затемненіемъ. При этомъ два ряда верхнихъ оконъ (10 оконъ по 5 оконъ на одномъ валу) затемняются автоматически двумя моторами, а нижнія шесть оконъ имѣютъ ручное затемненіе (каждые три окна на одномъ валу). Такое раздѣленіе вполне удачно, такъ какъ во время лекцій приходится опускать и подымать только верхнія шторы. Нижнія окна остаются во время лекціи закрытыми, ибо при открытыхъ нижнихъ окнахъ доски даютъ блики. Затемненіе поставлено мѣстной фирмой «Ю. Ю. Меллье».

Аудиторія освѣщается восемнадцатью камильными лампами по 200 свечей каждая, спускающимися въ изящной арматурѣ съ потолка. Кромѣ этого, по карнизу балкона, надъ лекторскимъ столомъ, устроена лампа для освѣщенія досокъ изъ восьми стосвѣчныхъ лампъ и по бокамъ того же карниза еще восемь стосвѣчныхъ висячихъ лампъ. Несмотря на большое количество лампъ, освѣщеніе стола не вполне достаточно, и отдѣльные приборы и небольшіе опыты приходится освѣщать столовыми лампами.

Акустическія условія аудиторіи удалась весьма хорошо. Отчасти это надо приписать присутствію балкона надъ лекторскимъ столомъ создающаго родъ раковины.



### Общее оборудование лабораторных помещений.

Все лабораторные помещения оборудованы водой, газом, электрическим осветительным током (220 В.) и током в 110 в. от институтской аккумуляторной батареи. Помещения освещаются висячими лампами и бракетами. В практикум с потолка спускаются блочные подвески, а в лабораторных помещениях с потолка спускаются только дежурные лампы. Во всех помещениях по стенам размещены «штепсели-бра», при каждом бракетке имеется штепсельная коробка. Таким образом от каждого бракета вилкой можно взять для лабораторных надобностей ток в 220 в.

В лабораторных помещениях и в практикум имеются вытяжные шкафы. Основанием шкафов служат столы из бетонных плит с мраморной крышкой на бетонном основании. Основания шкафов, имея весьма большую устойчивость, могут в случае надобности служить для установки чувствительных приборов.

Лабораторные помещения имеют задвижные черные шторы из молескина; затемнение, полученное при помощи их, вполне достаточно для обычных оптических работ, не требующих фотографической темноты.

Оптические комнаты и фотографическая окрашены в черный цвет; затемнение окон двойное. Такое затемнение фотографической и оптических комнат имеет преимущество перед абсолютно темными комнатами (без окон) в том отношении, что во всякий момент можно иметь в комнатах и дневной свет, чем мы и пользуемся ежедневно при уборке комнат.

### Стоимость здания.

Постройка здания Физического Института, включая внутреннюю отделку, амфитеатр, отопление, вентиляцию, канализацию, водопровод, газопровод и осветительную электрическую сеть, обошлась в 280000 руб.

Наиболее крупные суммы на прочее общее оборудование истрачены по следующим статьям:

Умформеры, аккумуляторная батарея, проводка тока от аккумуляторной батареи и распределительная доска	8247 руб.
Затемнение аудитории	1988 руб.
Лекционный стол и доски аудитории	829 руб.

Саратовь.  
Императорский Николаевский  
Университетъ.





УДК 53(091), 53(092)

## КОНСТАНТИН АЛЕКСАНДРОВИЧ ЛЕОНТЬЕВ

П. В. Голубков

Воспроизводится биографическая статья доктора физико-математических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации Петра Васильевича Голубкова из журнала «Успехи физических наук» за 1932 г. (Т. XII, вып. 4. С. 501–505), посвященная К. А. Леонтьеву<sup>1</sup>.

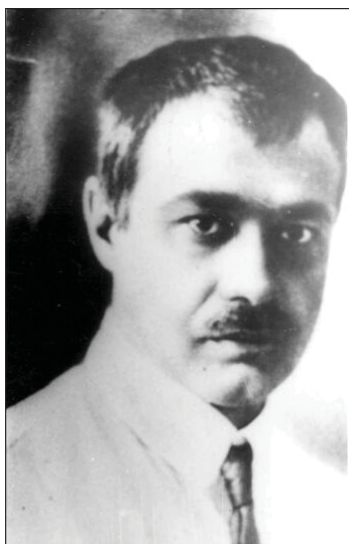
**Ключевые слова:** Саратовский университет, физический факультет.

**Konstantin Aleksandrovich Leontiev**

**P. V. Golubkov**

It is the article by Dr. Petr V. Golubkov from the Journal «Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)» devoted to Prof. Konstantin A. Leontiev (1932, vol. 12, pp. 501–505).

**Key words:** Saratov University, Physical Faculty.



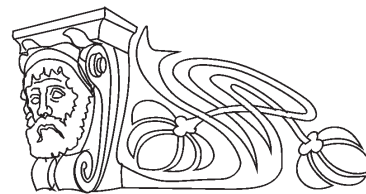
К. А. Леонтьев

4 марта 1932 г. в Москве скончался на 42 году жизни заведующий Физическим институтом Саратовского государственного университета профессор Константин Александрович Леонтьев, организатор научно-исследовательской лаборатории и неутомимый руководитель института, посвятивший это-

му делу 15 лет своей недолгой, но ярко научной жизни.

Сын народного учителя, К. А. в 1911 г. окончил физико-математический факультет Московского университета. Кандидатское сочинение К. А., за которое им была получена золотая медаль, было написано на тему «Теория магнито-оптических явлений», предложенную проф. П. Н. Лебедевым. В дальнейшей намечалось оставление К. А. при университете. Но это не состоялось, так как весной 1911 г. П. Н. Лебедев со своими учениками ушел из университета в виде протеста

<sup>1</sup> Статья подготовлена к печати О. Г. Данке. Сноски написаны В. М. Аникиным.



против политики, проводившейся министром Кассо, и начал организацию новой физической лаборатории. Главным помощником П. Н. Лебедева в этом трудном деле являлся П. П. Лазарев<sup>2</sup>, тогда профессор физики в университете им. А. Л. Шанявского<sup>3</sup>. С начала 1911 г., в физиче-

<sup>2</sup> **Лазарев Петр Петрович** (1878 – 1942) – физик, биофизик и геофизик. Первый советский академик (с 1917). В 1901 г. окончил медицинский факультет Московского университета. В 1903 сдал экзамены на степень доктора медицины и одновременно (экстерном) экзамены за физико-математический факультет. В 1904 г. окончательно оставил медицину и начал работать в университетской физической лаборатории у П. Н. Лебедева. В 1911 г. П. Н. Лебедев и П. П. Лазарев в знак протеста против политики тогдашнего министра народного просвещения Л. А. Кассо ушли из Московского университета и организовали в Москве физическую лабораторию. После смерти П. Н. Лебедева в 1912 г. П. П. Лазарев руководил физической лабораторией в университете им. А. Л. Шанявского. Организатор и первый редактор журнала «Успехи физических наук» (1918), организатор и директор первого в России Института физики и биофизики (1919–1931). Вице-президент VI Всесоюзного съезда физиков (1928) с участием ведущих зарубежных ученых, будущих Нобелевских лауреатов.

<sup>3</sup> **Московский городской народный университет им. А. Л. Шанявского** – негосударственное высшее учебное заведение, существовавшее в Москве в 1908–1920 гг. Учрежден на средства золотопромышленника, генерал-майора в отставке Альфонса Леоновича Шанявского (1837–1905). Эпопеи открытия народного университета в Москве и Саратовского Императорского университета (1909) весьма сходны по тем трудностям, которые пришлось преодолеть для достижения результата. Законопроект об открытии народного университета был принят Государственной Думой и Государственным Советом России 3 и 18 июня 1908 г. при содействии П. А. Столыпина. Император Николай II законопроект утвердил 26 июня 1908 г. Согласно уставу, университет находился в ведении Московской городской думы и не входил в систему учреждений Министерства народного просвещения. Огромную популярность университету обеспечили свобода поступления, небольшая плата за обучение, а также высокий уровень преподавания, сопровождавшийся насыщенностью учебных планов и высокой требовательности преподавателей. Как писал в газете «Русские ведомости» от 13 сентября 1912 г. заместитель председателя Попечительского совета университета Н. М. Кулагин, «быть преподавателем университета им. А. Л. Шанявского считают за честь выдающиеся ученые силы». В числе преподавателей университета были В. И. Вернадский, П. Н. Лебедев, П. П. Лазарев, С. А. Чаплыгин, Н. Д. Зелинский, И. А. Каблуков, В. А. Кистяковский, К. А. Тимирязев и другие известные ученые России. Университет обладал хорошей лабораторной базой, в которую входили физическая, кристаллографическая, биологическая лаборатории, лаборатория органической химии и количественного анализа. Примечательно, что в работе физического научного семинара в университете им. Шанявского принимали участие преподаватели различных высших учебных заведений.



ской лаборатории университета Шанявского, помещавшейся в то время в д. № 14 по Волхонке (ныне Комакадемия), К. А. начинает под руководством П. П. Лазарева научную работу по исследованию температурного скачка в разреженном газе, являвшуюся развитием работ самого П. П. Лазарева и примыкавшую по идее к циклу исследований лебедевской школы. Обладая прекрасными математическими способностями, выдающейся памятью и несомненным талантом экспериментатора, К. А. сразу выделился тогда среди начинающих физиков. Многочисленные его доклады на коллоквиумах в лебедевской лаборатории и в университете Шанявского, посвященные обзорам труднейших теоретических работ, ярко обрисовывали исключительные способности К. А.

Осенью 1911 г. Лебедевым была организована, также при университете Шанявского, новая Физическая лаборатория в подвале дома № 20 по Мертвому пер., и К. А. был приглашен туда в качестве лаборанта. Здесь он продолжал уже ранее начатую им под руководством П. П. Лазарева работу по исследованию температурного скачка. Начало работы К. А. в Лебедевской лаборатории в Мертвом пер. совпало с тяжелой болезнью П. П. Лебедева, скончавшегося 1 марта 1912 г. Хотя таким образом, К. А. не работал под непосредственным руководством П. П. Лебедева, научные традиции Лебедева, который сам не боялся никаких экспериментальных трудностей и внушал своим ученикам, что физик должен своими руками уметь изготовить все для своей работы, были навсегда усвоены К. А. и дали ему необходимые силы в труднейших работах. К. А. уже тогда прекрасно умел владеть токарным и стеклодувным делом, вполне изучил практическую оптику и фотографический процесс во всех его деталях.

В 1913 г. появляется первая научная работа К. А. – «О скачке температуры на границе газа и поглощающей стенки». Эта работа, связанная с серьезными экспериментальными трудностями, была прекрасно выполнена К. А. и показала вместе с тем, что в двадцать три года он являлся уже сложившимся научным работником. В 1915 г. К. А. был привлечен П. П. Лазаревым к работе по организации при Земгоре<sup>4</sup> производ-

ства медицинских термометров. Работая днями и ночами, то как физик, то как стеклодув, К. А. блестяще справляется с порученным делом и в кратчайший срок создает производство термометров, до того времени являвшееся заграничным секретом.

В 1918 г. К. А. был приглашен в качестве преподавателя в Саратовский университет, где в 1921 г. был утвержден профессором и заведующим Физическим институтом.

Невольно вспоминается это время, время, когда помещения научной лаборатории были пусты и безжизненны. Это было наследство, оставленное тяжелыми годами войны, и нужно было обладать исключительной энергией, работоспособностью и любовью к делу, чтобы заставить в то время забиться здесь научную жизнь.

Создать трудовую атмосферу, приучить не бояться самых тяжелых условий работы и при нужде самому стать за станок – таков был метод К. А. Он сам всегда служил примером этому, работая порой ночами, сам принимая участие в первый трудный период жизни лаборатории в ремонте и изготовлении нужной аппаратуры и, вместе с тем, постоянно делясь с сотрудниками своими исключительно разносторонними познаниями, своими планами научной работы, своими стремлениями. Привлекали к нему и этот метод, и эта манера работы.

К 1924 г. во вновь организованной лаборатории уже были выполнены 10 научно-исследовательских работ, а в ближайшие, последующие годы лаборатория продолжала быстро расширяться, сосредоточив свою деятельность, главным образом, на вопросах электромагнитных колебаний, составляющих основное ее направление.

Выполненное К. А. в 1924 г. исследование детектирующего действия газа в кольцевом безэлектродном разряде и параллельно поставленное под его руководством исследование детектора Шлемильха приводят К. А. к теоретическому исследованию явления детектирования и изучению режима колебательных контуров. Результатом этих работ является предложенный К. А. оригинальный метод определения диэлектрических постоянных жидкостей в незатухающих волнах. Последняя работа тесно примыкала к поставленным в то же время большим исследованиям магнитной восприимчивости и магнитного вращения плоскости поляризации двойных жидких

<sup>4</sup> **Земгор** – сокращенное название Главного по снабжению армии комитета Всероссийских земского и городского союзов. Функционировал в 1915–1918 гг. на базе земств и городских дум как посредническая структура по распределению государственных оборонных заказов.



систем (проф. Трифонов<sup>5</sup>), а также изучению некоторых физико-химических свойств этих систем. Все эти исследования образовали цикл работ, приведших к интересным результатам и выяснивших возможность применения некоторых методов в области физико-химического анализа. Дальнейшая разработка метода К. А. давала право предполагать применимость его для изучения диэлектрических постоянных газов, что и было подтверждено специальным исследованием. В развитие всего этого направления проводится испытание метода определения диэлектрических постоянных в незатухающих дециметровых волнах и предпринимается ряд предварительных работ по изучению режима генераторов ультракоротких и дециметровых волн, составивших впоследствии самостоятельный цикл. Одним из этих исследований было установлено подобие картины поля вблизи лампового генератора с длиной волны в 4 м со звуковым полем камертона, что было впоследствии объяснено в отдельном теоретическом исследовании, другое выяснило не менее интересную картину поля генератора, работающего на значительно большей длине волны.

Одновременно с этим К. А. весьма изящным экспериментальным методом проводит исследование звуковых полей, выясняющее все

<sup>5</sup> **Трифонов Николай Александрович** (1891–1958) – физико-химик, профессор, доктор химических наук (1940). Родился в Санкт-Петербурге. В 1909 г. окончил реальное училище в Новгороде и поступил в Петербургский политехнический институт, где учился у Н. С. Курнакова, В. А. Кистяковского, П. П. Федотьева, А. Ф. Иоффе, А. А. Байкова. В 1917–1919 гг. заведовал лабораторией Петроградского областного комитета по снабжению Красной Армии. С 1919 г. работал на кафедре неорганической и физической химии, а с 1923 г. – на кафедре физики Саратовского университета. В 1928 г. утверждён в звании профессора и приглашён заведовать кафедрой неорганической и физической химии Пермского университета. В 1933–1936 гг. находился в Ухто-Печорском лагере, где привлекался к работам по извлечению радия из природных вод. Затем работал в автодорожных институтах Москвы и Саратова. В 1939–1945 гг. заведовал кафедрой физической и коллоидной химии Ростовского университета. С 1945 г. – заведующий кафедрой физической и коллоидной химии Казанского университета и одновременно заведующий сектором физической химии Казанского филиала АН СССР. В 1947 г. тяжело заболел. Н. А. Трифонов создал научную школу в области физической химии концентрированных растворов и физико-химического анализа. Как отмечается в Ежегоднике Института органической и физической химии им. А. Е. Арбузова Казанского научного центра РАН за 2003 г., Н. А. Трифонов – «типичный представитель потомственной русской интеллигенции, оставивший добрую память о себе и благодарных учеников в университетах Саратова, Перми, Ростова».

тонкости дифракционной картины в поле звукового излучателя. Несколько работ, посвященных изучению режима коротковолновых колебаний, дали возможность значительно уменьшить длину волны, применить установку для измерения диэлектрических постоянных жидкостей в диапазоне дециметровых волн, установить некоторые незамеченные до тех пор интересные закономерности в распределении областей колебаний, а также отметить своеобразные типы характеристических поверхностей ламп.

Отнюдь не будучи чужд запросам практики и техники, К. А. постоянно поддерживал самую тесную и живую связь с целым рядом научно-исследовательских учреждений и промышленно-хозяйственных организаций, не забывая той практической пользы, которую могла бы принести для них работа физического института. Область быстро развивающейся радиотехники и методики электроизмерений поглотила солидную долю внимания К. А., и как им самим, так и под его руководством в лаборатории было выполнено большое количество конструктивных расчетов и технических испытаний в этих областях и при его же ближайшем участии его учениками был впервые в СССР поставлен ряд серьезных опытов по выработке наиболее простого метода и аппаратуры для электротермометрических, сигнализационных устройств; последнее направление работ привело теперь к организации соответственного производства и возможности освобождения в этом отношении от импортной зависимости.

С большой любовью и вниманием всегда относился К. А. к вопросам преподавания, стремясь поставить на должную высоту работу студенческой лаборатории и демонстрационную часть кафедры, живо интересуясь всем, что касалось этого, и сам постоянно участвуя в постановке или просмотре какой-либо новой лабораторной задачи или нового демонстрационного опыта. К 1926 г. физический практикум по количеству и серьезности задач мог считаться одной из лучших университетских лабораторий.

В 1930 г. К. А. организует в Саратовском университете радиотехническую лабораторию.

В последние годы жизни (1929–1932) К. А. уделял много внимания и энергии литературной работе. Им был составлен учебник «Физические основы радиотехники», образцово переведена блестящая книга Поля «Введение в механику и акустику». Последней его литературной работой



был перевод книги Пешля, Эвальда и Прандтля «Физика упругих и жидких тел», который он заканчивал уже будучи совершенно больным.

На всем протяжении своей кипучей, много-сторонней деятельности К. А. жил жизнью ин-ститута, интересовался каждой мелочью этой жизни, и нельзя обойти молчанием неизменно дружеского отношения его к каждому из сотрудни-ков лаборатории и заботливого стремления обеспечить их научные занятия созданием не-обходимых условий, на которые иной раз обра-щают, к сожалению, так мало внимания.

Смерть прервала жестоким ударом эту нужную и ценную жизнь крупного ученого и та-лантливого организатора, но в душе всех близко знавших Константина Александровича навсегда останется светлое воспоминание о дорогом учи-теле и товарище, о милом «дяде Косте».

Из научно-исследовательской лаборато-рии физического института за время с 1920 по 1931 год вышло около 40 научных работ, сде-ланных как им самим, так и его учениками и сотрудниками. Ниже приводится полный список работ К. А. Леонтьева.

#### СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ К. А. ЛЕОНТЬЕВА

##### А. Научные исследования

1. О скачке температуры на границе газа и поглоща-ющей стенки. «Журн. Русск. физ.-хим. о-ва». 1913.
2. Расчет и конструкция ртутного термометра. «Изве-стия Всероссийского земского союза, 1913».
3. Перегонный аппарат для ртути.
4. Спектральное распределение чувствительности фотогальванического элемента Беквереля. Журнал «Культура». Саратов. 1922.

5. К теории контактного детектора. «Учен. записки Гос. Саратов. унив.», т. 1, 1923.
6. Экспериментальное исследование дифракции звука. «Жур. Русск. физ.-хим. о-ва», 1925.
7. Исследование точности звуковой пеленгации на ударах.
8. Исследование точности звуковой пеленгации на не-прерывном звуке в Военно-инж. управлении и отделе спец. работ.

Последние две работы выполнены в Отделе специ-альных работ ГФТИ и опубликованию не подлежат.

##### В. Научно-популярные статьи, переводы и учебные пособия

9. Перевод книги Филлипс. – Излучение. Москва, 1915.
10. Перевод книги Содди. – Материя и энергия. Москва, 1915.
11. Теплоемкость твердого тела и атомное строение энергии. Журн. «Природа». Москва, 1915.
12. Температура и ее измерение. 1-е изд. 1920, 2-е изд. 1922. Москва.
13. Физические основы радиотехники. Москва, ГТТН, 1932.
14. Перевод книги Р. Поль. – Введение в механику и акустику. Москва, ГТТИ, 1932.
15. Перевод книги Пешль, Эвальд, Прандтль. – Физи-ка упругих и жидких тел. ГТТИ, Москва, 1932 (в печати)<sup>6</sup>.
16. Краткое сообщение о работах Физического инсти-тута Саратовского университета, сделанных под руководством К. А. Леонтьева, имеется в «Сообще-ниях о научно-технических работах в Республике», стр. 8, вып. XIII, 1924 г. Ленинград, Издание НТС ВСНХ.

<sup>6</sup> Книга вышла в 1933 г.: Пешль Т., Эвальд П., Прандтль Л. Физика упругих и жидких тел / пер. с нем. К. А. Леонтьева. М. : Государственное технико-теорети-ческое изд-во, 1933. 325 с.



УДК 53(091), 53(092), 378.4

## ПЁТР ВАСИЛЬЕВИЧ ГОЛУБКОВ: Страницы биографии в контексте истории физического факультета и университета

Б. С. Дмитриев

Саратовский государственный университет  
E-mail: DmitrievBS@info.sgu.ru

Страницы истории физического факультета Саратовского университета и воспоминания о профессоре Петре Васильевиче Голубкове (1899–1973).

**Ключевые слова:** Саратовский государственный университет, физический факультет.

**Petr V. Gulubkov:**  
**Pages of Biography in Context of Physical Faculty  
and University History**

**B. S. Dmitriev**

Pages of the history of Physical Faculty of Saratov State University and memories about professor Peter Vasilievich Golubkov (1899–1973) are presented.

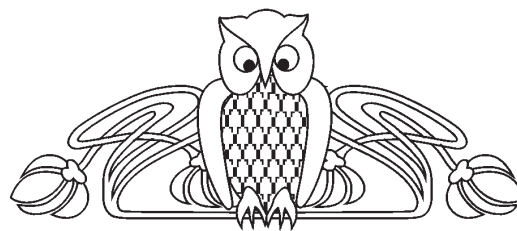
**Key words:** Saratov State University, Physical Faculty.

### *Mens agitat molem – Ум двигает массу*

На фасаде 3-го корпуса СГУ установлены мемориальные доски с барельефами Владимира Дмитриевича Зёрнова, Петра Васильевича Голубкова и Владимира Николаевича Шевчика – учёных, в значительной степени определявших развитие физики в Саратовском университете в различные годы. Данные заметки посвящены П. В. Голубкову, встреча с которым в моей судьбе определила многое. Писать об этом удивительном человеке – довольно ответственная задача. В основе этого изложения лежат документальные факты, но присутствует и авторская «аранжировка», основанная на личном общении и воспоминаниях коллег.

### Начало биографии

24 января (по новому стилю) 1899 г. в простой саратовской семье родился мальчик, которого в честь деда (крепостного крестьянина) называли красивым русским именем – Петр. Его отец Василий Петрович, приписанный к мещанам г. Москвы, после окончания технического училища получил работу техника на Рязано-Уральской железной дороге и в 1898 г. переехал с женой Марией Петровной в Саратов.



Когда Пете Голубкову исполнилось 10 лет, в Саратове произошло поистине историческое событие – был открыт Императорский Николаевский университет, в котором уже в сентябре 2009 г.



начались лекции по физике. Читал их молодой 30-летний профессор, потомственный дворянин и интеллигент, великолепный Владимир Дмитриевич Зёрнов. Читал блестяще и обязательно с демонстрационными опытами. За полгода до этого В. Д. Зёрнов защитил диссертацию, которую выполнил под руководством знаменитого профессора Московского университета П. Н. Лебедева. Может быть, именно в эти годы и зарождалось фундаментальное физическое образование в Саратовском университете?!

В 1917 г. П. В. Голубков закончил I мужскую гимназию и в том же году был зачислен студентом только что открытого актом Временного правительства физико-математического факультета Саратовского университета, первым деканом которого был избран В. Д. Зёрнов. В сентябре 1918 г. Голубков вынужден прервать очное обучение, поскольку был призван на службу агентом особого железнодорожного учета Управления Рязано-Уральской железной дороги. С января 1921 г. он продолжил учебу в университете, который окончил в 1923 г. по специальности «Экспериментальная физика» (физика электромагнитных колебаний) с представлением работы «О некоторых вопросах электронной теории металлов Дебая». Эта работа по решению Ученого совета СГУ была «признана достойной напеча-



ния» и лишь по техническим причинам не была опубликована. Одновременно с возвращением на учебу в университет в 1921 г. Пётр Голубков был зачислен на должность сверхштатного лаборанта кафедры физики университета.

#### **Рядом с К. А. Леонтьевым**

В 1922 г. руководителем коллектива физиков становится ученик лебедевской школы Константин Александрович Леонтьев, избранный профессором, заведующим кафедрой физики и заведующим Физическим институтом.

Для П. В. Голубкова начались счастливые годы рядом с учителем – незаурядным человеком с широкой эрудицией, оригинальностью взглядов и идей, талантливым экспериментатором. С октября 1926 г. в течение трех лет П. В. Голубков – штатный аспирант кафедры физики СГУ. В этот период он занимает самые разнообразные должности: лаборант кафедры физики железнодорожного политехникума (сентябрь 1923 г. – апрель 1925 г.), ассистент по курсу физики при медицинском факультете СГУ (апрель 1925 г. – октябрь 1926 г.), после окончания аспирантуры – младший ассистент кафедры физики СГУ (январь 1927 г. – январь 1930 г.), и.о. доцента и заведующий кафедрой физики ветеринарного института (сентябрь 1928 г. – январь 1930 г.), старший ассистент кафедры физики СГУ (январь 1930 г. – октябрь 1930 г.), доцент и заведующий кафедрой физики химического факультета СГУ (октябрь 1930 г. – сентябрь 1931 г.), доцент кафедры общей физики СГУ (сентябрь 1931 г. май 1932 г.).

Физические научные исследования П. В. Голубкова тех лет связаны с направлением леонтьевской школы – генерирование, усиление и применение колебаний сверхвысоких частот. Одна из первых работ по этой тематике опубликована в «Известиях Саратовского общества естествоиспытателей» (1925, том I, вып. 4). Статья посвящалась новому методу измерения диэлектрических постоянных жидкостей на длине волны около 500 м. В статье отмечается, что работа начата в 1923 г. в Физическом институте Саратовского университета на основе идеи заведующего институтом профессора К. А. Леонтьева; измерения емкости производятся на прямолинейном участке резонансной кривой. Генератор был собран на французской лампе «Metall».

Для обеспечения высокой разрешающей способности опыта (диэлектрическая прони-

цаемость измерялась до четвертого знака) всё питание схемы производилось от аккумуляторных батарей, проводники от электродов лампы выполнялись в виде толстой медной проволоки и опускались в ртутные чашки. Жидкость размещалась в термостате. Для исключения помех в цепях питания работа проводилась по ночам (так вот когда начинались традиции «голубковского подвала»). В качестве «штандартной» жидкости использовался бензол. В конце работы выражена благодарность К. А. Леонтьеву за идею метода и старшему ассистенту кафедры физики Н. А. Трифонову за изготовление веществ для исследования. Работа датирована 30 марта 1925 г.

В том же году в «Журнале русского физико-химического общества» (том LVII, вып. 1–2, отв. редактор А. Ф. Иоффе) выходит работа К. А. Леонтьева «Сообщение о научной деятельности Физического института Саратовского университета». В ней приводятся аннотации основных исследований института, где отмечается и работа П. В. Голубкова.

В 1925 г. отмечалось 200-летие со дня основания Академии наук СССР. Этому событию был посвящен специальный выпуск «Учёных записок» университета (1926. Т. V). В сборнике представлено 17 работ ведущих преподавателей университета. Среди авторов был и П. В. Голубков. Его работа была посвящена применению разработанного им метода теперь уже для исследования диэлектрических постоянных газов (на примере пяти газов). Работа носила классический характер и сопровождалась разработкой довольно сложной вакуумной установки для исследования зависимости диэлектрической постоянной от температуры с точностью до седьмого знака.

Результаты этих исследований были доложены на IV съезде Российской Ассоциации физиков. В мае 1926 г. вышел в свет специальный выпуск «Журнала русского физико-химического общества» (часть физическая, том LVIII, вып. 2), посвященный 50-летию научной и профессорской деятельности известного профессора О. Д. Хвольсона с редакторским посвящением: «Данью уважения от лица товарищей, почитателей и учеников пусть будет этот скромный сборник». Выпуск был очень «солидный» по составу авторов (А. Ф. Иоффе, В. К. Аркадьев, В. И. Гапонов, Д. А. Рожанский, Л. И. Мандельштам). Приятно, что в сборнике были представлены и саратовские работы:



К. А. Леонтьев «Экспериментальное исследование диффракции (грамматика оригинала. – Б. Д.) звука» (статья заканчивается словами: «Позволяю себе выразить благодарность П. В. Голубкову за исполнение чертежей»);

Н. А. Трифонов «Магнитное вращение плоскости поляризации двойных систем» (эксперименты по исследованию 10 жидкостей);

П. В. Голубков «Новый метод измерения диэлектрических постоянных жидкостей и газов».

В 1927 г. была подготовлена рукопись П. В. Голубкова «К вопросу об исследовании поля вблизи лампового генератора». Обращает на себя внимание широкий спектр экспериментальных исследований Физического института университета тех далёких лет.

В кратком curriculum vitae (описании жизни) этого периода в личном деле П. В. Голубкова за 1925 г. отражены любопытные моменты его деятельности: член Союза «Рабпрос», член Всероссийской Ассоциации физиков, член-лектор Саратовского объединения радиолюбителей при Губкоме Р.К.П. (по предложению профсекции университета читал курс специальных лекций по электромагнетизму (с техническим уклоном) роте связи подшефной воинской части). В более позднем документе сделана отметка: «Проходил чистку госаппарата в СГУ в 1930 г.», а в личном листке (по кадрам) присутствует вопрос: «1.5. Были ли колебания в проведении линии партии и участие в оппозициях?».

В марте 1931 г. сектор науки Наркомпроса РСФСР отклоняет ходатайство университета о командировке доцента П. В. Голубкова в Германию. Это решение изложено без мотивировок на небольшом листке бумаги, напоминающем по виду квитанцию, в то время как благодарность к Дню 1 Мая имеет довольно обширное пояснение.

Годы совместной творческой работы с К. А. Леонтьевым определили становление П. В. Голубкова как ученого, вузовского педагога, организатора науки. К сожалению, эти годы были недолгими – весной 1932 г. Константин Александрович скоропостижно скончался на 42-м году жизни. Свои чувства уважения и благодарности к К. А. Леонтьеву П. В. Голубков выразил в некрологе, опубликованном в одном из выпусков журнала «Успехи физических наук». В это время Петру Васильевичу было 33 года, фактически учитель и ученик – одно поколение в «хронологическом измерении». Главное, что сделал К. А. Леонтьев в нашем универси-

тете, – воспитал отлично подготовленную в области физики группу учеников, среди которых, прежде всего, можно назвать П. В. Голубкова и В. И. Калинина. Они не только бережно сохранили, но и преумножили славные традиции леонтьевской школы.

### Предвоенные годы

В мае 1932 г. наступил новый период в жизни П. В. Голубкова – он становится и.о. профессора с поручением заведовать кафедрой общей физики. Чуть позже, с июля 1933 г. – он декан физико-математического факультета.

В 1934 г. Саратовскому университету исполнилось 25 лет. В «Сборнике материалов по истории СГУ» (1935 г.) опубликована статья проф. П. В. Голубкова «Кафедра физики». В ней кратко изложена история кафедры, говорится об огромной роли В. Д. Зёрнова и К. А. Леонтьева. В статье описываются и возникшие к тому моменту трудности: в 1930–1931 гг. старые сотрудники кафедры перешли на работу в другие вузы, на кафедре – кризис учебной и научной работы. Состав кафедры 1934 г.: заведующий кафедрой П. В. Голубков, доцент В. И. Калинин, доцент В. И. Немов, ассистент С. А. Суслов, ассистент П. А. Семенов, лаборанты В. Я. Красильников и С. В. Соломонов, старший механик Ф. Ф. Троицкий.

В октябре 1934 г. П. В. Голубков подаёт заявление в дирекцию СГУ с просьбой освободить его от обязанностей декана физмата. Мотивом для этого указаны три обстоятельства: 1) ухудшение здоровья; 2) из-за перегруженности в работе «не в состоянии уделять кафедре нужного количества времени», что «неблагоприятно отражается на всей её работе»; 3) приостановлена личная научная работа. Эта просьба сначала не была удовлетворена, освобождение от должности декана при повторном обращении было проведено в апреле 1935 г.

К концу 30-х гг. в университете в целом идёт интенсивное усиление кадров. Достаточно посмотреть на приказ от января 1938 г. комитета по делам высшей школы Совнаркома СССР – какая «звёздная» когорта заведующих кафедрами: органической химии – В. В. Челинцев, физической и коллоидной химии – Н. А. Шлезингер, исторической геологии – Б. А. Можаровский, общей физики (и.о.) – П. В. Голубков, геометрии (и.о.) – В. В. Вагнер, высшей математики – Г. П. Боев, геоботаники – А. Д. Фурсаев. Все эти имена – гордость Саратовского университета.



И на кафедре общей физики появляются новые специалисты: В. П. Жузе, Г. А. Остроумов, Е. Ф. Гросс, В. Л. Патрушев, З. И. Кирьяшкина, В. Ф. Боголюбов, Н. А. Трифонов, В. П. Фронтасьев, С. И. Сорокин. Среди студентов выделяются Б. М. Заморозков, А. Н. Сус, В. А. Толстиков. Основные направления исследований: построение обобщенной теории СВЧ приборов, применение СВЧ колебаний для исследований вещества, физика полупроводников, применение статистических методов к исследованию СВЧ колебаний, молекулярная физика.

Среди довоенных работ П. В. Голубкова следует отметить статью в «Известиях АН СССР. Сер. Физическая» (1940, том IV, № 3), посвященную обобщенной теории возникновения СВЧ колебаний. В работе теоретически проанализированы схема тормозящего поля, магнетрон со сплошным анодом, электронно-лучевой магнетрон. В конце статьи замечание: «Все указанные качественные выводы подтверждаются экспериментом, данные которого любезно были предоставлены мне В. И. Калининым». Были публикации и в довольно «экзотическом» журнале – «Советское мукомолье». К сожалению, не обнаружено рукописи «Основы статистической физики» объемом 200 страниц, написанная П. В. Голубковым в 1939 г., известно по лекционным курсам, как «изящно» он излагал эти вопросы. Другие работы посвящены исследованию молекулярных явлений.

В 1935 г. Пётр Васильевич утверждается в учёной степени кандидата физико-математических наук. Помимо основной работы в довоенный период П. В. Голубков занимал следующие должности: заведующего кафедрой физики института механизации сельского хозяйства (1935–1937), заведующего отделом физики организованного в 1936 г. НИИ физики, математики и механики (1937–1940), помощник директора СГУ по научной части (1938–1939), заведующий кафедрой физики Медицинского института (1939–1941).

В новогоднем выпуске университетской многотиражки за 1941 г. опубликована небольшая заметка профессора П. В. Голубкова «Большие исследования», в которой отражены основные направления научных исследований кафедры (правда, кафедра названа общей и технической физики, по документам это не прослеживается).

### **В годы войны**

Вся работа университета в годы Великой Отечественной войны, в том числе и научная деятельность кафедры общей физики, была подчинена задаче обороны страны. В эти годы на кафедре выполнено свыше 20 обширных исследований и 300 заданий. Лично П. В. Голубковым выполнено 6 работ по изучению нового вида вооружения, спецаппаратуры (метод исследования скоростей и ускорений некоторых кинематических систем, прибор для определения начальных скоростей в специальных условиях, вязкость смазок при низких температурах и др.) и более 60 заданий.

В феврале 1942 г. Саратовский университет принял преподавателей и студентов эвакуированного Ленинградского университета. С июля 1942 г. по июнь 1943 г. П. В. Голубков снова декан физико-математического факультета, а с июля 1943 г. по ноябрь 1946 г. – проректор по научной работе СГУ. С 1943 г. – член ВКП(б). Активно продолжаются научные исследования. Анализ известных методов генерирования СВЧ колебаний привёл П. В. Голубкова к идее так называемой фазовой фокусировки в электронных потоках. Результаты исследований опубликованы в фундаментальной работе в ЖЭТФ (1944 г.) и послужили материалом докторской диссертации «Некоторые задачи кинематической электронной оптики и проблема генерирования сверхвысоких частот», защищённой на заседании ученого совета Ленинградского университета в январе 1944 г. На этом же заседании совета состоялась защита докторской диссертации В. И. Калининым. В том же году П. В. Голубкову была присвоена учёная степень доктора и учёное звание профессора.

В 1944 г. П. В. Голубков был награжден орденом «Знак почёта» за подготовку квалифицированных кадров в условиях военного времени, в 1945 г. – медалями «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»

### **Послевоенные годы**

Разнообразие научных исследований П. В. Голубкова характерно и для послевоенных лет. Интересны его работы прикладного характера в медицине. Это приборы для диагностики различных заболеваний нервной системы и измерения температуры внутренних органов. Результаты





опубликованы в «Трудах Саратовского медицинского института», журналах «Невропатология и психиатрия», «Бюллетень экспериментальной биологии и медицины» в соавторстве с директором клиники нервных болезней, член-корреспондентом Академии медицинских наук профессором К. Н. Третьяковым. Много работ вышло в специзданиях.

П. В. Голубков проявлял большие организаторские способности, хорошо чувствовал пульс общественной жизни, в трудной ситуации умел находить правильное решение, что сочеталось с целеустремлённостью и принципиальностью. Все эти черты делали его видной фигурой в университете. К тому же он был просто обаятельным и интеллигентным человеком. Поэтому не удивительно, что именно ему было оказано высшее доверие университетской общественности – 16 ноября 1946 г. он стал ректором СГУ. Ректорская деятельность П. В. Голубкова отражена в книге о ректорах СГУ [1]. Отметим только некоторые моменты. Это, прежде всего, усилия по строительству V корпуса и научной библиотеки (уже в ноябре 1946 г. П. В. Голубков решает в Министерстве высшего образования вопрос о включении в новый пятилетний план строительства библиотеки). Такие ректорские «вешки» всегда очень важны для развития Саратовского университета.

Значительным событием в жизни П. В. Голубкова, да и университета в целом, было его выдвижение в кандидаты, а затем избрание в феврале 1947 г. депутатом Верховного Совета РСФСР. Специфика избирательной кампании того времени хорошо прослеживается по областной и университетской прессе (см. [2, с. 79]). Помимо учебной (он продолжал заведовать кафедрой общей физики и читать лекции), научной и административной работы ректор П. В. Голубков много внимания уделял общественной работе. В этот период он был членом бюро Кировского района ВКП(б), членом обкома и горкома ВКП(б), председателем областного отделения Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний. В «Вестнике высшей школы» выходят две его статьи: «Некоторые итоги научной деятельности СГУ» (1948 г.) и «Какой должна быть университетская подготовка» (1946 г., соавторы Н. И. Усов, Г. А. Гуковский). Во второй работе идет полемика с рядом статей об университетском образовании, в частности, авторы выступили против требова-

ния свести задачу университетов исключительно к подготовке педагогов (университеты – это еще и научные учреждения). Приводятся конкретные предложения по учебным планам, говорится о «лекционных излишествах», о праве студентов на выбор спецкурсов и т. п. Есть и такая фраза: «Пусть вся страна знает, что физиков по СВЧ готовит СГУ».

В октябре 1950 г. П. В. Голубков, отказавшись от переизбрания на пост ректора, стал «просто» заведующим кафедрой общей физики и электроники (приказ по управлению университетов об утверждении этой кафедры вышел в мае 1951 г.). Преподавательский коллектив этой кафедры в 1951 г.: проф. П. В. Голубков, доц. С. И. Сорокин, старшие преподаватели Б. М. Заморозков, Ю. Г. Альшулер, С. А. Сулов, В. В. Игонин, В. Ф. Боголюбов, В. Н. Шевчик, Л. Э. Бахрах, А. Н. Сус, ассистенты С. И. Кирьяшкин, Л. В. Штротберггер, Н. К. Варнаков, И. Ф. Тайков.

Вскоре структурные преобразования факультета были продолжены в связи с огромным спросом на физиков. В 1952 г. был открыт радиофизический факультет (спецфак, второй физический факультет) с новыми кафедрами. Первым заведующим кафедры электроники был утверждён (по совместительству) профессор П. В. Голубков. Создаются объединённые научные коллективы для выполнения тем по правительственной тематике (легендарная «Камелия» 1953 г.). Для этого была организована специальная научная лаборатория (1954 г.), впоследствии вошедшая в проблемную лабораторию радиоэлектроники (1957 г.) во главе с П. В. Голубковым. Это была действительно кузница высококвалифицированных кадров отечественной электроники и радиофизики. Не случайно в 1957 г. в Саратове была проведена 2-я конференция по радиоэлектронике Министерства высшего образования СССР (П. В. Голубков – зам. председателя оргкомитета). В апреле 1958 г. Пётр Васильевич становится директором НИИМФ.

В лаборатории радиоэлектроники интенсивно проводились многочисленные исследования, отметим, что значительная доля в них отводилась разработке и созданию экспериментальных образцов приборов, порою уникальных и до сегодняшнего дня, выполненных в университетских мастерских и собранных талантливыми умельцами «подвала» V корпуса. Работы фрезерного, токарного и электроискрового характеров выполнялись на очень высоком



уровне. Существовал определенный «ритуал» распределения часов мастерских по темам. Его проводил в клубах папиросного дыма сам Петр Васильевич. Эти заседания проходили несколько часов, помимо чисто технических вопросов заходил разговор и о физике приборов, но главное – это яростная борьба за часы на станках. Все виды работ скрупулёзно распределялись, и через месяц подводились итоги. Сборка и изготовление приборов – это уже было делом отдельной научной группы. Свет в подвале V корпуса ночами не гас – шла непрерывная откачка приборов и их испытания...

Под руководством Петра Васильевича было выполнено большое количество диссертаций очень обширной тематики учениками различных лет (Красильников, Капустин, Сулов, Фронтасев, Коваленко, Сус, Заморозков, Альтшулер, Катасонов, Бахрах, Шевчик, Кургаев, Будникова, Муравьев и многие другие). П. В. Голубков был также «крестником» очень многих физиков, выступая в качестве первого официального оппонента как доктор наук. Его имя было широко известно и за пределами Саратова, он был рецензентом ВАК, членом сектора электроники Совета по радиофизике и радиотехнике АН СССР. В 1959 г. он был удостоен звания заслуженного деятеля науки РСФСР, а в 1961 г. награжден орденом Ленина.

#### **Голубков – лектор**

Для сотен выпускников физического факультета СГУ Петр Васильевич запомнился именно как прекрасный лектор, стремительно врывающийся в белом халате в «горьковскую» аудиторию (как и при В. Д. Зёрнове, ныне это Большая физическая аудитория), и через несколько минут уже завораживающий совсем молодых слушателей. Студенческая аудитория для него почётна и любима. Голос негромкий, но прекрасная акустика аудитории и абсолютная тишина во время лекции, ясность содержания каждой фразы дают возможность воспринимать этот голос и в последних рядах слушателей. К лекции он готовился, приходил в кабинет задолго до звонка, просматривая написанные карандашом узенькие листочки из обычной тетради в клеточку, сложенные пополам. Заранее подготавливал в «Коллекции» со своим бессменным помощником Леонидом Степановичем Арясовым необходимые демонстрации. Он был лектор-мастер, исключительно глубокое

содержание сочеталось с прекрасной формой изложения, создающей иногда «эйфорию простоты». Лекции демонстрировали сам процесс физического мышления, вскрывали трудности и парадоксы в познании физического мира. Каждый фрагмент имел свою значимость, свою прелесть, которые открывались аудитории. Все это создавало эмоциональную атмосферу на лекции, которая запоминалась на годы и создавала образ alma-mater. На эти лекции приходили разные слушатели, в том числе и с других факультетов.

В разные годы П. В. Голубков читал самые разнообразные курсы лекций: физика электромагнитных колебаний, статистика, электроника, теория поля, квантовая физика, термодинамика и т. д., т. е. фактически все разделы общей и теоретической физики, а также проблемы современной физики. Важно подчеркнуть, что в те далёкие годы многие курсы читались по данным периодической литературы, учебников просто не существовало. И все-таки массе физиков он запомнился по лекциям общего курса физики. Вспомним изумительное изложение классических распределений. Многие помнят, наверное, картинки с разнообразными мишенями, ясное понятие вероятности и сразу же «выход» на распределение Максвелла без утомительной математики. Или рассуждения о «таинственной» энтропии, массе, силе, энергии, фундаментальные понятия поля, среды. Изящная картина поляризации молекул – борьба порядка и хаоса, вероятностная трактовка этого явления. И многое другое... Величие физики в естествознании становилось ясным, а экзамен по изложенным вопросам не превращался у Петра Васильевича в скучную и нервную процедуру. Это было продолжение образования. Деликатность по отношению к студенту – его характерная черта. Студент – главная фигура университета, это кредо наших учителей, мы не можем об этом забывать.

Об этих прекрасных лекциях для первокурсников была публикация в популярном журнале «Смена» (1953, № 3). Здесь также отмечалась удивительная черта Петра Васильевича – страстно вовлекать студентов в науку. В это время он был руководителем университетского научного общества.

Мне посчастливилось некоторое время тесно общаться с Петром Васильевичем при работе над курсом общей физики. Когда ему



трудно стало работать с большой аудиторией, он спешил передать свой опыт. Разрабатывалась и обсуждалась каждая лекция, обычно это было дома у Петра Васильевича, традиционно предлагался чай (он любил к чаю хорошие шоколадные конфеты)<sup>1</sup>. В «Коллекции» накануне лекции подбирались демонстрации, он убеждал «сурового» Леонида Степановича показать тот или иной опыт на лекции «этому молодому человеку». Деликатность, умение тактично поправить и научить, подбодрить, и всё это наряду с поразительно добрым отношением и простотой – эти черты характера Петра Васильевича запомнились навсегда.

### Последние годы жизни

В январе 1969 г. Петру Васильевичу исполнилось 70 лет<sup>2</sup>. Хотя и не было торжественных заседаний, Петра Васильевича сердечно поздравили в ректорате СГУ, где собрались ведущие учёные университета, близкие коллеги и сподвижники. На кафедре общей физики праздник прошел в довольно расширенном составе и в духе российских традиций. Коллектив кафедры подарил П. В. Голубкову ценный для тех времен подарок – транзисторный приемник VEF, на крышке которого и была написана латинская фраза, вынесенная в эпиграф этих заметок, – «*Mens agitat molem*». Он очень радовался, наверное, не столько самому подарку, а этой надписи – смотрел на неё и смеялся. В эти дни я получил на память от Петра Васильевича юбилейный листок со словами «на добрую память от пре-

<sup>1</sup> К сожалению, систематизированные и подготовленные лекционные материалы в связи с болезнью Петра Васильевича и его переездом в Москву к сыну пропали.

<sup>2</sup> По болезни он в 1967 г. ушел с поста директора НИИМФ.

старелого юбиляра». Память искреннюю об этом человеке я пронёс через годы.

В сентябре 1969 г. в связи с резким ухудшением состояния здоровья Петр Васильевич подаёт заявление с просьбой об освобождении от занимаемой должности заведующего кафедрой общей физики, одновременно рекомендуя на этот пост Всеволода Семеновича Стальмахова.

Петра Васильевича не стало 30 марта 1973 г. (как и его учитель К. А. Леонтьев, он скончался в Москве). В Саратов была доставлена урна с прахом. Гражданская панихида памяти Петра Васильевича прошла в любимой им Большой физической аудитории при огромном стечении народа. На могильном камне (на Воскресенском кладбище) простая надпись «П. В. Голубков – физик».

На родной кафедре Петр Васильевич прослужил без двух недель 49 лет, из них возглавлял кафедру 37,5 лет. В личном деле П. В. Голубкова из 136 листов последняя канцелярская запись гласит: «Исключен из списков сотрудников университета в связи со смертью». Но «исключить» из сердца и памяти нельзя. Скольким людям помог этот скромный и деликатный человек – в науке, в образовании, в судьбе! Какой яркий след оставил П. В. Голубков в жизни первого века нашего университета!

### Список литературы

1. Семенов В. Н. Ректоры Саратовского университета. Факты жизни и деятельности. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1999. 304 с.
2. Дмитриев Б. С. Петр Васильевич Голубков // Кафедра электроники, колебаний и волн. Прошлое, настоящее, будущее. Саратов : ГосУНЦ «Колледж», 2002. 162 с.



УДК 53(091), 53(092), 378.4

## БОЛЬШАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ: ЛУЧШАЯ ИЗ ЛУЧШИХ

Д. А. Усанов

О Большой физической аудитории третьего учебного корпуса Саратовского университета.

**Ключевые слова:** Саратовский университет, физический факультет.

**The Great Physical Auditorium: the Best of the Best**

D. A. Usanov

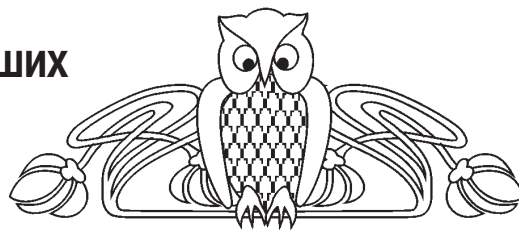
About the Great Physical Auditorium of the Third building of the Saratov University.

**Key words:** Saratov University, Physical Faculty.

Большую физическую аудиторию третьего корпуса СГУ трудно назвать просто помещением для чтения лекций. Это, по-видимому, одна из лучших университетских аудиторий в нашей стране. Спроектирована и сооружена она с большим художественным вкусом и в то же время прекрасно приспособлена для занятий с большими коллективами слушателей. В ней очень хорошие акустика и освещенность, объем аудитории позволяет пребывание слушателей в течение лекции без заметного изменения температуры и состояния воздушной среды. Сохранившиеся с далекого прошлого средства управления электричеством придают ей своеобразие и напоминают об истории ее создания.

Традиционно на протяжении многих десятилетий в этой аудитории читали общие курсы по физике. Первопричиной этого было расположение коллектива физиков в третьем университетском корпусе. Кроме того, многие годы набор студентов на физический факультет был самым многочисленным в СГУ, и на младших курсах была необходимость читать лекции большим группам студентов. В лучшей аудитории, как правило, проводили занятия яркие, талантливые преподаватели – Петр Васильевич Голубков, Михаил Аркадьевич Ковнер, Всеволод Семенович Стальмахов, Александр Давидович Степухович, другие университетские профессора, передававшие свои знания, увлеченность предметом начинающим физикам.

Большая физическая аудитория была и нередко сегодня остается местом встречи коллектива университета с выдающимися учеными, деятелями культуры, местом проведения всероссийских и



международных конференций. Упомянем два значительных события из истории развития физики в нашей стране. Это, прежде всего, заключительное заседание VI Всесоюзного съезда физиков 15 августа 1928 года, организатором которого был академик А. Ф. Иоффе, проводивший в жизнь идею создания центров физических исследований не только в Москве и Ленинграде, но и в других промышленных центрах страны. Студенты и преподаватели университета получили возможность услышать выступления выдающихся зарубежных физиков того времени, а также молодых советских физиков, получивших впоследствии мировую известность и признание.

В 2012 г. студенты и преподаватели СГУ смогли встретиться и пообщаться с выдающимися современными физиками, участниками XX Международного симпозиума «Наноструктуры: физика и технологии», во время их пребывания в Саратове. Среди выступавших в Большой физической аудитории на этой встрече были лауреат Нобелевской премии по физике 2000 г. вице-президент РАН Ж. И. Алферов, директор Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН академик Ю. В. Гуляев, его заместитель член-корреспондент РАН С. А. Никитов, академики РАН Р. А. Сурис и заместитель председателя президиума Дальневосточного отделения РАН Ю. Н. Кульчин.

Научным событием исторического масштаба, связанным с Большой физической аудиторией, является проведение в ней 4 июня 1920 года первого заседания III Всероссийского селекционного съезда. На этом заседании Н. И. Вавилов сделал свой, ставший знаменитым, доклад «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости».

В Большой физической аудитории встречались с коллективом университета писатель А. И. Солженицын, известный актер М. А. Ульянов, многие руководители области и города.

Впереди у Большой физической аудитории – новые поколения студентов-физиков, новые яркие события в науке и общественной жизни.



УДК 53(091). 53(092), 378.4

## ТРЕТИЙ КОРПУС: ПЯТИДЕСЯТЫЕ – НАЧАЛО ШЕСТИДЕСЯТЫХ ГОДОВ XX ВЕКА



А. Г. Роках

Саратовский государственный университет  
E-mail: rokakhag@mail.ru

Автор рассказывает о своей учебе и первых годах работы на физическом факультете Саратовского университета.

**Ключевые слова:** Саратовский государственный университет, физический факультет.

### The Third Building: Fifties – Early Sixties XX Century

A. G. Rokakh

The author tells about his studies and early years of work at the Physics Faculty of the Saratov University.

**Key words:** Saratov State University, Physical Faculty.

Вся моя жизнь в университете, начиная с первой половины 1950-х гг., связана с третьим корпусом. В студенческую пору своей глубиной вдохновляли лекции М. А. Ковнера, оригинальной подачей материала – семинары по электричеству В. Ф. Боголюбова, внимательным и уважительным отношением к нам, студентам, – лабораторные и другие занятия по оптике Н. К. Сидорова и А. Г. Финкеля.

На первом этаже в комнате № 15 располагался физический практикум по электричеству. Второй и третий этажи здания в первой половине 50-х годов занимала научная библиотека университета, книгохранилище которой находилось в подвальном помещении корпуса. После того, как в 1957 г. для библиотеки было построено собственное здание, началось её переселение.

Освободившееся подвальное помещение решили приспособить под лабораторию, для этого, в частности, нужно было провести электропроводку. Её делали открытым способом, на фарфоровых роликах, которые нужно было прикрепить к стенам и потолку. Это была трудная задача: сверло с победитовым наконечником «визжало», но не углублялось в слой штукатурки. По слухам, эту штукатурку при строительстве приготавливали на яичных белках. Ремонтники гадали: а куда девали желтки?! В подвале располагалась химическая лаборатория кафедры физики твердого тела во главе с Ольгой Федоровной Мироновой, где я, учась на третьем и четвертом курсах, приготавливал смеси веществ для определения их

диэлектрической проницаемости. А измерения выполнялись на первом этаже на так называемом «ку-метре», измерителе емкости (или индуктивности) и добротности. Впоследствии вся эта часть подвала была передана в ведение кафедры физики твердого тела и проблемной лаборатории полупроводников, возглавляемых Зинаидой Ивановной Кирьяшкиной.

Работая после окончания университета в качестве лаборанта кафедры, а затем сотрудника НИИ механики и физики, я познакомился с тематикой научной работы кафедры и лаборатории. Поскольку кафедра выполняла работы, проходившие по постановлению Правительства СССР и даже ЦК КПСС, а также хоздоговорные закрытые работы, то на входе в подвал появился вахтер. Им стала любимица всей лаборатории Ольга Алексеевна Кремнёва. Она не хотела сидеть без дела и клеила во время дежурства бумажные пакетики. В них мы складывали полупроводниковые образцы, на которых производились измерения.

Там же при входе в подвал располагалась небольшая механическая мастерская, в которой творил чудеса мастер на все руки Борис Александрович Латиган. Участник Великой Отечественной войны, он к событиям современной ему действительности относился с известной долей юмора. О себе в минуты хорошего настроения он говорил так: я – второй мужчина на факультете, а первый – Леонид Александрович Федосеев. Это был его коллега, который выполнял аналогичные работы на кафедре радиофизики, располагавшейся на втором этаже.

В одной из комнат подвала работала Нина Владимировна Жимская. Она занималась выращиванием монокристаллов германия, а затем и твердых растворов германий-кремний на установке с высокочастотным нагревом. Нина Владимировна успела к тому времени поработать в промышленности и помогала нам, более молодым своим коллегам.

Но вернемся на первый этаж. В левом крыле располагались кафедры теоретической физики



во главе с Александром Самойловичем Шехтером, физики твердого тела во главе с Зинаидой Ивановной Кирьяшкиной и оптики во главе с Марком Львовичем Кацем. Тогда они были доцентами, а впоследствии стали профессорами. На кафедре теоретической физики работали замечательные преподаватели и ученые Михаил Аркадьевич Ковнер и Александр Давидович Степухович, создавшие собственные научные школы. Все эти кафедры относились к Первому физическому факультету.

В «ноге» Т-образного здания 3-го корпуса, как и теперь, помещалась кафедра электроники, которая, как и кафедра радиофизики, относилась ко Второму физическому факультету (декан Борис Михайлович Заморозков). Это разделение на два факультета произошло незадолго до моего поступления в университет (в 1952 г.) и отвечало нуждам оборонной промышленности. Я перешел на Первый физический на втором курсе, проучившись год на мехмате.

Второй и третий этажи занимали кафедры общей физики (заведующий Петр Васильевич Голубков), радиофизики (заведующий Венедикт Иванович Калинин) и электро- и радиотехники (заведующий Владимир Яковлевич Красильников).

Первые пленки сульфида кадмия в Саратове начала получать Валентина Александровна Носова, работавшая под руководством З. И. Кирьяшкиной. Это были поликристаллические фотопроводящие пленки, наносимые термическим испарением в вакууме на неориентирующие подложки. Впоследствии эта технология развивалась в научной группе фотоэлектрических явлений, руководимой автором этих строк, первоначально также в 3-м корпусе.

Первые защиты диссертаций по полупроводниковой тематике (Зоя Ивановна Орнатская и Леонид Иосифович Баранов) состоялись в 1963 г.; за ними последовали в 1964 г. защиты Бориса Николаевича Климова и автора этой заметки. З. И. Кирьяшкина писала кандидатскую диссертацию по другой тематике под руководством ленинградского физика В. П. Жузе, работавшего в Саратове, и защитила её в 1945 г.

Интересно выглядел вход в 3-й корпус: по обеим сторонам вестибюля располагались раздевалки, которые обслуживали и библиотеку, пока она не въехала в собственное здание. Иногда я, будучи студентом, с разрешения гардеробщих оставлял там велосипед, поскольку ездить приходилось издалека. Потом эти раздевалки превратились в помещения кафедры оптики.

В комнате № 14 располагалась учебная лаборатория физики вакуума во главе с Львом Викторовичем Штромбергером. В качестве рабочего вещества в стеклянных пароструйных (диффузионных) насосах использовалась ртуть, которая иногда попадала на пол, и тогда её приходилось собирать с помощью порошковой серы и ... веника. Комнату № 15 занял под оптическую лабораторию Давид Исакович Биленко, возвратившийся в alma mater спустя 6 лет после окончания университета с опытом работы на производстве. Под его практическим руководством в университете началась работа по созданию полупроводниковых диодов сверхвысоких частот. Официальным руководителем и организатором была З. И. Кирьяшкина, имевшая ученую степень.

Автору этих строк пришлось сменить несколько мест обитания, начиная с подвала и кончая комнатами № 2 и № 15. Д. И. Биленко освободил к тому времени комнату № 15, получив под вновь открытую лабораторию микроэлектроники часть недавно построенного химического павильона.

После сдачи в эксплуатацию 8-го корпуса в 1970 г. научная группа, которую я возглавлял, получила в новом корпусе еще и комнату № 44, точнее её большую часть. В 3-м корпусе З. И. Кирьяшкина предложила мне выбор: остаться в 3-м корпусе в комнате № 2 или переехать в комнату № 15. Я выбрал последнее из-за близости к 8-му корпусу.

К концу 50-х – началу 60-х гг. преподаватели и научные работники двух физических факультетов работали или могли работать в Научно-исследовательском институте механики и физики и трех крупных научных лабораториях, имевших самостоятельный университетский и даже более высокий статус – это были Проблемные лаборатории радиоэлектроники, полупроводников и ядерной физики. В 1962 г. к их числу присоединилась и Проблемная лаборатория микроэлектроники. Из них только лаборатория полупроводников располагалась в 3-м корпусе. Тогда среди «полупроводниковиков» лишь З. И. Кирьяшкина имела ученую степень кандидата наук, а на физическом факультете было всего три доктора наук: Петр Васильевич Голубков, Венедикт Иванович Калинин и Владимир Леонидович Патрушев. Все они размещались в 3-м корпусе, цитадели физической науки в Саратове и за его пределами, в соответствии с надписью на его фронтоне.



## PERSONALIA

УДК 53(091), 53(092)

### ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ УСАНОВ (К 70-летию со дня рождения)

**В. М. Аникин**

Саратовский государственный университет  
E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru

Приводится краткая биография заведующего кафедрой физики твердого тела Саратовского университета профессора Д. А. Усанова.

**Ключевые слова:** Саратовский университет, кафедра физики твердого тела.

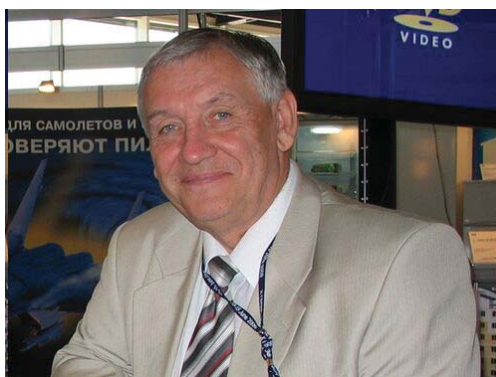
**Dmitry A. Usanov (To the 70-Anniversary from Birthday)**

**V. M. Anikin**

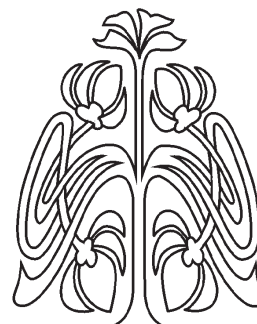
A brief biography by Prof. Dmitry A. Usanov, the head of Solid State Physics Department of Saratov University, is given.

**Key words:** Saratov University, Solid State Physics Department.

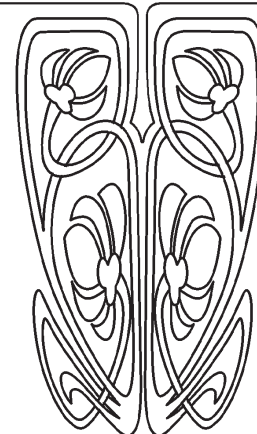
24 июля 2013 г. исполнилось 70 лет Дмитрию Александровичу Усанову – заслуженному деятелю науки Российской Федерации, доктору физико-математических наук, профессору, заведующему кафедрой физики твердого тела Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского.



Д. А. Усанов родился в г. Менделеевске (ныне Республика Татарстан) в семье талантливого инженера и организатора промышленного производства, изобретателя Александра Ивановича Усанова. Сделав осознанный выбор вуза, с отличием окончил физический факультет Саратовского госуниверситета в 1965 г. Работал затем инженером на одном из предприятий электронной промышленности г. Саратова. Свою жизнь в науке Д. А. Усанов начал в аспирантуре под руководством доцента Леонида Иосифовича Баранова и профессора Зинаиды Ивановны Кирьяшкиной. В 1972 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Физика полупроводников и диэлектриков», а в 1989 г. – диссертацию на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности «Радиофизика, включая квантовую радиофизику». В 1990 г. ему было присвоено ученое звание профессора по кафедре физики твердого тела.



ПРИЛОЖЕНИЯ





Дмитрий Александрович прошел буквально все принципиальные преподавательские и административные ступеньки по «служебной лестнице» в СГУ: старший научный сотрудник, заведующий лабораторией НИИ механики и физики при СГУ, доцент, заместитель декана физического факультета по научной работе, профессор. С 1985 г. по настоящее время Д. А. Усанов является заведующим кафедрой физики твердого тела СГУ. С 1989 по 2000 г. и с октября 2003 г. по июль 2013 г. Д. А. Усанов в «командах» трех ректоров СГУ (А. М. Богомолова, Д. И. Трубецкова и Л. Ю. Коссовича) успешно, со знанием всех необходимых нюансов работал проректором СГУ по научно-исследовательской работе, неоднократно временно исполняя обязанности ректора.

Как заведующего кафедрой и проректора по НИР, его всегда отличал и отличает ярко выраженный инновационный «тренд». Он активно поддерживал и поддерживает стратегию инновационного развития научных исследований в университете в условиях современной экономики, выбора для решения по-настоящему актуальных для региона и страны научных и технических задач. Он организовал ряд инновационных структур на базе университета; осуществляет руководство хозяйственными и бюджетными научно-исследовательскими работами с обязательным неформальным практическим внедрением результатов.

Д. А. Усанов много сделал для продвижения университета в верхние строчки вузовских рейтингов. Он непосредственный разработчик важных, получивших солидную государственную поддержку программ научно-образовательного развития СГУ и Саратовского региона – программ развития образования и науки в Саратовской области на 1997–2000 и 2001–2005 гг., программы инновационного развития Саратовского государственного университета на 2007–2009 гг., программы развития СГУ в статусе Национального исследовательского университета.

Д. А. Усанов – авторитетный в России и известный за рубежом ученый, активно, профессионально и креативно работающий на стыке твердотельной электроники, физической электроники, радиофизики, лазерной физики и оптики, в том числе и в их разнообразных приложениях. Он является руководителем сформированной им научной школы по твердотельной электронике. Под его руководством защищено 54 кандидатских и 8 докторских диссертаций. Научная квалифи-

кация и научный кругозор Д. А. Усанова, неизменное стремление повысить прикладную значимость исследований позволяют ему выполнять научные работы и руководить соискателями ученых степеней как по «основному профилю», так и в областях биомедицинских исследований, решения образовательных и социальных проблем.

Главная тематика научных исследований Д. А. Усанова связана с обнаружением и изучением новых физических эффектов и закономерностей физических процессов в твердотельных структурах (электродинамические системы, кристаллы, слоистые структуры, композиты), устройствах и приборах (диоды различных типов, транзисторы, полупроводниковые генераторы и преобразователи и т.п.) под действием различных физических факторов (электромагнитных и оптических излучений различных мощности и спектрального диапазона) и в разнообразных физических условиях (например, с учетом микро- и наносмещений); разработка на этой основе как новых бесконтактных методов измерения параметров твердотельных структур, в том числе посредством ближнеполевой СВЧ микроскопии, так и новых приборов и устройств. Приборы, созданные на основе разработок Д. А. Усанова, внедрены в промышленности, в том числе выпущены в виде серий. Предложенные им новые технологии, способы измерений, приборы и программы для ЭВМ защищены 174 авторскими свидетельствами и патентами. Изобретательство – любимый конёк Дмитрия Александровича. «Безотказные» успехи на этом поприще обусловлены, в частности, и тем, что он может оценивать свои работы с позиции внешнего эксперта.

В активе Дмитрия Александровича – фундаментальное открытие многодоменного режима функционирования диода Ганна, создание измерителей параметров наноструктур, новые конструкторские решения ближнеполюсного СВЧ микроскопа, превосходящего по своим характеристикам зарубежные аналоги, эффективное решение проблемы прежде трудно лечимого заболевания глаз (нистагма), биоэкологические датчики и т.п.

Оригинальные научные результаты исследований Д. А. Усанова за последние 10 лет опубликованы в 7 монографиях [1–7]. Всего им опубликовано около 300 научных статей в центральной отечественной и зарубежной печати, полученные результаты доложены на многочис-





ленных научных конференциях международного и общероссийского рангов.

За разработку и внедрение новых типов приборов, созданных на основе своих изобретений, Д. А. Усанов награжден тремя серебряными и одной бронзовой медалями Выставки достижений народного хозяйства СССР, медалью Всероссийского выставочного центра «За успехи в научно-техническом творчестве», Почетным знаком Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, более 30 золотыми медалями и Гран-при на международных выставках и ярмарках изобретений и инноваций в Москве, С.-Петербурге, Париже, Брюсселе, Женеве, Лионе, Сеуле, Салатине, Саратове и других городах, а также двумя золотыми медалями Международной федерации ассоциаций изобретателей на Европейском (Нюрнберг, 2007) и Всемирном (Сучжоу, 2008) конкурсах изобретателей.

С 1990 г. Д. А. Усанов является председателем совета по защите докторских и кандидатских диссертаций на базе СГУ по специальностям «Радиофизика», «Физическая электроника», «Оптика» и «Твердотельная электроника». Он также член диссертационных советов на базе СГУ и Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А. по специальностям «Лазерная физика», «Биофизика» и «Математическое моделирование». Как председателя и члена диссертационных советов его отличают научная эрудиция, проникновение в сущность представленной диссертации и строгая взыскательность к качеству защищаемых работ.

Научно-организационная деятельность Д. А. Усанова также связана с членством в Президиуме Международной академии наук высшей школы (МАН ВШ), Российской академии естественных наук (РАЕН), с исполнением обязанностей заместителя главного редактора журналов «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика» и «Известия Саратовского университета», члена редколлегии журналов «Известия вузов. Электроника», «Физика волновых процессов и радиотехнические системы».

Естественно, особое место в деятельности Д. А. Усанова занимает учебный процесс. Он многие годы является членом Учебно-методического объединения Министерства образования и науки РФ по направлению «Электроника и микроэлектроника» и специальности «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы»,

экспертом по оценке качества образования Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки.

При его инициативном участии в СГУ еще в 90-е годы началась подготовка магистров по направлению «Электроника и микроэлектроника», открыта подготовка специалистов по медицинской физике, инноватике. В 2005 г. кафедра физики твердого тела вошла в состав нового факультета СГУ – факультета нано- и биомедицинских технологий как ведущая кафедра этого факультета. Сейчас работа кафедры полностью перестроена под двухуровневый (трехуровневый, с учетом аспирантуры) формат высшего образования. Кафедру характеризует активное развитие, устремленное на решение отвечающих времени педагогических и научных задач. На базе кафедры физики твердого тела создан научно-производственный и образовательный комплекс «Измерительные системы для микро- и наноэлектроники, машиностроения, медицины», руководимый Д. А. Усановым. Кафедра поддерживает профиль подготовки бакалавров «Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем» и магистерскую программу «Диагностика нано- и биомедицинских систем» по направлению подготовки «Электроника и наноэлектроника». Дмитрий Александрович ведет базовые курсы по квантовой теории твердого тела, физике полупроводников, твердотельной электронике, физическим принципам работы твердотельных СВЧ-устройств. Он является автором 19 учебных пособий, 4 из которых рекомендованы для использования в учебном процессе Министерством общего и профессионального образования РФ и Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области радиотехники, биомедицинской техники и автоматизации.

Научные и образовательные заслуги Дмитрия Александровича Усанова нашли признание и отмечены государственными и общественными отличиями. Он награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством 2-й степени» (2003). Ему присвоены почетные звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» (1998) и «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (2003). В 2000 г. ему присуждена Государственная научная стипендия РАН. Он избран почетным профессором Саратовского государственного университета (2008) и почетным доктором Башкирского государственного



университета (2009), награжден памятной медалью в честь 100-летия СГУ.

Среди многочисленных ведомственных отличий Д. А. Усанова – знаки «Отличник изобретательства и рационализации» (1983), «Лучший изобретатель Саратовской области» (1980, 1987), медали МАН ВШ «За заслуги перед высшей школой» и Федерации независимых профсоюзов РФ «100 лет профсоюзам России». За научные и инновационные достижения мирового уровня Дмитрий Александрович награжден орденами Командора и Офицера Королевства Бельгия.

Дмитрий Александровича отличают одновременно тонкое понимание в государственном масштабе всех современных проблем, стоящих перед отечественными наукой и образованием, и системного характера Alma Mater, житейская и «корпоративная» мудрость, университетские достоинство и менталитет. Он целеустремленный и трудолюбивый (в выходные его лучше искать в библиотеке), но не «узкодиапазонный» человек, чьи интересы концентрируются вблизи одной «спектральной линии». В молодости он с редкой успешностью занимался гребным спортом и, став мастером спорта СССР, участвовал в соревнованиях на первенствах страны и спортивных обществ наряду с олимпийскими чемпионами. Он может поразить собеседника своими литературными, философскими, историческими и социологическими познаниями. «Усановские» формулировки «на тему дня», юмор и ирония, как правило, запоминаются и достигают «цели».

У Дмитрия Александровича – трое детей: сын Андрей и дочери-близнецы Анастасия и

Лидия. Все трое – кандидаты физико-математических наук. Как и отец, они заряжены на научные и инновационные результаты. Так что можно сказать, что научная династия Усановых состоялась.

#### Список литературы

Усанов, Д. А. Физика полупроводниковых радиочастотных и оптических автодинов [Текст] / Д. А. Усанов, Ал. В. Скрипаль, Ан. В. Скрипаль. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2003. – 312 с.

Усанов, Д. А. Методы исследования и коррекции движений глаз при нистагме автодинов [Текст] / Д. А. Усанов, Ал. В. Скрипаль, Т. Б. Усанова. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. – 116 с.

Методы и аппаратура для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы по характеристикам пульсовой волны [Текст] / Д. А. Усанов [и др.]. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. – 96 с.

Усанов, Д. А. Ближнеполевая сканирующая СВЧ-микроскопия и области ее применения [Текст] / Д. А. Усанов. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2010. – 100 с.

Усанов, Д. А. Эффекты ближнего поля в электродинамических системах с неоднородностями и их использование в технике СВЧ [Текст] / Д. А. Усанов, С. С. Горбатов. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. – 392 с.

Усанов, Д. А. Пути повышения долговечности и эмиссионной способности катодов и катодно-сеточных узлов в электровакуумных приборах СВЧ [Текст] / Д. А. Усанов, И. П. Мельникова, В. В. Муллин. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. – 204 с.

Усанов, Д. А. Биорадиолокация / Д. А. Усанов, Ал. В. Скрипаль, Ан. В. Скрипаль [и др.] / под ред. А. С. Бугаева, С. И. Ивашова, И. Я. Иммореева. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 396 с.

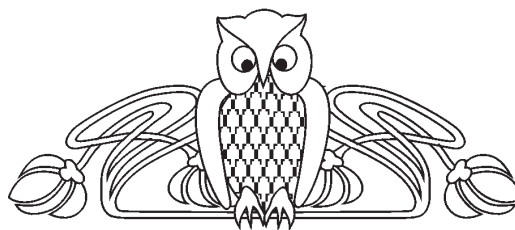


УДК 53(091), 53(092)

## ВАДИМ СЕМЕНОВИЧ АНИЩЕНКО (К 70-летию со дня рождения)

**В. М. Аникин**

Саратовский государственный университет  
E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru



Приводится краткая научная биография заведующего кафедрой радиофизики и нелинейной динамики Саратовского университета профессора В. С. Анищенко.

**Ключевые слова:** Саратовский университет, физический факультет.

**Vadim S. Anishchenko  
(To the 70-anniversary from Birthday)**

**V. M. Anikin**

A brief scientific biography by Prof. Vadim S. Anishchenko, the head of Department of Radiophysics and nonlinear dynamics of Saratov University, is given.

**Key words:** Saratov University, Physical Faculty.

21 октября 2013 г. исполнилось 70 лет заслуженному деятелю науки Российской Федерации, доктору физико-математических наук, профессору, заведующему кафедрой радиофизики и нелинейной динамики физического факультета Саратовского государственного университета, лауреату международной научной премии по физике Фонда им. Александра Гумбольдта, основателю научной школы по нелинейной динамике Вадиму Семеновичу Анищенко.

Родился он в Саратове в семье военного авиационного инженера Семена Степановича Анищенко. Его школьные годы разделились между Саратовом и Пугачевым, районным центром Саратовской области. Золотую медаль он получил по окончании школы № 3 г. Саратова. В 1961 г. поступил на физический факультет Саратовского государственного университета, с которым до настоящего времени и связана вся его творческая жизнь.

Научный выбор Вадим Семенович сделал на четвертом курсе после знакомства с трудами доцента кафедры радиофизики Алексея Ивановича Штырова. Их творческое сотрудничество продолжалось в течение шестнадцати последующих лет. Уже на четвертом-пятом курсах В. С. Анищенко написал свою первую научную работу, которая была опубликована в соавторстве с А. И. Штыровым в журнале «Радиотехника и электро-

ника» (1966 г.).

Студентом же В. С. Анищенко был зачислен инженером в НИИ механики и физики при СГУ в группу А. И. Штырова, которая входила в коллектив первого отдела НИИМФ, представлявшего известную в стране научную школу в области радиофизи-



ки и электроники, созданную профессором Венедиктом Ивановичем Калининым. Годы работы в НИИ были связаны с исследованиями флуктуаций в электронных СВЧ-приборах с длительным электронно-волновым взаимодействием. Именно тогда Вадим Семенович приобрел глубокие знания в области теории колебаний и теории цепей, теории случайных процессов и статистической радиофизики. В 1970 г. он досрочно окончил аспирантуру, защитив кандидатскую диссертацию на тему «Шумовые свойства электронных потоков СВЧ-усилителей О-типа».

1 сентября 1970 г. В. С. Анищенко приступил к работе на кафедре радиофизики в новом статусе – в качестве ассистента, а затем доцента. Он читал общие курсы лекций по теории информации, статистической радиофизике и ряд спецкурсов, будучи одновременно заместителем декана факультета по учебной работе.

В научном же отношении для него переломным стал 1980 год, когда его привлекли фундаментальные вопросы физики колебаний и серия пионерских работ по новому тогда научному направлению – теории динамического хаоса. Будучи участником первого Всесоюзного



семинара по стохастическим автоколебаниям в г. Горьком в апреле 1980 г., он сделал свой первый доклад по динамическому хаосу, вызвавший интерес у специалистов, в том числе у профессора МГУ Юрия Львовича Климонтовича. Осенью того же года за время четырехмесячной стажировки в МГУ у В. С. Анищенко созрело твердое решение посвятить свою творческую работу исследованиям в области детерминированного хаоса. То был период близкого творческого общения с Ю. Л. Климонтовичем (теплые отношения с ним Вадим Семенович поддерживал все последующие годы), участия в работе научных семинаров МГУ по синергетике, собиравших ведущих специалистов по физике нелинейных явлений тех лет.

Возвратившись из Москвы, В. С. Анищенко целиком сосредоточил свои усилия на организации работ в новом направлении, получив полную поддержку тогдашнего заведующего кафедрой профессора Григория Моисеевича Герштейна. В первой половине 80-х годов, в результате интенсивной работы, сформировалось ядро научной группы В. С. Анищенко и прошли защиты кандидатских диссертаций первых его учеников – В. В. Астахова (1983) и Т. Е. Вадивасовой (1986).

В октябре 1986 г. Вадим Семенович защитил докторскую диссертацию на тему «Механизмы развития и свойства хаотических колебаний в радиофизических системах с конечным числом степеней свободы», ставшую первой в СССР диссертационной работой по научной специальности «Радиофизика», которая была полностью посвящена проблеме динамического хаоса. Материалы диссертации вошли в его первую в России и одну из первых в мировой литературе научных монографий по проблемам динамического хаоса «Стохастические колебания в радиофизических системах» (первая часть опубликована в Издательстве Саратовского университета в 1985 г., вторая часть – в 1986 г.). Появление этой монографии не осталось незамеченным за рубежом, и в 1987 и 1989 гг. издательство Teubner-Texte zur Physik переводит ее на английский язык. Работы В. С. Анищенко становятся хорошо известными в Европе и США. В 1987 г. В. С. Анищенко приглашают в Германию, в Гумбольдтовский университет, для чтения лекций по детерминированному хаосу в весеннем семестре.

Так на кафедре радиофизики, на физическом факультете и в Саратовском университете произошло «оформление» научного направления, названного впоследствии нелинейной динамикой...

В октябре 1988 г. В. С. Анищенко становится преемником Г. М. Герштейна, умершего весной того же года, на посту заведующего кафедрой радиофизики; весной 1989 г. ему присваивают ученое звание профессора. К этому времени на кафедре активно функционирует рабочая группа специалистов по динамике нелинейных систем с четким пониманием основных направлений исследований. На базе кафедры В. С. Анищенко создает научную лабораторию нелинейной динамики, где работают его ученики и новые поколения аспирантов и студентов.

Весной 1992 г. В. С. Анищенко совершает первую поездку в США для участия в научной конференции по стохастическому резонансу в Сан-Диего и последующей двухмесячной работы в университете Беркли (Калифорния). Научные работы группы В. С. Анищенко становятся еще более известными за рубежом, поскольку публикуются в «читабельных» международных научных журналах на английском языке. В ряде ведущих университетов США и Европы школа по нелинейной динамике Саратовского университета завоевывает признание.

При поддержке зарубежных коллег – профессора Леона Чуа (L. Chua, Беркли, США) и профессора Юргена Курца (J. Kurths, Потсдам, Германия) – кафедра получает современное оборудование, а затем активно участвует в конкурсах на получение научных грантов. Группа В. С. Анищенко, одна из четырех в Саратове, выигрывает несколько грантов Фонда Сороса на научные исследования, а ее руководитель в 1994 г. одним из первых ученых Саратова получает звание Соросовского профессора и соответствующие гранты (1994–2000 гг.). Восемью его ученикам присваивают почетные звания «Соросовский аспирант» и «Соросовский доцент». В 1994–2000 гг. В. С. Анищенко ежегодно становится лауреатом научной стипендии Президента РФ и Правительства РФ.

В январе 1995 г. Вадиму Семеновичу Анищенко Указом Президента РФ присваивается почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ», его избирают членом-корреспондентом Международной академии информатизации (1995) и Российской академии естественных наук (1997). К этому времени коллектив лаборатории нелинейной динамики опубликовал уже более 100 серьезных научных работ в центральной и зарубежной печати с высоким индексом цитируемости и становится широко известным среди российских и зарубежных ученых. Это позволило



В. С. Анищенко в июле 1996 г. блестяще провести в Саратове представительную международную конференцию «The International Conference on Nonlinear Dynamics and Chaos (ICND-96). Applications in Physics, Biology and Medicine». В конференции приняли участие около 150 ученых, из которых 50 ведущих специалистов представляли 16 стран дальнего зарубежья и около 60 – государства СНГ и Балтии.

Многие ученики В. С. Анищенко в конце 1990-х – начале 2000 гг. начали активно работать в ведущих зарубежных научных центрах в области нелинейной динамики. Наиболее регулярными становятся совместные работы с учеными Гумбольдского университета Берлина, университета г. Потсдам (Германия), университетов Беркли, Сент-Луис, Сан Диего и Бостона (США), университетов Великобритании, Дании, Швейцарии, Польши и Республики Корея.

В 1990 г. московское издательство «Наука» публикует монографию В. С. Анищенко «Сложные колебания в простых системах» [1], которая быстро становится настольной книгой для молодых ученых, работающих в области нелинейной динамики. В 1995 г. выходит новая монография В. С. Анищенко (на английском языке) – «Dynamical Chaos – Models and Experiments» [2]. В 1996–1997 гг. редакция журнала «Прикладная нелинейная динамика» публикует ряд специальных выпусков под редакцией В. С. Анищенко по актуальным проблемам нелинейной динамики. В 1999 г. выходит очередная монография «Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем» [3] в соавторстве с Т. Е. Вадивасовой и В. В. Астаховым; публикуется обзор по стохастическому резонансу в журнале «Успехи физических наук» [4].

По сути дела, к концу 90-х гг. формируется школа специалистов по нелинейной динамике, возглавляемая В. С. Анищенко. Под его руководством кандидатами наук стали более двадцати аспирантов; докторские диссертации успешно защитили сотрудники кафедры А. Б. Нейман, В. В. Астахов, Д. Э. Постнов, Т. Е. Вадивасова и А. Н. Павлов. Достижения коллектива получили признание как в Саратовском университете (Ученый совет СГУ в 1997 г. утверждает новое название кафедры, которая начинает именоваться кафедрой радиофизики и нелинейной динамики), так и в стране: кафедра признается в качестве ведущего научно-педагогического коллектива РФ (2003) и ведущей научной школы РФ по радиофизике и нелинейной динамике (2006). Офици-

альное международное отличие В. С. Анищенко за работы в области нелинейной динамики выразилось в присуждении ему в октябре 1999 г. научной премии по физике Международного фонда им. Александра фон Гумбольдта, одной из наиболее престижных научных премий в мире.

Весной 2000 г. коллектив физиков СГУ выиграл грант международного фонда Civilian Research and Development Foundation (CRDF) и Министерства образования РФ на создание и развитие научно-образовательного центра «Нелинейная динамика и биофизика», директором которого стал В. С. Анищенко. В 2002 г. издательство Springer публикует книгу международного коллектива авторов «Nonlinear Dynamics of Chaotic and Stochastic Systems» [5] в серии научных монографий по синергетике под редакцией профессора Германа Хакена (книга повторно вышла в свет в 2007 г.). В. С. Анищенко избирают академиком Российской академии естественных наук. Следствием научных и организационных достижений коллектива кафедры в 2008 г. стало решение Ученого совета СГУ о создании Международного научно-исследовательского института нелинейной динамики во главе с профессором В. С. Анищенко.

Основные направления исследований, проводимых под руководством В. С. Анищенко: анализ бифуркационных механизмов возникновения, структуры и свойств хаотических автоколебаний в детерминированных нелинейных динамических системах; исследование роли флуктуаций в динамике нелинейных систем со сложными типами движений (нелинейная динамика стохастических систем); приложение методов нелинейной динамики к вопросам диагностики сигналов, в частности в биологии и медицине [1–7]. Полный список научных трудов В. С. Анищенко насчитывает более 450 наименований. Среди них около 380 научных статей, 22 монографии и учебника, включая 6 монографий на английском языке. Индекс цитируемости в РИНЦ составляет 3900, индекс Хирша – 23. Очередным международным признанием научных заслуг В. С. Анищенко стал специальный выпуск журнала «European Physical Journal – Special Topics» (2013, № 10) к его 70-летию юбилею.

Высокая научная квалификация В. С. Анищенко способствует его активной и полезной работе (в качестве заместителя председателя и члена) в двух диссертационных советах на базе СГУ по защите докторских и кандидатских дис-



сертаций по специальностям «Радиофизика», «Физическая электроника», «Оптика», «Лазерная физика», «Биофизика» и «Твердотельная электроника». В качестве эксперта ему очень часто приходится рецензировать научные статьи, присылаемые из редакций международных журналов «нелинейнодинамического» профиля.

Реализуя девиз «Университетского образования без науки быть не может», В. С. Анищенко плодотворно совмещал и совмещает научную работу с преподавательской и общественной деятельностью на физическом факультете и в Саратовском университете. Он разработал и на протяжении многих лет читает базовые курсы лекций по дисциплинам «Теория нелинейных колебаний», «Статистическая радиофизика», «Теория устойчивости и бифуркаций динамических систем», «Основы нелинейной динамики», «Введение в специальность» [8]. Он активно участвует в разработке учебных планов и рабочих программ подготовки бакалавров, магистров и аспирантов.

Свои взгляды на науку и образование В. С. Анищенко осветил в ряде публицистических статей (см., например, [9]). Он является одним из самых активных сторонников введения в СГУ рейтинговой системы оценки работы преподавателей, в разработке которой он в 2013–2014 гг. принимал непосредственное участие.

Многолетний опыт научно-образовательной деятельности В. С. Анищенко востребован в Alma mater. Он входит в число авторов программ развития Саратовского университета, которые получили одобрение на федеральном уровне, выразившееся, в частности, в присвоении СГУ высокого статуса национального исследовательского университета. А в октябре 2013 г. он назначен советником ректора СГУ по науке.

В 2004 г. деятельность В. С. Анищенко в области науки и образования отмечена государственной наградой – медалью ордена «За заслуги перед Отечеством II степени». В связи с юбилеем Саратовского университета ему вручена медаль «100-летие Саратовского государственного университета» (2009), а в 2012 г. присвоено звание «Почетный профессор Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского». В том же году Европейская научно-промышленная палата (European Chambers) наградила его дипломом и золотой медалью за его вклад в науку и образование в России. В 2013 г. комиссией по наградам Европейского научно-промышленного консорциума

принято решение о награждении профессора В. С. Анищенко орденом «*Labore et Scientia – Трудом и Знанием*». Среди его наград – Почетная грамота Министерства промышленности и энергетики Саратовской области (2009), Благодарственное письмо полномочного представителя Президента РФ в Приволжском Федеральном округе (2013) и др.

...Как и у большинства многогранно талантливых людей, в свое время перед Вадимом Семеновичем Анищенко стоял выбор между различными направлениями профессиональной деятельности. Судьба распорядилась так, что он стал Ученым и Учителем. Но в нем читается артистическая натура, у него прекрасно поставленный красивый голос, он умеет ярко, точно и убедительно излагать свои мысли, твердо отстаивать свои убеждения. Он требователен, но предъявляет особые высокие требования прежде всего к самому себе, что, как думается, являлось и является гарантом его творческих достижений.

#### Список литературы

1. Анищенко В. С. Сложные колебания в простых системах. М.: Наука, 1990. 312 с.
2. Anishchenko V. S. Dynamical Chaos – Models and Experiments. World Scientific, 1995. 384 p.
3. Анищенко В. С., Вадивасова Т. Е., Астахов В. В. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем: Фундаментальные основы и избранные проблемы. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1999. 368 с.
4. Анищенко В. С., Нейман А. Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка // Успехи физических наук. 1999. Т. 169, № 1. С. 7–38.
5. Anishchenko V. S., Astakhov V. V., Neiman A. B. et al. Nonlinear Dynamics of Chaotic and Stochastic Systems. Berlin: Springer, 2002. 450 p.
6. Анищенко В. С., Вадивасова Т. Е., Окрокверцхов Г. А., Стрелкова Г. И. Статистические свойства динамического хаоса // Успехи физических наук. 2005. Т. 175, № 2. С. 163–179.
7. Анищенко В. С., Астахов С. В. Теория возвратов Пуанкаре и ее приложение к решению задач нелинейной физики // Успехи физических наук. 2013. Т. 183, № 10. С. 1009–1028.
8. Анищенко В. С., Вадивасова Т. Е. Лекции по нелинейной динамике. М.; Ижевск: Изд-во «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. 500 с.
9. Анищенко В. С. Университетского образования без науки быть не может // Alma Mater (Вестник высшей школы). 2013. № 2. С. 14–20.

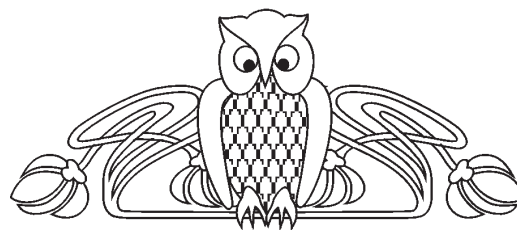


УДК 53(091), 53(092)

## ВАЛЕРИЙ ВИКТОРОВИЧ ТУЧИН (К 70-летию со дня рождения)

**В. М. Аникин**

Саратовский государственный университет  
E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru



Приводится краткая биография заведующего кафедрой оптики и биофотоники Саратовского университета профессора В. В. Тучина.

**Ключевые слова:** Саратовский университет, кафедра оптики и биофотоники.

**Valery V. Tuchin (To the 70-anniversary from Birthday)**

**V. M. Anikin**

Brief biography by Prof. Valery V. Tuchin, the head of the Optics and Biophotonics Department of Saratov University is given.

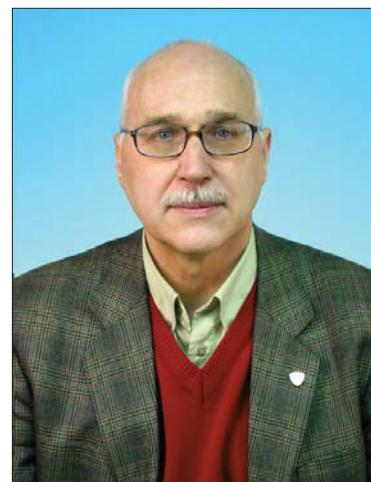
**Key words:** Saratov University, Optics and Biophotonics Department.

4 февраля 2014 года исполнилось 70 лет Валерию Викторовичу Тучину – заслуженному деятелю науки Российской Федерации, доктору физико-математических наук, профессору, заведующему кафедрой оптики и биофотоники Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского и лабораторией лазерной диагностики технических и живых систем Института проблем точной механики и управления РАН, руководителю официально признанной ведущей научной школы России.

Валерий Викторович окончил физический факультет СГУ в 1966 г. по специальности «Радиофизика и электроника». В 1966–1970 гг. работал инженером в НИИ механики и физики СГУ, в 1971–1973 гг. – ассистентом кафедры оптики. Параллельно обучался в аспирантуре при кафедре оптики и в 1973 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности 01.04.05 – оптика. Продолжил преподавательскую «траекторию» на кафедре в ранге доцента кафедры. Спустя всего лишь 9 лет после защиты кандидатской диссертации в 1982 г. защитил и докторскую диссертацию по специальности 01.04.03 – «радиофизика», включая квантовую радиофизику. Получил профессорское звание, и с 1984 г. возглавил кафедру оптики. Одновременно в 1982–1989 гг. работал деканом физического факультета.

К его обязанностям как руководителя кафедры в последующие годы добавились раз-

носторонние направления деятельности, инициированные самим Валерием Викторовичем. Их успешное претворение в жизнь обеспечило мировой уровень научно-образовательного процесса на кафедре. Он сформировал мощный научно-педагогический коллектив, как правило, работающий в унисон. Четко сформулированы направления научных исследований, проводимых на кафедре по многочисленным грантам, число и объем которых могли бы гарантировать В. В. Тучину место в «Книге рекордов Гиннеса», если бы такие подсчеты велись. Необходимый научный кругозор, неисчерпаемые трудолюбие и энергия, умение с максимальным «КПД» организовать время своей работы обусловили большую научную «производительность» Валерия Викторовича, выразившуюся в написании десятков монографий и сотен научных статей с большим индексом цитирования (на 13 февраля 2014 г. его индекс Хирша был равен 33, а число ссылок на работы дошло до 7900). Отличает В. В. Тучина и необыкновенная по широте интеграция в мировой научно-образовательный процесс: научные связи кафедры оптики и биофотоники исчисляются многими десятками адресов ведущих университетов и исследовательских организаций мира. Сам Валерий Викторович ежегодно неоднократно участвует в различных международных мероприятиях.



Что же конкретно скрывается за названными цифрами и перечисленными фактами?



**Учебно-методическая деятельность.** По инициативе, под руководством и при непосредственном участии В. В. Тучина разработаны и внедрены на физическом факультете учебные планы подготовки специалистов по биофизике, медицинской физике и биохимической физике, магистерские программы по биофизике и медицинской физике. В рамках программы СГУ как Национального исследовательского университета впервые в России разработаны образовательные стандарты бакалавриата по физике живых систем и магистерская программа по медицинской фотонике. (Собственно, именно Валерию Викторовичу, в числе авторов проектов развития Саратовского университета, принадлежит заслуга в том, что СГУ получил в 2010 г. высокий и обязывающий статус Национального исследовательского университета).

В. В. Тучин подготовил и читает для бакалавров, специалистов и магистров биофизических специальностей такие учебные курсы, как введение в специальность, оптика биотканей, медицинские лазеры и волоконные световоды, оптические измерения в биомедицине, оптическая цитометрия, лазерный микроспектральный анализ и др. Он подготовил и прочитал более 40 кратких курсов лекций по оптике и спектроскопии биотканей и биофотонике для международной аудитории аспирантов, докторантов, инженеров, работников компаний и медицинских работников (1991–2013) в США, Канаде, странах Европы, Республике Корея, Китае, Сингапуре.

**Профессиональная научная и научно-организаторская деятельность.** Область научных интересов В. В. Тучина включает биологическую и медицинскую физику, биофотонику, биомедицинскую оптику, лазерную спектроскопию и визуализацию в биомедицине, нелинейную динамику лазерных и оптических систем, физику оптических и лазерных измерений. По этим направлениям он получил более 50 патентов на изобретение РФ и США. Он является автором или редактором более 100 книг, глав в книгах, специальных выпусков журналов, трудов конференций, учебных пособий, лекционных пособий, брошюр и более 500 научных статей и аналитических обзоров (основные работы [1–20] названы в библиографическом списке). Так, только за последние пять лет им опубликовано более 200 статей и более 10 монографий, при этом три монографии вышли вторым изданием. Валерий Викторович подготовил 28 кандидатов наук и 10 докторов наук. Солидная научно-обра-

зовательная база обусловила возможность переименования в 2009 г. кафедры оптики в кафедру оптики и биофотоники.

Говоря об организаторской работе В. В. Тучина, можно отметить, что он является директором по внешним связям научно-образовательного центра Министерства образования и науки РФ и Американского фонда гражданских исследований «Нелинейная динамика и биофизика» (с 2000 г.), директором Научно-образовательного института по оптике и биофотонике при СГУ (с 2003 г.), вице-президентом Российского фото-биологического общества (с 2005 г.), директором Международного научно-образовательного центра оптических технологий в промышленности и медицине (МНОЦ) «Фотоника» при СГУ (с 2007 г.), организатором и председателем диссертационного совета при СГУ по защите докторских диссертаций по специальностям лазерная физика и биофизика (с 1990 г.).

Ведет значимую общественно-научную работу, являясь заместителем главного редактора журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика», членом редакционного совета и журнала «Квантовая электроника», главным соредактором журнала «Journal of Innovative Optical Health Sciences», членом редколлегий ряда ведущих российских и зарубежных журналов («Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика», «Лазерная медицина», «Journal of Biomedical Optics», «Journal of Biophotonics», «Lasers in the Life Sciences», «Journal of X-Ray Science and Technology – Clinical Applications of Diagnosis and Therapeutics», «Journal of Applied Scientific Reports»), членом международного совета журнала «Physics in Medicine and Biology». Часто выступает в роли приглашенного редактора и рецензента как названных, так и других ведущих международных журналов по оптике, лазерной физике и биомедицинской фотонике, а также экспертом научных проектов.

**Международная деятельность, международное признание.** Валерий Викторович хорошо известен также своей работой в международных научных обществах, являясь членом таких обществ, как SPIE, OSA, IEEE, членом комитета по биофотонике международного научного общества IEEE, узловым лидером по РФ Всемирного консорциума по биофотонике BP4L (Node Leader of Biophotonics4Life Worldwide Consortium), членом организационных и консультативных комитетов многочисленных международных





конференций. С 1987 г. он организовал более 60 международных конференций в России, США, Европе, Китае и сделал более 50 приглашенных и пленарных докладов.

Образовательные и научные достижения В.В. Тучина получили широкое признание в стране и мире. Он был отмечен многочисленными индивидуальными грантами, почетными званиями и наградами, включая гранты ведущего научного работника Российской Федерации (1994–2003), гранты Президента РФ поддержки научных школ (2003, 2008, 2012, 2014), грант Министерства образования и науки РФ «Ведущие научно-педагогические коллективы» (2003–2014), гранты приглашенного профессора (1990–2012) в университетах и компаниях США (30 грантов), Европы (15), Японии (3), Китая (8) и Сингапура (1).

В. В. Тучин является FiDiPro (Finland Distinguished Professor) профессором университета Оулу, Финляндия (с 2011 г.), обеспечивающим выполнение научного российско-финского мегагранта, приглашенным профессором Хуазонг-университета и Тианжин-университета (Китай), адъюнкт-профессором университета Лимерик (Ирландия). В 2004 г. В. В. Тучин стал почетным членом международного общества по оптической технике SPIE. Он академик Международной академии информатизации (с 1994 г.) и Российской академии естественных наук (с 1996 г.), Соросовский профессор (1997–1999 гг.).

Международный масштаб научной деятельности В. В. Тучина нашел отражение в специальном выпуске журнала *J. Physics D: Applied Physics* за 2005 г. (редакторы R. K. Wang, A. V. Priezhev, S. Fantini), который был посвящен 60-летию ученого. За выдающиеся достижения в области образования по биомедицинской оптике и биофотонике он был награжден в 2007 г. премией международного общества по оптической технике (SPIE Educational Award). В 2011 г. (вместе со своими учениками) получил премию Международной академической издательской компании «Наука» за лучшую публикацию в издаваемых ею журналах за цикл работ по биомедицинской оптике в журнале «Оптика и спектроскопия». А в 2012 г. за книгу «Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях» (М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010) получил диплом Лазерной ассоциации России за лучшую отечественную разработку в области лазерной аппаратуры и лазерно-оптических технологий (в номинации «Учебные пособия, справочные и научно-популярные издания лазерной тематики»).

Достижения в научной и педагогической деятельности В. В. Тучина отмечены и правительственными наградами – медалью «За трудовое отличие» (1976), орденами Трудового Красного знамени (1986) и Дружбы (2005). В декабре 1999 г. ему было присвоено звание заслуженного деятеля науки Российской Федерации, а в феврале 2014 г. – звание почетного профессора Саратовского государственного университета.

...Сделанных из железа, как доказали физики, вечных двигателей не бывает. Валерий Викторович Тучин – человек-двигатель, продолжающий ускорять свой ход в пространстве науки и высшего образования. Одной из точек его жизненной траектории могло бы заслуженно стать членство в Российской академии наук.

### Список литературы

1. Приезжев А. В., Тучин В. В., Шубочкин Л. П. Лазерная диагностика в биологии и медицине. М. : Наука, 1989.
2. Тучин В. В. Динамические процессы в газоразрядных лазерах. М. : Энергоатомиздат, 1990.
3. Tuchin V. V. (Ed.). *Tissue Optics: Applications in Medical Diagnostics and Therapy*, Book of selected papers : Bellingham, WA, USA : SPIE Milestone Series MS 102. 1994.
4. Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. 2-е изд. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1998. (М. : Физматлит, 2010).
5. Tuchin V. V. *Tissue Optics : Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnosis*. 2nd ed. Bellingham, WA, USA : SPIE Tutorial Texts in Optical Engineering TT38, 2000, 2007. Vol. PM 166.
6. Tuchin V. V. (Ed.) *Handbook of Optical Biomedical Diagnostics*. Bellingham, USA : SPIE Press PM107, 2002.
7. Tuchin V. V. (Ed.) *Handbook of Coherent-Domain Optical Methods for Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science* : in 2 vol. Boston, USA : Kluwer Academic Publishers, 2004. Vol. 1–2.
8. Wilson B., Tuchin V., Tanev S. (Eds.) *Advances in Biophotonics*, NATO Science Series I. Life and Behavioural Sciences. Amsterdam : IOS Press, 2005. Vol. 369.
9. Tuchin V. V. *Optical Clearing of Tissues and Blood*. Bellingham, WA : SPIE Press, 2006. Vol. PM 154.
10. Tuchin V.V., Wang L., Zimnyakov D. A. *Optical Polarization in Biomedical Applications*. Berlin ; Heidelberg ; N.Y. : Springer-Verlag, 2006.
11. Tuchin V. V. (Ed.). *Handbook of Optical Sensing of Glucose in Biological Fluids and Tissues*. L. : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.
12. Tuchin V. V. (Ed.) *Handbook of Photonics for Biomedical Science*. L. : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.
13. Tuchin V. V. (Ed.) *Advanced Optical Flow Cytometry : Methods and Disease Diagnoses*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011.



14. Popp J., Tuchin V. V., Chiou A., Heinemann S. H. (Eds.) Handbook of Biophotonics. Vol. 1 : Basics and Techniques. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011.
15. Popp J., Tuchin V. V., Chiou A., Heinemann S. H. (Eds.) Handbook of Biophotonics. Vol. 2 : Photonics for Health Care. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011.
16. Popp J., Tuchin V. V., Chiou A., Heinemann S. H. (Eds.) Handbook of Biophotonics. Vol. 3 : Photonics in Pharmaceuticals, Bioanalysis and Environmental Research. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012.
17. Tuchin V. V. (Ed.) Coherent-Domain Optical Methods : Biomedical Diagnostics, Environmental Monitoring and Material Science : in 2 vol.; 2nd ed. Berlin ; Heidelberg ; N.Y. : Springer-Verlag, 2013.
18. Мареев О. В., Свистунов А. А., Федосов И. В., Тучин В. В., Мареев Г. О., Луцевич С. И., Букреев И. С., Прохоров Р. С., Краснова Е. С. Лазерная доплеровская флоуметрия и возможности ее применения в оториноларингологии. Саратов : Изд-во Саратов. мед. ун-та, 2012.
19. Тучин В. В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике. 2-е изд. пер. с англ. М. : Физматлит, 2013.
20. Wang R. K., Tuchin V. V. (Eds.) Advanced Biophotonics : Tissue Optical Sectioning. L. : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013.

## ХРОНИКА НАУЧНОЙ ЖИЗНИ

УДК 378.4

### ВОПРОСЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В НАУЧНОМ СБОРНИКЕ «ГЕТЕРОМАГНИТНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА»: к 10-летию первого выпуска

В. М. Аникин, А. А. Игнатъев, А. В. Ляшенко

Саратовский государственный университет  
E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru

Кратко рассматривается тематика публикаций в научном сборнике «Гетеромагнитная микроэлектроника», первый выпуск которого увидел свет в 2004 г.

**Ключевые слова:** Саратовский государственный университет, физический факультет.

**Problems of Higher Education in Journal «The Heteromagnetic microelectronics»:  
to the 10<sup>th</sup> Anniversary from the First Issue**

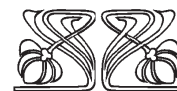
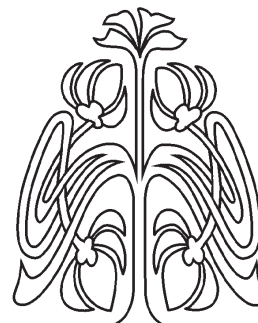
V. M. Anikin, A. A. Ignatiev, A. V. Lyashenko

The subject of publications of Journal «Heteromagnetic microelectronics» is briefly discussed, including problems of higher education in Russia. The first issue of the Journal was published in 2004.

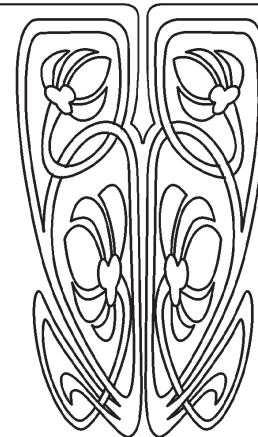
**Key words:** Saratov State University, Physical Faculty.

Исполнилось 10 лет со дня выхода в 2004 г. первого выпуска сборника научных трудов «Гетеромагнитная микроэлектроника», включенного в 2009 г. Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки России в число изданий, рекомендованных для публикации материалов докторских и кандидатских диссертаций. Сборник дважды в год выпускается Издательством Саратовского университета под эгидой ОАО «Институт критических технологий» (г. Саратов) при активном участии профессорско-преподавательского состава физического факультета СГУ, специалистов из других вузов, институтов РАН, промышленности.

В составе редакционной коллегии сборника – В. И. Борисов, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, научный руководитель ОАО «Концерн “Созвездие”»; С. Ю. Глазьев доктор экономических наук, профессор, академик РАН, президент Академии инноватики «Глобеликс-Р», советник Президента РФ В. В. Путина по вопросам региональной экономической политики; С. А. Никитов, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора по науке ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН; О. С. Сироткин, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, генеральный директор Национального института авиационных технологий и др.



ПРИЛОЖЕНИЯ





В публикациях сборника отражаются результаты теоретических и экспериментальных исследований по научно-техническим и технологическим направлениям, отнесенным к перечню критических технологий Российской Федерации, в том числе в части создания новых средств связи и навигации, обнаружения объектов, технологий и программного обеспечения высокопроизводительных систем, технологий диагностики, наноматериалов и наноустройств, технологии поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, компьютерного моделирования, адресной магнитной наномедицины и др. В последние годы стали печататься материалы, посвященные проблемам экономики в оборонно-промышленном комплексе.

В сборнике «Гетеромагнитная микроэлектроника» существует и раздел методических материалов, посвященных подготовке специалистов-физиков в системе высшего уровня образования.

Так, история физического факультета Саратовского университета отражена в статье [1]. Методике лекционных демонстраций по курсу общей физики и проведения лабораторных практикумов на старших курсах посвящены работы [2–4]. Проблема активизации учебного процесса в вузе затронута в публикации [5]. Особенности образовательного процесса в магистратуре рассмотрены в статьях [6, 7]. Вопросы деятельности вузов, направленной на подготовку выпускников для работы в условиях инновационной экономики, обсуждаются в работах [8, 9].

Повышению качества диссертационных исследований посвящена статья [10]. Сравнительная характеристика систем высшего образования и присвоения ученых степеней в России и зарубежных странах дается в работах [11, 12].

Публикации в научном сборнике «Гетеромагнитная электроника» по проблемам высшего образования отражают методическую работу, проводимую на физическом факультете СГУ, направленную на повышение качества подго-

товки согласно требованиям федеральных государственных стандартов. Отличает материалы сборника доступность электронных вариантов полных текстов опубликованных статей.

### Список литературы

1. Аникин В. М. Физическому факультету СГУ – 65 лет // Гетеромагнитная микроэлектроника. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2011. Вып. 9. С. 4–16.
2. Игнатъев А. А., Машинский К. В., Прозоркевич А. В. Лекционная демонстрация : Трансформатор Тесла // Там же. Вып. 10. С. 81–86.
3. Игнатъев А. А., Куликов М. Н., Данке О. Г. Музей физических приборов и лекционных демонстраций // Там же. 2012. Вып. 13. С. 108–117.
4. Малярчук В. А., Романченко Л. А., Игнатъев А. А. Организация специального практикума для студентов старших курсов физического факультета // Там же. С. 117–122.
5. Аникин В. М. Активизация учебного процесса как компонента образовательной компетентности высшего учебного заведения // Там же. 2011. Вып. 11. С. 104–109.
6. Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А. Особенности обучения магистров по профилю «Физика микро- и низкоразмерных структур с цифровыми технологиями» направления 011200 «Физика» // Там же. 2012. Вып. 12. С. 95–101.
7. Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А. Магистерские программы и перспективы развития магистратуры на кафедре общей физики СГУ // Там же. 2013. Вып. 14. С. 123–130.
8. Федорчук Ю. М. Стратегии адаптации системы высшего профессионального образования в инновационной экономике // Там же. 2011. Вып. 10. С. 102–113.
9. Федорчук Ю. М. Развитие инновационной деятельности в вузе // Там же. 2011. Вып. 11. С. 124–130.
10. Аникин В. М. Аспектные характеристики диссертации: обоснование достоверности результатов // Там же. 2010. Вып. 8. С. 100–115.
11. Романченко Л. А., Игнатъев А. А. Управление качеством образования в России, США и странах Европы // Там же. 2011. Вып. 10. С. 86–96.
12. Аникин В. М. Сравнение европейской и российской систем присуждения ученой степени (на примере защит диссертаций Альбертом Эйнштейном и Питиримом Сорокиным) // Там же. Вып. 9. С. 125–144.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Аникин Валерий Михайлович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, базовая кафедра компьютерной физики и метаматериалов в Саратовском филиале ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, зав. кафедрой. E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru

**Баранов Виктор Иванович** – Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, зав. лаб. молекулярного моделирования. E-mail: baranov@mail.ru

**Башкатов Алексей Николаевич** – Саратовский государственный университета им. Н. Г. Чернышевского, кафедра оптики и биофотоники, доцент. E-mail: a.n.bashkatov@mail.ru

**Березин Валентин Иванович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра прикладной физики, профессор. E-mail: berezinvi@yandex.ru

**Березин Максим Кириллович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра прикладной физики, аспирант. E-mail: berezinvi@yandex.ru

**Буров Андрей Михайлович** – Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, ведущий инженер. E-mail: institute@ibppm.sgu.ru

**Бучарская Алла Борисовна** – Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, руководитель НОЦ фундаментальной медицины и нанотехнологий. E-mail: allaalla\_72@mail.ru

**Галанжа Владимир Анатольевич** – Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, кафедра глазных болезней, ассистент. E-mail: galanzha@mail.ru

**Голубков Петр Васильевич** (1899–1973) – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, профессор, заведующий кафедрой общей физики (1932–1969), декан физического факультета (1945–1946), ректор СГУ (1946–1950).

**Генина Элина Алексеевна** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра оптики и биофотоники, доцент. E-mail: eagenina@yandex.ru

**Дмитриев Борис Савельевич** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра нелинейной физики, профессор. E-mail: DmitrievBS@info.sgu.ru

**Дорохова Марта Александровна** – Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., кафедра приборостроения, аспирант. E-mail: martada@inbox.ru

**Зёрнов Владимир Дмитриевич** (1878–1946) – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, профессор, один из основателей Саратовского университета в 1909 г., декан физико-математического факультета, ректор СГУ (1918–1921).

**Игнатьев Александр Анатольевич** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра общей физики, зав. кафедрой. E-mail: kbkt@renet.ru

**Кадров Дмитрий Михайлович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра радиотехники и электродинамики, аспирант. E-mail: TenGN@yandex.ru

**Каменских Татьяна Григорьевна** – Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, кафедра глазных болезней, зав. кафедрой. E-mail: kamtanvan@mail.ru

**Каменских Иван Дмитриевич** – Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, кафедра глазных болезней, аспирант. E-mail: kamtanvan@mail.ru

**Колбенец Игорь Олегович** – Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, кафедра глазных болезней, ассистент. E-mail: lgorkolbenev@yandex.ru

**Конюхов Андрей Иванович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, базовая кафедра компьютерной физики и метаматериалов в Саратовском филиале ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, доцент. E-mail: konukhovAI@info.sgu.ru

**Кочубей Вячеслав Иванович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра оптики и биофотоники, профессор. E-mail: saratov\_gu@mail.ru

**Литвиненко Артем Николаевич** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра инноватики, аспирант. E-mail: LitvinenkoAN@gmail.com

**Ляшенко Александр Викторович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра физики критических и специальных технологий, зав. кафедрой. E-mail: kbkt@renet.ru

**Маслякова Галина Никифоровна** – Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, кафедра патологической анатомии, зав. кафедрой. E-mail: gmaslyakova@yandex.ru

**Мельников Леонид Аркадьевич** – Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., кафедра приборостроения, зав. кафедрой. E-mail: lam.pels@ya.ru

**Новосёлова Анна Владимировна** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, базовая кафедра компьютерной физики и метаматериалов в Саратовском филиале ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, ведущий инженер. E-mail: nusena1975@mail.ru

**Орлова Анжелика Сергеевна** – Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, кафедра глазных болезней, старший лаборант. E-mail: orlova.lika@yandex.ru

**Пластун Александр Сергеевич** – Саратовский государственный университет, базовая кафедра компьютерной физики и метаматериалов в Саратовском филиале ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, аспирант. E-mail: plastun\_alex@mail.ru

**Роках Александр Григорьевич** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра физики полупроводников, профессор. E-mail: rokakhag@mail.ru

**Тен Галина Николаевна** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра радиотехники и электродинамики, профессор. E-mail: TenGN@yandex.ru



**Тихонов Владимир Васильевич** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра инноватики, профессор. E-mail: tvlad4@rambler.ru

**Тишкова Антонина Сергеевна** – Саратовский государственный медицинский университет им В. И. Разумовского, кафедра глазных болезней, врач-офтальмолог. E-mail: tosha1983@gmail.com

**Тучин Валерий Викторович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра оптики и биофотоники, зав. кафедрой. E-mail: tuchinvv@mail.ru

**Углонова Варсения Загидовна** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра нефтехимии и техносферной безопасности, доцент. E-mail: UglanovaVZ@mail.ru

**Усанов Дмитрий Александрович** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра физики твердого тела, заведующий кафедрой. E-mail: UsanovDA@info.sgu.ru

**Черкасова Ольга Алексеевна** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, базовая кафедра компьютерной физики и метаматериалов в Саратовском филиале ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, доцент. E-mail: CherkasovaOA@yandex.ru

**Чернавина Мария Леонидовна** – Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, кафедра прикладной физики, магистрант. E-mail: snake-naja@mail.ru



## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Valery M. Anikin** – Saratov State University, department of computer physics and metamaterials, head of department. E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru

**Victor I. Baranov** – Vernadsky Institute of geochemistry and analytical chemistry RAS, head of the laboratory for molecular modeling. E-mail: baranov@mail.ru

**Alexey N. Bashkatov** – Saratov State University, department of optics and biophotonics, lecturer. E-mail: a.n.bashkatov@mail.ru

**Valentin I. Berezin** – Saratov State University, department of applied physics, professor. E-mail: berezinvi@yandex.ru

**Maxim K. Berezin** – Saratov State University, department of applied physics, postgraduate student. E-mail: berezinvi@yandex.ru

**Andrey M. Burov** – Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms of RAS, principal engineer. E-mail: institute@ibppm.sgu.ru

**Alla B. Bucharskaya** – Saratov State Medical University, department of the REC fundamental medicine and nanotechnology. E-mail: allaalla\_72@mail.ru

**Vladimir A. Galanzha** – Saratov State Medical University, department of eye diseases, assistant. E-mail: galanzha@mail.ru

**Petr V. Golubkov** (1899–1973) – Saratov State University, professor, head of General Physics department (1932–1969), dean of physical faculty (1945–1946), rector of SSU (1946–1950).

**Elina A. Genina** – Saratov State University, department of optics and biophotonics, lecturer. E-mail: eagenina@yandex.ru

**Boris S. Dmitriev** – Saratov State University, department of nonlinear physics, professor. E-mail: DmitrievBS@info.sgu.ru

**Marta A. Dorokhova** – Saratov State Technical University, chair of Instrumentation Engineering, postgraduate student. E-mail: martada@inbox.ru

**Vladimir D. Zernov** (1878–1946) – Saratov State University, professor, one of the founders of Saratov University in 1909, dean of the physics-mathematical faculty, rector of SSU (1918–1921)

**Aleksandr A. Ignatiev** – Saratov State University, department of general physics, head of department. E-mail: kbkt@renet.ru

**Dmitry M. Kadrov** – Saratov State University, department of radiotechnology and electrodynamics, PhD-student. E-mail: TenGN@yandex.ru

**Tatyana G. Kamenskikh** – Saratov State Medical University, department of eye diseases, head of department. E-mail: kamtanvan@mail.ru

**Ivan D. Kamenskikh** – Saratov State Medical University, department of eye diseases, postgraduate student. E-mail: kamtanvan@mail.ru

**Igor O. Kolbenev** – Saratov State Medical University, department of eye diseases, assistant. E-mail: Igorkolbenev@yandex.ru

**Andrey I. Konyukhov** – Saratov State University, chair of computer physics and metamaterials, lecturer. E-mail: konukhovAI@info.sgu.ru

**Vyacheslav I. Kochubey** – Saratov State University, department of optics and biophotonics, professor. E-mail: saratov\_gu@mail.ru

**Artem N. Litvinenko** – Saratov State University, department of innovatics, PhD-student. E-mail: LitvinenkoAN@gmail.com

**Aleksandr V. Lyashenko** – Saratov State University, department of physics of critical and special technologies, head of department. E-mail: kbkt@renet.ru

**Galina N. Maslyakova** – Saratov State Medical University, department of pathological anatomy, head of department. E-mail: gmaslyakova@yandex.ru

**Leonid A. Melnikov** – Saratov State Technical University, department of Instrumentation Engineering, head of department. E-mail: lam.pels@ya.ru

**Anna V. Novoselova** – Saratov State University, chair of computer physics and metamaterials, chief engineer. E-mail: nusena1975@mail.ru

**Anzhelika S. Orlova** – Saratov State Medical University, department of eye diseases, senior laboratory. E-mail: orlova.lika@yandex.ru

**Aleksander S. Plastun** – Saratov State University, chair of Computer Physics and Methamaterials, postgraduate student. E-mail: plastun\_alex@mail.ru

**Aleksandr G. Rokakh** – Saratov State University, department of semiconductors physics, professor. E-mail: rokakhg@mail.ru

**Galina N. Ten** – Saratov State University, department of radio-technology and electrodynamics, professor. E-mail: TenGN@yandex.ru

**Vladimir V. Tikhonov** – Saratov State University, department of innovatics, professor. E-mail: tvlad4@rambler.ru

**Antonina S. Tishkova** – Saratov State Medical University, department of eye diseases, ophthalmologist. E-mail: tosha1983@gmail.com

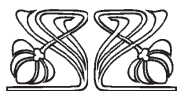
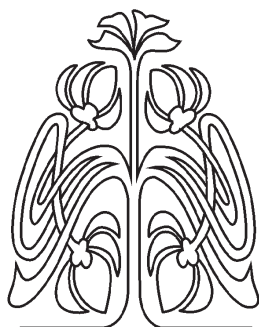
**Valery V. Tuchin** – Saratov State University, department of optics and biophotonics, head of department. E-mail: tuchinvv@mail.ru

**Varseniya Z. Uglanova** – Saratov State University, department of oil chemistry and technospherical safety, lecturer. E-mail: UglanovaVZ@mail.ru

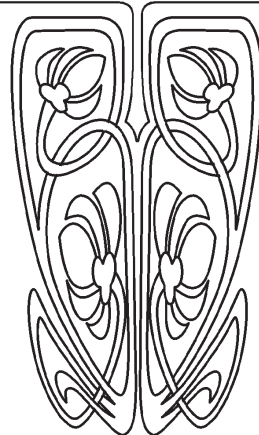
**Dmitry A. Usanov** – Saratov State University, department of solid state physics, head of department. E-mail: UsanovDA@info.sgu.ru

**Olga A. Cherkasova** – Saratov State University, department of computer physics and metamaterials, lecturer. E-mail: CherkasovaOA@yandex.ru

**Maria L. Chernavina** – Saratov State University, chair of applied physics, undergraduate. E-mail: snake-naja@mail.ru



**ПОДПИСКА**



**Подписка на I полугодие 2015 года**

Индекс издания по каталогу ОАО Агентства «Роспечать» 36013,  
раздел 39 «Физико-математические науки. Химические науки».  
Журнал выходит 2 раза в год.

**Подписка оформляется** по заявочным письмам  
непосредственно в редакции журнала.

Заявки направлять по адресу:

410012, Саратов, Астраханская, 83.

Редакция журнала «Известия Саратовского университета.

Новая серия».

Тел. (845-2) 52-26-85, 52-50-04; факс (845-2) 27-85-29;

e-mail: [tmf@sgu.ru](mailto:tmf@sgu.ru)

Каталожная цена одного выпуска 300 руб.