

Научно-теоретический и информационно-методический журнал  
Белорусского республиканского фонда  
фундаментальных исследований

Издается с III квартала 1997 г.



№ 1 [59], 2012

Зарегистрирован  
в Министерстве информации  
Республики Беларусь,  
свидетельство о регистрации  
№ 426 от 29.05.2009

**Учредитель:**  
Белорусский  
республиканский  
фонд  
фундаментальных  
исследований

220072, г. Минск,  
пр. Независимости, 66;  
тел. 284-07-42,  
284-25-05

**Издатель:**  
РУП «Издательский дом  
«Беларуская навука»

**ВЕСТНИК  
ФОНДА  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

*Главный редактор*

В. А. Орлович

*Заместители главного редактора*

Е. М. Бабосов

В. И. Недилько

*Ответственный секретарь*

Н. Н. Костюкович

*Члены редколлегии:*

В. Ф. Багинский

Н. Н. Бамбалов

А. В. Бильдюкевич

П. А. Витязь

И. В. Гайшун

М. И. Демчук

В. С. Камышников

А. К. Карабанов

А. В. Кильчевский

А. В. Кухарев

П. Д. Кухарчик

А. И. Лесникович

А. А. Махнач

А. Г. Мрочек

М. И. Мушинский

П. Г. Никитенко

В. Н. Новиков

В. П. Пархоменко

Б. А. Плотников

В. И. Прокошин

В. И. Стражев

Л. М. Томильчик

Ю. С. Харин

Л. В. Хотылева

И. И. Цыркун

В. Н. Шимов

Минск, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

### ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ

Поздравление Президента Республики Беларусь с Днем белорусской науки . . . . .	5
--	---

### МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Меморандум о взаимопонимании между Национальным исследовательским фондом Республики Корея и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований . . . . .	6
Приложение к Меморандуму о взаимопонимании между Национальным исследовательским фондом Республики Корея (НИФК) и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (БРФФИ) для совместной программы исследований . . . . .	8

### КОНКУРСЫ БРФФИ: НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Вьетнамской академии наук и технологий «БРФФИ–ВАНТ-2013» . . . . .	12
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Национального центра научных исследований Франции «БРФФИ–НЦНИ(РІС)С-2013» . . . . .	18
Условия конкурса совместных научных проектов БРФФИ и Национального исследовательского фонда Республики Корея «БРФФИ–НИФК-2013» . . . . .	24

### НАУКА БЕЛАРУСИ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

<b>Берёзкина Н. Ю., Авгуль Л. А., Сикорская О. Н., Хренова Г. С.</b> Анализ публикационной активности ученых Национальной академии наук Беларуси за 2006–2010 гг. . . . .	29
---	----

### НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

<b>Ильютник А. В., Синелев В. А., Гилеп И. Л.</b> Распределение полиморфизма генов, определяющих показатели работы сердечно-сосудистой системы у конькобежцев. . . . .	38
<b>Титовец Э. П., Пархач Л. П.</b> Методика оценки активности редуцирующих систем эритроцитов и их кислородного обмена. . . . .	45
<b>Бутвиловский А. В., Фидаров Ф. М., Бусел С. А., Пашкович В. В., Козик А. П.</b> Изучение антимикробной активности антисептиков, препаратов серебра и фтора в отношении карие-согенной микрофлоры . . . . .	52
<b>Гулгазарян Г. Р., Гулгазарян Л. Г., Миклашевич И. А., Плетежов А. А., Хачаян А. А.</b> Свободные интерфейсные колебания бесконечной безмоментной цилиндрической оболочки с произвольной гладкой направляющей . . . . .	59
<b>Камлюк А. Н., Ширко А. В.</b> Влияние односторонних разрывов на распространение колебаний вдоль двойной спирали ДНК . . . . .	81
<b>Козел Н. В., Доманский В. П.</b> Аскорбат-глутатионовый цикл в растениях табака с повышенной экспрессией аскорбатпероксидазы при абиотическом стрессе. . . . .	89

### ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

Преданное служение науке (к 60-летию Н. Н. Костюковича) . . . . .	101
---	-----

The scientific-theoretical and information-methodical journal  
of the Belarusian Republican Foundation  
for Fundamental Research

Issued since the 3<sup>rd</sup> quarter of 1997



N 1 [59], 2012

Registered in  
The Ministry of Information  
of the Republic of Belarus,  
Certificate  
№ 426 of May 29, 2009

**The founder:**  
The Belarusian  
Republican  
Foundation  
for Fundamental  
Research

220072, Minsk,  
Independence Av., 66;  
ph. 284-07-42,  
284-25-05

**The publisher:**  
RUE «Publishing House  
«Belaruskaya navuka»

**VESTNIK  
OF THE FOUNDATION  
FOR FUNDAMENTAL  
RESEARCH**

EDITORIAL BOARD:

*Editor-in-Chief*  
V. A. Orlovich

*Deputy Editors-in-Chief*  
E. M. Babosov  
V. I. Nedil'ko

*Executive Secretary*  
N. N. Kostyukovich

*Editorial board members:*

V. F. Baginsky	A. A. Makhnach
N. N. Bambalov	A. G. Mrochek
A. V. Bilydukevich	M. I. Mushinsky
I. V. Gaishun	P. G. Nikitenko
M. I. Demchuk	V. N. Novikov
V. S. Kamyshnikov	V. P. Parkhomenko
A. K. Karabanov	B. A. Plotnikov
Yu. S. Kharin	V. I. Prokoshin
L. V. Khotylyova	V. N. Shimov
A. V. Kilchevsky	V. I. Strazhev
P. D. Kukharchik	L. M. Tomilchik
A. V. Kukharev	I. I. Tsyркun
A. I. Lesnikovich	P. A. Vityaz

Minsk, 2012

## CONTENTS

### THE DAY OF BELARUSIAN SCIENCE

Congratulations by the President of the Republic of Belarus on the Day of Belarusian Science	5
--	---

### INTERNATIONAL RELATIONS

Memorandum of Understanding between National Research Foundation of the Republic of Korea and Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research	6
Annex to the MOU between NFR of Korea and BRFFR of Belarus for Joint Research Program	8

### BRFFR COMPETITIONS: NORMATIVE BASE

Terms of joint scientific projects competition «BRFFR–VAST-2013» of the BRFFR and the Vietnamese Academy of Science and Technology	12
Terms of joint scientific projects competition «BRFFR–CNRS (PICS)-2013» of the BRFFR and the French National Center for Scientific Research	18
Terms of joint scientific projects competition «BRFFR–NFR of Korea-2013» of the BRFFR and the National Research Foundation of the Republic of Korea	24

### SCIENCE OF BELARUS: STATE, PROBLEMS, PROSPECTS

<b>Beryozkina N. Yu., Avgul L. A., Sikorskaya O. N., Khrenova G. S.</b> Analysis of the publication activity of the scientists of the National Academy of Sciences of Belarus in the period of 2006–2010	29
--	----

### SCIENTIFIC PUBLICATIONS

<b>Iljutik A. V., Sinelev V. A., Gilep I. L.</b> Genes polymorphism and performance of cardiovascular system of speed skaters	38
<b>Titovets E. P., Parkhach L. P.</b> Method for assessing activity of erythrocyte reducing systems and oxygen metabolism	45
<b>Butvilovsky A. V., Fidarov F. M., Busel S. A., Pashkovich V. V., Kozik A. P.</b> Research of antimicrobial activity of some antiseptics, silver and fluoride containing medicines used for caries prophylaxis and for control of cariogenic microflora	52
<b>Gulgazaryan G. R., Gulgazaryan L. G., Miklashevich I. A., Pletezhov A. A., Khachanyan A. A.</b> Free interfacial vibrations of unmoment infinite cylindrical shells with arbitrary smooth directing curve	59
<b>Kamluk A. N., Shirko A. V.</b> The influence of single-strand breaks on the passage of a longitudinal wave along the double helix dna	81
<b>Kozel N. V., Domanskii V. P.</b> Ascorbate-glutathione cycle in tobacco plants with overexpression of ascorbate peroxidase under abiotic stress	89

### ANNIVERSARY OF SCIENTIST

Devotional service to science (To the 60 <sup>th</sup> Anniversary of N. N. Kostyukovich)	101
---	-----

## ***ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ***

### **Поздравление Президента Республики Беларусь с Днем белорусской науки**

Деятелям науки, работникам научно-исследовательских институтов  
и высших учебных заведений

Уважаемые друзья!

Сердечно поздравляю вас с Днем белорусской науки.

Во все времена интеллект и творческая мысль исследователя являлись движущей силой общественного прогресса, важнейшей составляющей национального богатства и благосостояния народа. Сегодня Беларуси особенно нужны новые конструктивные идеи и их успешное практическое воплощение. Только так возможно решение масштабных задач социально-экономического развития, стоящих перед нашей страной.

Современное поколение белорусских ученых приумножает традиции своих предшественников, способствует разработке прорывных технологий и их внедрению в производство.

Уверен, что вы всегда будете стремиться к достижению высоких научных результатов, плодотворно трудиться во имя нашей Родины.

Желаю вам, дорогие друзья, великих открытий, реализации самых смелых планов. Счастья, благополучия и здоровья вам и вашим близким!

**Александр Лукашенко**

## **МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ**

### **МЕМОРАНДУМ О ВЗАИМОПОНИМАНИИ**

**между Национальным исследовательским фондом Республики Корея  
и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований\***

заключен между следующими партнерами:

Национальный научный фонд Кореи (далее именуемый «НИФК»), расположенный: 201 Gajeongro, Yuseong-gu, Тэджон, Республика Корея,

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (далее именуемый «БРФФИ»), расположенный: 66, пр. Независимости, Минск, 220072, Республика Беларусь,

именуемыми в дальнейшем совместно «Стороны» и отдельно «Сторона».

1. Целью настоящего Меморандума о взаимопонимании является расширение взаимовыгодного сотрудничества между Сторонами. Основная цель сотрудничества Сторон – предоставление дополнительных возможностей для обмена идеями, информацией, навыками, результатами исследований, поддержка совместной деятельности в области научных исследований между двумя странами.

2. Виды совместной деятельности включают:

совместные исследования (в том числе проведение совместных семинаров, конференций, форумов, а также информационных и индивидуальных обменов); другие виды совместного сотрудничества по взаимной договоренности.

3. Направления совместной деятельности охватывают весь спектр науки, техники, социальных и гуманитарных наук. В финансировании вышеупомянутых видов сотрудничества Стороны должны следовать общим принципам, изложенным в приложении к настоящему Меморандуму. Приложение к настоящему Меморандуму является неотъемлемой частью Меморандума.

4. Для осуществления совместной деятельности, указанной в Приложении, НИФК и БРФФИ организуют рабочую группу, состоящую из координаторов от каждой из Сторон. Рабочая группа проводит встречи обычно раз в три года.

I. Схема совместного финансирования

1. Подробная информация о схемах финансирования каждого вида совместной деятельности Сторон изложена в приложении.

2. Каждая Сторона, как правило, несет расходы по финансированию своей части совместной деятельности.

\* Неофициальный перевод на русский язык.

## II. Разное

1. Каждая сторона финансирует собственные административные расходы пропорционально вкладу при взаимных визитах, если не принято иное совместное решение.

2. Каждая из сторон должна соблюдать действующие законы и положения своей страны, участвуя в этом Меморандуме.

3. Меморандум составлен на английском языке и все документы, уведомления и встречи, касающиеся этого Меморандума, должны быть на английском языке.

4. Стороны поддерживают высокие этические и правовые нормы при финансировании исследований в рамках этого Меморандума.

5. В отношении любого открытия или изобретения, полученного от сотрудничества в рамках этого Меморандума о взаимопонимании, участники совместных исследований консультируются и принимают решение о праве на любую интеллектуальную собственность либо с точки зрения ее коммерческого использования. В ходе консультаций партнеры обязаны учитывать относительный вклад каждого из участников исследования.

6. Участники совместных исследований обеспечивают конфиденциальность полученной в ходе совместных исследований информации и не разглашают данную информацию третьим лицам без письменного согласия другой стороны.

7. Данный Меморандум о взаимопонимании основан на принципах равенства, взаимности и обоюдной выгоды.

## III. Срок действия настоящего Меморандума о взаимопонимании

1. Меморандум о взаимопонимании вступает в силу с даты подписания уполномоченными представителями обеих Сторон и действует в течение трех лет.

2. Поправки и изменения вносятся в Меморандум по взаимному письменному соглашению Сторон. Действие Меморандума продлевается на следующие три года, если одна из Сторон не дает письменного уведомления другой за шесть месяцев до прекращения действия Меморандума о взаимопонимании.

3. Данный Меморандум является взаимным заявлением о намерениях между Сторонами, прилагающими все усилия для их выполнения.

От Белорусского республиканского  
фонда фундаментальных исследований

От Национального исследовательского  
фонда Кореи

В. Орлович  
Председатель Научного совета

Сеунг Йонг Ли  
Президент

13.02.2012

09.02.2012

**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
**к Меморандуму о взаимопонимании между**  
**Национальным исследовательским фондом Кореи (НИФК)**  
**и Белорусским республиканским фондом**  
**фундаментальных исследований (БРФФИ)**  
**для совместной программы исследований**

**I. Область совместных исследований**

Область совместных исследований охватывает следующие научные направления: информационные технологии, биотехнологии, нанотехнологии и энергетические технологии.

Если стороны выразят намерение проводить исследования в других научных областях, решение принимает Рабочая группа, созданная как описано в Меморандуме о взаимопонимании.

**II. Представление заявок**

1. НИФК и БРФФИ объявляют конкурс научных проектов в соответствии со своими правилами и требованиями.

2. Время проведения конкурса, окончательный срок подачи заявок, экспертиза проектов и критерии отбора определяются совместно Рабочей группой.

3. Все заявители должны соблюдать нормы национального законодательства при подаче заявок на получение гранта исследований.

4. После окончательного срока принятия заявок НИФК и БРФФИ обмениваются результатами по поступлению в фонды официальных документов заявок.

5. Заявители назначают со-руководителей проекта с каждой стороны.

6. Каждая заявка должна включать, по крайней мере, следующие приложения (на английском языке):

аннотацию совместных исследований (не более одной страницы);

совместный план исследования (не более тридцати страниц), в котором указываются:

описание результатов, которые можно ожидать от сотрудничества;

четкое описание программы научно-исследовательского сотрудничества (распределение работ и методы реализации);

обязанности обоих партнеров;

совместную калькуляцию проекта, включая отдельные калькуляции партнеров. Бюджет может включать затраты на заработную плату, поездки, взаимные визиты, семинары, оборудование и расходные материалы, накладные расходы и т. д. В плане научных исследований должно быть указано обоснование расходов, а также средств, запрашиваемых на каждого исполнителя;

описание:

ожидаемых результатов предлагаемого проекта, а также значимость его для экономики и общества;

значимости проекта в подготовке научных кадров и развитии исследований по экологии;

состояния текущего сотрудничества корейского и белорусского коллективов, конкретные преимущества и вклад каждой из сторон;

как проект поможет укрепить научное сотрудничество между Беларусью и Кореей в долговременной перспективе;

как данная проблема решается другими научными коллективами в мире;

как будет осуществляться защита интеллектуальной собственности и ноу-хау, связанных с выполнением совместного исследовательского проекта.

биографические данные обоих руководителей проекта (основная информация – образование, прошлая и настоящая должности, членство в научных организациях / ассоциациях, причем каждое описание не должно занимать более одной страницы);

список из пяти лучших статей и других публикаций обоих руководителей проекта.

### III. Экспертиза проекта

1. БРФФИ и НИФК будут осуществлять экспертизу и ранжирование заявок в соответствии с собственными правилами оценки проектов.

2. Критерии экспертизы будут основаны на следующем:

а. актуальность;

б. качество проекта;

в. качество руководства проектом и методологии;

г. глобальное значение проекта;

д. качество коллектива и хорошее взаимодействие между партнерами;

е. мобилизация ресурсов;

ж. значимость результатов, которые следует ожидать от корейско-белорусского научного сотрудничества;

з. сбалансированность научного и финансового вкладов.

3. Стороны будут обмениваться результатами экспертизы и ранжирования проектов и после обсуждения отберут совместным решением проекты для финансирования. Если одна из сторон не согласится финансировать какой-либо из проектов, он отклоняется.

### IV. Финансирование

1. На основании экспертизы совместных исследовательских проектов, обсуждения результатов и консенсуса между сторонами по отбору проектов БРФФИ будет финансировать белорусских исследователей, а НИФК будет финансировать корейских исследователей в соответствии с правилами каждой из сторон.

2. Решение о финансировании будет приниматься самостоятельно, но на основе взаимной договоренности, в зависимости от правил, норм и практики сторон.

3. Каждый проект будет финансироваться в течение двух лет.

4. Финансирование грантов должно осуществляться в зависимости от финансовых возможностей каждой из организаций.

#### **V. Сроки и объявление решения**

1. Стороны соглашаются с тем, что все решения по проектам принимаются в соответствии с общим графиком. Общий график совместного конкурса научных проектов будет принят по взаимному письменному согласию сторон.

2. НИФК и БРФФИ должны одновременно сообщать о результатах конкурса проектов.

#### **VI. Интеллектуальная собственность**

1. Стороны не имеют никаких претензий на права интеллектуальной собственности, вытекающие из отдельных проектов, так как они только представляют гранты в поддержку научно-исследовательской деятельности. Права интеллектуальной собственности принадлежат исследователю и его учреждению. Обеспечение эффективной защиты и правильное распределение любой интеллектуальной собственности – это ответственность каждого партнера по совместным исследованиям.

2. Руководители проектов и их организации заключают Соглашение о консорциуме для того, чтобы определить, как будет осуществляться реализация права интеллектуальной собственности. Соглашение о консорциуме должно быть подписано, а НИФК и БРФФИ информированы об этом.

#### **VII. Отчетность**

1. Руководитель проекта с каждой стороны представляет отчет в свой национальный фонд в соответствии с его нормами, правилами, практикой и формами отчетности.

2. Отчетность предусматривает представление промежуточного и окончательного отчетов по проекту. НИФК и БРФФИ будут использовать эти отчеты для проверки выполнения этапов и целей проекта. Если этапы не выполнены, НИФК и БРФФИ имеют право прекратить финансирование проекта.

3. Указание на поддержку, полученную от НИФК и БРФФИ, должно быть сделано в публикации любого исследования по проекту.

#### **VIII. Координатор деятельности**

1. Каждая сторона назначает координатора деятельности, который будет отвечать за реализацию сотрудничества между сторонами в рамках настоящего Приложения и за информирование сторон о результатах деятельности.

2. Координаторами, назначенными сторонами, являются:

Для БРФФИ:

Начальник Отдела зарубежных связей

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований

66, пр. Независимости, Минск, 220072, Республика Беларусь

Тел. +375-17-294-92-17

Для НИФК:

Заместитель директора Центра международных отношений

(Управление по американским и европейским делам)

Национальный научный фонд Кореи

25 Neolleungno, Seocho-гу, Сеул, Республика Корея

Тел. (82)2-3460-5617

28 февраля 2012 г.

Национальная академия наук Беларуси

## **КОНКУРСЫ БРФФИ: НОРМАТИВНАЯ БАЗА**

УТВЕРЖДЕНЫ  
решением бюро  
Научного совета БРФФИ  
от 28 декабря 2011 г.  
(протокол № 10)

### **УСЛОВИЯ**

#### **конкурса совместных научных проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Вьетнамской академии наук и технологий «БРФФИ–ВАНТ-2013»**

##### **Общие положения**

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (Фонд, БРФФИ) и Вьетнамская академия наук и технологий (ВАНТ), в соответствии с заключенным между ними Соглашением о сотрудничестве, объявляют конкурс совместных проектов фундаментальных исследований с целью консолидации усилий для финансирования научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Социалистической Республики Вьетнам по актуальным для обеих сторон научным направлениям, в частности, для белорусской стороны – соответствующим перечню, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19.04.2010.

2. Конкурс проводится по следующим научным направлениям:

- современные материалы и композиты;
- нанотехнологии;
- информационные технологии, связь и коммуникации;
- лазерно-оптическая техника и технологии;
- энергетическая безопасность;
- экологическая безопасность;
- био- и медтехнологии.

3. Заявки на конкурс подаются одновременно в БРФФИ и ВАНТ в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусскими учеными – в БРФФИ, вьетнамскими – в ВАНТ.

В БРФФИ принимаются заявки ученых, проживающих в Республике Беларусь и работающих в организациях, являющихся резидентами Республики Беларусь. Заявки представляются на русском (белорусском) и английском языках.

Состав участников, наименование проекта, ключевые слова, основные формулировки в обоих вариантах заявки должны быть идентичными, а программа исследований – взаимно согласованной по срокам и содержанию. В составе каждого коллектива должно быть не менее одного молодого ученого в возрасте до 35 лет по состоянию на 1 марта 2012 г.

В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, какие – вьетнамская.

Конкурсный отбор проектов осуществляется в установленном порядке.

Одно и то же лицо с белорусской стороны может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов по Фонду: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «Наука (НАНБ–вузы)» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС».

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

4. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов, прошедших отбор в обеих организациях, при этом каждая сторона финансирует свою часть проекта. Финансирование работ белорусских ученых осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями – исполнителями проектов за счет средств республиканского бюджета. В случае необходимости организации-исполнители белорусской и вьетнамской сторон заключают между собой соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов). Данное соглашение может оформляться только после получения гранта и к заявке не прилагается.

Приветствуется доленое участие в финансировании работ организаций – исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям.

Условия финансирования вьетнамских исполнителей проектов определяются правилами ВАНТ.

5. Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке БРФФИ и ВАНТ.

В итоговом и промежуточном отчетах по проекту, представляемых белорусскими исполнителями в БРФФИ, кратко должны быть отражены в отдельном разделе (главе, параграфе и т. п.) результаты, полученные учеными вьетнамской стороны и (или) совместно.

6. Гранты, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня утверждения итогов конкурса, отменяются.

### Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ

7. На конкурс представляются проекты по приоритетным направлениям фундаментальных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

8. При рассмотрении проектов оцениваются:

- актуальность тематики;
- соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19.04.2010, а также мировым тенденциям развития науки;
- наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;
- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации в будущем:
  - в виде экспериментальных или опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;
  - при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства Беларуси и России;
  - в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;
  - в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;
  - в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение работ по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;
  - в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;
- соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения запланированных конечных результатов;
- научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;
- наличие необходимой материально-технической базы;
- результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического и социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных организаций и/или отраслевых НИИ и КБ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов на изобретения или монографию по научному направлению проекта и/или в смежных областях, опубликованных в течение последних трех лет.

9. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать двух лет.

Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (в случае получения гранта он будет отменен), а исполнители лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение пяти лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, а также получившие ранее поддержку других фондов и организаций Республики Беларусь, к участию в конкурсе «БРФФИ–ВАНТ-2013» не допускаются.

10. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в четырех отдельно скрепленных экземплярах (на русском или белорусском языке – 3 экз., на английском языке – 1 экз.). В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки.

Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

– титульный лист заявки (форма П1В);

– аннотацию (форма П2В);

– обоснование проекта (форма П3В), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены вьетнамским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а белорусским партнером – вьетнамской стороне, также приводится план работы партнера;

– научную биографию руководителя проекта с белорусской стороны (форма П4В);

– калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5В) с расшифровкой статей затрат. Количество штатных единиц не должно превышать пяти. Затраты по статье «Научно-производственные командировки» не должны превышать 20 % от плановой стоимости проекта. Зарубежные командировки (кроме СНГ) планируются только в организацию, где работает зарубежный партнер, при этом в обязательном порядке должна быть запланирована поездка молодого ученого. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой стоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

– перечень научных трудов руководителя проекта с белорусской стороны по научному направлению проекта и/или в смежных областях (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6В).

При представлении заявок на исследования, требующие использования дорогостоящей инфраструктуры (сложных приборов коллективного пользования и др.) и дорогостоящих образцов, добытых в рамках других программ и проектов (образцов горных пород, биологических образцов и препаратов и др.), авторам необходимо приложить письменное согласие руководителей соответствующих организаций на доступ к такой инфраструктуре и образцам.

Авторам предоставляется право указывать нежелательных экспертов (но не организации) по своему проекту. Информация об этом приводится на отдельном листе, который прилагается к материалам заявки.

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта и/или в смежных областях (до пяти наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

### **Сроки и условия участия в конкурсе**

11. Заявки на конкурс в БРФФИ представляются по 1 марта 2012 года. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

К конкурсу не допускаются заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

12. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на сайте Фонда.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы белорусских ученых на конкурс направляются в исполнительную дирекцию Белорусского республиканского фонда фундаментальных исслед-

дований по адресу: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, телефоны для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле, медико-фармацевтические науки), 294-92-17 (отдел международных связей, аграрно-биологические науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

Национальная академия наук Беларуси

УТВЕРЖДЕНЫ  
решением бюро  
Научного совета БРФФИ  
от 6 марта 2012  
(протокол № 2)

**УСЛОВИЯ**  
**конкурса совместных научных проектов**  
**Белорусского республиканского фонда фундаментальных**  
**исследований и Национального центра научных исследований**  
**Франции «БРФФИ-НЦНИ(PICS)-2013»**

**Общие положения**

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) и Национальный центр научных исследований Франции (НЦНИ) объявляют конкурс совместных научных проектов в рамках Международных программ научного сотрудничества (PICS) и в соответствии с заключенным между ними Соглашением о научном сотрудничестве. Целью конкурса является финансовая поддержка творческих научных коллективов, занимающихся решением актуальных проблем, представляющих наибольший интерес для сторон и соответствующих приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований.

2. Конкурс проводится в следующих областях фундаментальных исследований:

- физика, математика и информатика,
- технические науки,
- химия и науки о Земле,
- биологические и аграрные науки,
- медико-фармацевтические науки,
- гуманитарные науки.

3. В конкурсе могут участвовать французские исследователи, работающие в лабораториях НЦНИ, и белорусские исследователи, работающие в организациях, осуществляющих фундаментальные исследования. Оба коллектива должны иметь опыт сотрудничества и совместно опубликованные научные статьи.

4. Заявки на конкурс подаются одновременно: белорусскими учеными – в БРФФИ, французскими – в НЦНИ в соответствии с установленными в них формами. Заявки представляются на русском (белорусском) и английском языках. Состав участников, наименование проекта, ключевые слова, основные формули-

ровки в обоих вариантах должны быть идентичными, а программа исследований – взаимно согласованной по срокам и содержанию. В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, какие – французская, а какие – выполняются совместно.

Одно и то же лицо с белорусской стороны может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов по Фонду: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «Наука (НАНБ-вузы)» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2013 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2013 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

Экспертизу проектов с белорусской стороны выполняет БРФФИ, с французской стороны – НЦНИ. Совместная комиссия дает окончательную оценку и проводит отбор совместных проектов, исходя из их научной ценности и устанавливаемого ежегодного бюджета финансирования.

5. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов фундаментальных исследований. Каждая страна финансирует свою часть проекта. Финансирование работ белорусских ученых осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями – исполнителями проектов за счет средств республиканского бюджета. Организации-исполнители белорусской и французской сторон после успешного прохождения конкурса при необходимости заключают между собой Соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов). Данное соглашение оформляется только после получения гранта и к заявке не прикладывается.

Приветствуется доленое участие в финансировании работ организаций – исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям.

6. Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты совместных исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке Фонда и НЦНИ. В годовом и итоговом отчетах по проекту должны быть кратко отражены в отдельном разделе (главе, параграфе и т. п.) результаты, полученные учеными французской стороны и (или) совместно.

7. Гранты Фонда, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня утверждения итогов конкурса, отменяются.

### Требования к проектам, представляемым на конкурс

8. На конкурс принимаются проекты, представляющие взаимный интерес и соответствующие приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

9. При рассмотрении проектов оцениваются:

– соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585, а также мировым тенденциям развития науки;

– актуальность тематики;

– наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) авторов проекта, степень ее оригинальности;

– научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации в будущем:

в виде экспериментальных образцов, прошедших испытания в производственных условиях, опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;

при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства Беларуси и России;

в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;

в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;

в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение работ по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;

в использовании результатов НИР в документах государственных органов Республики Беларусь;

– соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения запланированных конечных результатов;

– научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;

– наличие необходимой материально-технической базы;

– результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического и социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных организаций и/или отраслевых НИИ и КБ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов или монографию по научному направлению

проекта и/или в смежных областях, опубликованных в течение последних трех лет, а исполнители (в том числе и руководитель) проекта – не менее одной научной статьи, опубликованной в рецензируемом научном журнале совместно с французскими исследователями, участвующими в выполнении предлагаемого проекта.

10. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать трех лет с однократной возможностью последующего конкурсного продления.

Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса (в случае получения гранта он будет отменен), а исполнители – лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, а также получившие ранее поддержку других фондов и организаций Республики Беларусь, к участию в конкурсе «БРФФИ–НЦНИ (PICS)-2013» не допускаются.

11. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в четырех отдельно скрепленных экземплярах (на русском или белорусском языке – 3 экз., на английском языке – 1 экз.). В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

- титульный лист заявки (форма П1pics);
- аннотацию (форма П2pics);
- обоснование проекта (форма П3pics), в котором обязательно дается обоснование целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены французским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а белорусским партнером – французской стороне; также приводится план работы партнера;

- научную биографию руководителя проекта с белорусской стороны (форма П4pics);

- калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5pics) с расшифровкой статей затрат. Количество штатных единиц не должно превышать пяти. Затраты по статье «Научно-производственные командировки» не должны превышать 20 % от плановой себестоимости проекта. Зарубежные командировки (кроме СНГ) планируются только в организацию, где работает зарубежный партнер. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием

такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой себестоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

– перечень научных трудов руководителя проекта с белорусской стороны по научному направлению проекта и/или в смежных областях (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма Пбрис) – в русской версии.

При представлении заявок на исследования, требующие использования дорогостоящей инфраструктуры (сложных приборов коллективного пользования и др.) и дорогостоящих образцов, добытых в рамках других программ и проектов (образцов горных пород, биологических образцов и препаратов и др.), авторам необходимо приложить письменное согласие руководителей соответствующих организаций на доступ к такой инфраструктуре и образцам.

Авторам предоставляется право указывать нежелательных экспертов (но не организации) по своему проекту. Информация об этом приводится на отдельном листе, который прилагается к материалам заявки.

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки. Обязательно представляются копии статей, опубликованных совместно с французскими участниками проекта. В случае если совместных научных трудов много, представляются копии основных из них и дополнительно прикладывается список всех совместных публикаций.

### **Сроки и условия участия в конкурсе**

12. Заявки на конкурс в БРФФИ принимаются по 31 мая 2012 года (представление заявок в НЦНИ для предварительного отбора французской стороной – по 30 апреля 2012 года). Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении. Информацию о НЦНИ можно найти на сайте <http://www.cnrs.fr>.

К конкурсу не допускаются заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок сообщается авторам по их запросу.

13. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на сайте Фонда.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

14. Материалы направляются в адрес исполнительной дирекции Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, тел. для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле, медико-фармацевтические науки), 284-06-38 (гуманитарные науки), 294-92-17 (отдел международных связей; аграрно- биологические науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

УТВЕРЖДЕНЫ  
решением бюро  
Научного совета БРФФИ  
от 6 марта 2012 г.  
(протокол № 2)

**УСЛОВИЯ**  
**конкурса совместных научных проектов**  
**Белорусского республиканского фонда фундаментальных**  
**исследований и Национального исследовательского фонда Кореи**  
**«БРФФИ–НИФК-2013»**

**Общие положения**

1. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) и Национальный исследовательский фонд Кореи (НИФК), в соответствии с заключенным между ними Меморандумом о взаимопонимании, объявляют конкурс совместных проектов фундаментальных исследований с целью консолидации усилий для финансирования научных исследований, выполняемых совместно учеными Республики Беларусь и Республики Корея по актуальным для обеих сторон научным направлениям, в частности, для белорусской стороны – соответствующим перечню, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19.04.2010.

2. Конкурс проводится по следующим научным направлениям:

- нанотехнологии,
- информационные технологии,
- энергетика,
- биотехнологии.

3. Заявки на конкурс подаются одновременно в БРФФИ и НИФК в соответствии с установленными в них формами, при этом белорусскими учеными – в БРФФИ, корейскими – в НИФК.

В БРФФИ принимаются заявки ученых, проживающих в Республике Беларусь и работающих в организациях, являющихся резидентами Республики Беларусь. Заявки представляются на русском (белорусском) и английском языках.

Состав участников, наименование проекта, ключевые слова, основные формулировки в обоих вариантах заявки должны быть идентичными, а программа исследований – взаимно согласованной по срокам и содержанию. В программе исследований должно быть четко отражено, какие задачи выполняет белорусская сторона, какие – корейская.

Конкурсный отбор проектов осуществляется в установленном порядке.

Одно и то же лицо с белорусской стороны может одновременно входить в состав исполнителей не более трех исследовательских проектов по Фонду: одного общереспубликанского («Наука», «Наука М», «Ученый»), одного целевого республиканского («БРФФИ–Брест», «Наука (НАНБ–вузы)» и др.) и одного международного, включая конкурс «Наука МС», или одного республиканского любого вида и двух международных, включая конкурс «Наука МС». Проекты, которые заканчиваются в 1 квартале 2013 г., не учитываются.

При этом ученый может быть руководителем не более двух проектов, а в рамках одного вида конкурсов участвовать (в качестве как руководителя, так и исполнителя) не более чем в одном проекте.

Если при подаче заявки на конкурс 2013 г. обнаружится нарушение любого из вышеперечисленных ограничений, то эта заявка не будет допущена к конкурсу.

4. По результатам конкурса осуществляется целевое финансирование проектов, прошедших отбор в обеих организациях, при этом каждая сторона финансирует свою часть проекта. Финансирование работ белорусских ученых осуществляется на основе договоров между Фондом и организациями – исполнителями проектов за счет средств республиканского бюджета. В случае необходимости организации-исполнители белорусской и корейской сторон заключают между собой соглашение о защите и использовании прав интеллектуальной собственности (типовое соглашение находится в формах заявочных материалов). Данное соглашение оформляется только после получения гранта и к заявке не прикладывается.

Приветствуется доленое участие в финансировании работ организаций – исполнителей проектов, а также заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных исследований по конкретным научным направлениям.

Условия финансирования корейских исполнителей проектов определяются правилами НИФК.

5. Необходимым условием предоставления грантов является обязательство ученых сделать результаты исследований общественным достоянием с опубликованием их в научных изданиях с указанием о поддержке БРФФИ и НИФК.

В итоговом и промежуточном отчетах по проекту, представляемых белорусскими исполнителями в БРФФИ, должны быть кратко отражены в отдельном разделе (главе, параграфе и т. п.) результаты, полученные учеными корейской стороны и (или) совместно.

6. Гранты, по которым исполнители не заключили без уважительных причин договоры в течение двух месяцев со дня утверждения итогов конкурса, отменяются.

#### **Требования к проектам, представляемым на конкурс в БРФФИ**

7. На конкурс представляются проекты по приоритетным направлениям фундаментальных исследований, способные внести существенный вклад в расширение и углубление научных знаний, отличающиеся новизной в постановке и методах проведения исследований и имеющие большую научную и практическую значимость.

8. При рассмотрении проектов оцениваются:

- актуальность тематики;
- соответствие целей, задач и тематики проектов приоритетным направлениям фундаментальных научных исследований в соответствии с перечнем, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19.04.2010, а также мировым тенденциям развития науки;
- наличие четко сформулированной и обоснованной идеи (гипотезы) проекта, степень ее оригинальности;
- научная значимость запланированных результатов и возможность их практической реализации в будущем:
  - в виде экспериментальных или опытных образцов, опытных партий или промышленных серий в различного вида производствах;
  - при выполнении заданий государственных научно-технических программ или программ Союзного государства Беларуси и России;
  - в издании учебников и других учебных материалов в системе образования;
  - в патентах на изобретения, подтверждающих предпосылку для практической реализации, в том числе и на производстве;
  - в заключении контрактов с зарубежными организациями на выполнение разработок по результатам фундаментальных исследований и выполнении международных проектов;
  - в использовании результатов НИР в материалах государственных органов Республики Беларусь;
- соответствие программы исследования целям и задачам проекта, а также возможность достижения запланированных конечных результатов;
- научная квалификация руководителя проекта и всего научного коллектива;
- наличие необходимой материально-технической базы;
- результативность предыдущих проектов по Фонду, выполненных под руководством данного ученого.

Преимущество отдается проектам, направленным на решение актуальных научных проблем по приоритетным направлениям научно-технического и социально-экономического развития Республики Беларусь, а также проектам, в состав исполнителей которых входят представители региональных организаций и/или отраслевых НИИ и КБ.

Руководитель проекта должен иметь не менее трех статей в авторитетных научных журналах и/или патентов на изобретения или монографию по научному направлению проекта и/или в смежных областях, опубликованных в течение последних трех лет.

9. Срок выполнения проекта, как правило, не должен превышать двух лет.

Дублирование плановой тематики не допускается.

Если в процессе конкурса исполнители получили по заявленной теме финансирование из другого источника, то они обязаны в месячный срок поставить Фонд об этом в известность. В противном случае заявка будет снята с конкурса

(в случае получения гранта он будет отменен), а исполнители лишены права участвовать во всех конкурсах Фонда в течение 5 лет.

Проекты, участвовавшие в предыдущих конкурсах Фонда, а также получившие ранее поддержку других фондов и организаций Республики Беларусь, к участию в конкурсе «БРФФИ–НИФК-2013» не допускаются.

10. Заявка на конкурс вносится по установленным формам в четырех отдельно скрепленных экземплярах (на русском или белорусском языке – 3 экз., на английском языке – 1 экз.). В обязательном порядке представляется также электронный вариант заявочных материалов, сформированных в соответствии с инструкцией по составлению электронного варианта заявки. Заявитель несет ответственность, вплоть до снятия проекта с конкурса, за соответствие электронного варианта заявки заявке на бумажном носителе.

Материалы заявки должны включать:

- титульный лист заявки (форма П1Кор);
- аннотацию (форма П2Кор);
- обоснование проекта (форма П3Кор), в котором обязательно приводится аргументация целесообразности проведения совместных исследований с указанием возможностей, которые могут быть предоставлены корейским партнером белорусской стороне (использование оборудования, реактивов, материалов, научной литературы, освоение методик и др.), а белорусским партнером – корейской стороне, также приводится план работы партнера;

- научную биографию руководителя проекта с белорусской стороны (форма П4Кор);

- калькуляцию сметной стоимости проекта с белорусской стороны (форма П5Кор) с расшифровкой статей затрат. Количество штатных единиц не должно превышать пяти. Затраты по статье «Научно-производственные командировки» не должны превышать 20 % от плановой стоимости проекта. Зарубежные командировки (кроме СНГ) планируются только в организацию, где работает зарубежный партнер. Приобретение оборудования не финансируется. Если в процессе выполнения проекта возникнет острая необходимость в приобретении научного оборудования, решение по данному вопросу принимается бюро Научного совета Фонда по ходатайству организации-исполнителя с подробным обоснованием такой необходимости. При этом расходы на эти цели не должны превышать 10 % от плановой стоимости проекта. При наличии организаций-соисполнителей с белорусской стороны представляется также лист согласования расходов, ограничение на количество штатных единиц в этом случае сохраняется;

- перечень научных трудов руководителя проекта с белорусской стороны по научному направлению проекта и/или в смежных областях (до 10 наименований), опубликованных в течение последних трех лет на дату подачи заявки (форма П6Кор).

При представлении заявок на исследования, требующие использования дорогостоящей инфраструктуры (сложных приборов коллективного пользования и др.) и дорогостоящих образцов, добытых в рамках других программ и проектов

(образцов горных пород, биологических образцов и препаратов и др.), авторам необходимо приложить письменное согласие руководителей соответствующих организаций на доступ к такой инфраструктуре и образцам.

Авторам предоставляется право указывать нежелательных экспертов (но не организации) по своему проекту. Информация об этом приводится на отдельном листе, который прилагается к материалам заявки.

Фонд воздерживается от рекомендаций по изменению или дополнению формулировок в материалах заявок, представленных на конкурс, по существу их содержания. По принятым к финансированию проектам секции Научного совета Фонда имеют право вносить предложения по изменению названий проектов и уточнению отдельных их положений, которые обязательны к исполнению руководителями проектов на стадии подготовки договоров на выполнение НИР.

К материалам заявки прилагаются в двух экземплярах копии опубликованных научных трудов по тематике проекта и/или в смежных областях (до 5 наименований), которые скрепляются со 2-м и 3-м экземплярами заявки.

### **Сроки и условия участия в конкурсе**

11. Заявки на конкурс в БРФФИ представляются по 18 мая 2012 года. Для иногородних дата определяется по штемпелю на почтовом отправлении.

К конкурсу не допускаются заявки, оформленные с отклонениями от правил или представленные после объявленного срока. Не допускаются последующие замены страниц и изменения в тексте поданного проекта.

Информация о поступлении в Фонд и регистрации заявок выдается авторам по их запросу.

12. Фонд сообщает только окончательные результаты конкурса, информируя руководителей проектов в течение месяца после его завершения и публикуя списки поддержанных проектов в журнале «Вестник Фонда фундаментальных исследований» и на Web-сайте Фонда.

Апелляции на решения Научного совета и рабочих органов Фонда не принимаются и не рассматриваются. Информация о ходе рассмотрения заявок, включая рецензии на них, является конфиденциальной.

Представленные на конкурс материалы не возвращаются.

13. Материалы белорусских ученых на конкурс направляются в исполнительную дирекцию Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по адресу: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 66, к. 101, телефоны для справок: 294-92-16 (физика, математика и информатика), 284-27-22 (технические науки), 294-93-36 (химия и науки о Земле, медико-фармацевтические науки), 294-92-17 (отдел международных связей, аграрно-биологические науки), 294-93-35 (бухгалтерия); факс 284-08-97.

Условия конкурса и формы заявочных материалов могут быть скопированы на электронный носитель в исполнительной дирекции Фонда или с сайта Фонда <http://fond.bas-net.by> в разделе «Объявленные конкурсы».

**НАУКА БЕЛАРУСИ:  
СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

УДК 001.32–051(476)(062.552)+001.891:303.443.2(476)

*Н. Ю. БЕРЁЗКИНА, Л. А. АВГУЛЬ, О. Н. СИКОРСКАЯ, Г. С. ХРЕНОВА*

**АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ УЧЕНЫХ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ  
ЗА 2006–2010 гг.**

*Центральная научная библиотека им. Я. Коласа НАН Беларуси*

*(Поступила в редакцию 19.12.2011)*

*Рассматриваются публикационная активность ученых Национальной академии наук Беларуси, степень отражения их статей в Web of Science, Scopus, Российском индексе научного цитирования, данные о цитировании работ белорусских авторов за 2006–2010 гг.*

Одним из критериев оценки эффективности труда научного сотрудника (лаборатории, научной организации в целом) может считаться публикационная активность, в том числе суммарное количество публикаций. Однако относительно этого критерия нет единой общепринятой точки зрения: одни специалисты считают, что оценка продуктивности научного труда по суммарному числу публикаций наносит большой вред науке, другие, напротив, утверждают, что это достаточно точный и объективный показатель, так как даже «малосодержательные и особенно ошибочные статьи также могут будить мысль, служить важным толчком для начала новых работ, объектом для конструктивной критики и т. д.» [6, с. 167]. Вполне понятно, что показатель числа публикаций не дает полного представления о значимости научной продукции, но тот факт, что публикация вводит в научный оборот определенную информацию, не подвергается сомнению.

Количество статей, опубликованных в наиболее значимых научных журналах, является одной из характеристик общего уровня развития науки в стране, так как часто престижность опубликованных работ оценивается в соответствии со значимостью журналов. Публикация статей в научных журналах с высоким импакт-фактором способствует более активному и оперативному их цитирова-

нию. Значения импакт-фактора научных изданий можно получить из указателя цитируемости журналов Journal Citation Reports (JCR). Импакт-фактор журнала представляет собой отношение количества всех ссылок за определенный год на статьи журнала, опубликованные за два предыдущих года, к количеству этих статей. Следует учитывать, что в списке журналов, ранжированных по импакт-фактору, разные отрасли науки представлены неравноценно: в верхней части списка, как правило, больше всего журналов по биохимии, цитологии, молекулярной биологии, физике, некоторым разделам медицины.

К сожалению, белорусским исследователям, в силу ряда причин, не всегда удается публиковать свои научные работы в авторитетных журналах. Кроме того, количество ссылок зависит от так называемого эффекта Матфея, согласно которому страны, имеющие самые сильные позиции в науке, склонны получать цитирований даже больше, чем объективно следует из уровня публикаций. По мнению некоторых исследователей, «ученые предпочитают ссылаться на работы авторов из ведущих стран, которые они считают более надежными» [9].

Специалисты в области наукометрии считают наиболее целесообразным рассматривать показатели, характеризующие публикационную активность исследователей, за пятилетний период. Число публикаций, приходившихся на одного исследователя в научных организациях, входящих в состав отделений Национальной академии наук Беларуси, в 2006–2010 гг. изменялось в диапазоне от 1,0 в 2006 г. до 1,3 в 2010 г. [8]. Наиболее высокие показатели характерны для отделений гуманитарных наук и искусств (2,7); физики, математики и информатики (1,6) и медицинских наук (1,6). Среди научно-исследовательских учреждений НАН Беларуси лидируют Институт философии (4,9), Институт языка и литературы (4,7), Научно-практический центр по животноводству (3,0), Институт физиологии (2,9), Институт искусствоведения, этнографии и фольклора (2,7), Институт технической акустики (2,7), Институт истории (2,4), Институт системных исследований в АПК (2,4), Институт технологии металлов (2,3).

Для получения более объективных сведений при анализе исследовательской активности целесообразно использовать одновременно наиболее авторитетные базы данных по научному цитированию Web of Science компании Thomson Reuters и Scopus издательства «Elsevier», так как они несколько отличаются по охвату научных изданий. Web of Science включает следующие базы данных: Science Citation Index Expanded\*; Social Science Citation Index\*\*; Arts & Humanities Citation Index\*\*\*;

\* Science Citation Index Expanded содержит 8300 ведущих научных журналов мира по техническим и естественным наукам, объединенных в 150 научных тем; включает все ссылки к журнальным статьям.

\*\* Social Science Citation Index – указатель статей из 4500 журналов по социологическим дисциплинам по 50 предметным областям.

\*\*\* Arts and Humanities Citation Index включает рефераты статей из 2300 журналов и книг по искусству и гуманитарным наукам. Все публикации распределены по трем темам: история, языкознание и лингвистика, религия и теология.

Conference Proceedings Citation Index-Science\*. БД Scopus содержит информацию из 18 тыс. источников (научных журналов, трудов научных конференций, продолжающихся и других изданий с 1996 г.).

Попробуем проанализировать массив публикаций за 2006–2010 гг., имеющих отношение к НАН Беларуси, в базах данных Scopus и Web of Science. Всего за указанный период в Scopus выявлено 3920 работ, 33,7 % которых приходится на Институт физики (в 2007 г. Институт физики объединен с Институтом молекулярной и атомной физики (ИМАФ) и Институтом электроники), 9,7 % – Институт тепло- и массообмена (ИТМО), 9,6 % – НПЦ по материаловедению, 6,1 % – Институт физико-органической химии (ИФОХ), 6,0 % – Объединенный институт проблем информатики (ОИПИ), 5,2 % – Институт биоорганической химии (ИБОХ), 4,2 % – Институт математики (ИМ) и т. д.

Из 3462 работ в Web of Science, подготовленных с участием ученых НАН Беларуси, большинство составляют публикации, в числе авторов которых исследователи из Института физики (29,5 %). На публикации, в авторский коллектив которых входят представители НПЦ по материаловедению, приходится 9,8 %, ИБОХ – 5,9 %, ИТМО и ИФОХ – по 5,7 %, ИМ – 4,2 %, Института прикладной физики (ИПФ) – 3,9 %, ОИПИ – 2,9 % и т. д.

По данным научного исследования «Мониторинг научно-технического интеграционного процесса России и Белоруссии», осуществленного в 2007–2009 гг. сотрудниками Центральной научной библиотеки НАН Беларуси (ЦНБ НАН Беларуси) и Библиотеки по естественным наукам Российской академии наук (БЕН РАН) при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ; договор с БРФФИ № Г07Р-016) и Российского гуманитарного научного фонда (РГНФ), в период с 1993 по 2006 г. в Web of Science в среднем ежегодно отражалось 629 статей ученых НАН Беларуси [1, с. 18; 2, с. 12]. В 2006–2010 гг. в Web of Science в среднем учитывалось 692 публикации в год, в Scopus – 784.

Степень отражения публикаций сотрудников НАН Беларуси в БД Scopus в 2006–2010 гг. составляла в среднем 14,9 %, в Web of Science – 12,2 %. К числу организаций, в которых этот показатель выше 50 %, относятся ИФОХ – 61,2 % в Scopus и 50,4 % в Web of Science, Институт химии новых материалов – соответственно 54,2 % и 52,8 %; более 40 % – ИБОХ (44,2 % в Scopus и 44,0 % в Web of Science), Институт физики (42,7 % и 35,6 % соответственно). В 1993–2006 гг. в Web of Science было представлено в среднем 10 % всех публикаций сотрудников НАН Беларуси [1, с. 19; 2, с. 12].

\* Conference Proceedings Citation Index-Social Science & Humanities (ISI Proceedings) охватывает материалы наиболее престижных конференций в различных областях знания по 256 дисциплинам (хронологический охват с 1990 г.), состоит из двух серий: Science and Technology содержит труды конференций по сельскому хозяйству, экологии, биохимии, молекулярной биологии, биотехнологии, медицине, технике, химии и физике; Social Sciences and Humanities содержит труды конференций по всем отраслям общественных наук, искусства и гуманитарных наук.

В последние годы наблюдается тенденция к увеличению количества публикаций сотрудников НАН Беларуси, однако показатели их отражения в базах данных по научному цитированию несколько уменьшились, например, в 2006 г. в Scopus было представлено 27 % статей авторов из НАН Беларуси, а в 2010 г. – только 17,8 %. На наш взгляд, это обусловлено тем, что публикации за последний год отражены в базах данных в неполном объеме (вероятно, из-за большого массива информации). Кроме того, в определенной степени это может быть связано с сокращением количества журналов Беларуси в Scopus и Web of Science. В настоящее время в этих базах данных представлены только журналы, переведенные на английский язык и публикуемые в зарубежных издательствах: «Journal of Friction and Wear» (Web of Science, Scopus), «Journal of Applied Spectroscopy» (Web of Science, Scopus), «Heat Transfer Research» (Web of Science), «Journal of Engineering Physics and Thermophysics» (Scopus). Ранее в Scopus было выявлено 39 изданий, выходящих в Республике Беларусь, в том числе «Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (5 серий), «Доклады Национальной академии наук Беларуси», «Вестник Белорусского государственного университета» (2 серии), «Журнал прикладной спектроскопии», «Инженерно-физический журнал», «Трение и износ», «Литосфера» и др. В Web of Science были представлены «Доклады Национальной академии наук Беларуси».

Одним из важных критериев оценки значимости научных публикаций является их цитируемость (общее число ссылок, среднее количество ссылок на статью). В 2006–2010 гг. на работы, авторами которых являются представители НАН Беларуси, сделаны, по данным Scopus, 31083 ссылки (в среднем на одну статью приходится 7,9 ссылки), а по данным Web of Science – 30951 ссылка (в среднем 8,9 ссылки). Наибольшее количество ссылок в 2006–2010 гг. на статьи за все годы, размещенные в базах данных Scopus, приходится на Институт физики (34,0 % от всего массива ссылок), 11,8 % составляют ссылки на статьи сотрудников НПП по материаловедению, 8,5 % – ИТМО, 7,0 % – ИБОХ, 6,3 % – ОИПИ, 3,1 % – Гродненского филиала Института фармакологии и биохимии и т. д.

Опубликованные в 2006–2010 гг. статьи, в состав авторского коллектива которых входят сотрудники академических институтов, цитировались 5776 раз (по данным Scopus) и 9370 раз (по данным Web of Science). Среднее количество ссылок на публикации в указанный период составляет 1,5 в Scopus и 2,7 в Web of Science. Статьи за 2009–2010 гг. еще не попали в зону активного цитирования. Как правило, статья начинает цитироваться только через год после опубликования, достигнув максимального значения количества ссылок через два года, затем может наступить некоторый спад цитирования. Минимально цитируется статья в год опубликования, что вполне закономерно. Ученые, заинтересованные в определенной информации (в тех или иных данных, опубликованных в статьях), не всегда успевают ознакомиться со всеми источниками информации по интересующей их теме, особенно это касается публикаций последних лет, и, соответственно, оценить и отреагировать (сделать ссылку) на помещенные в них данные.

В связи с этим показатели среднего цитирования на работы за последние годы нельзя считать устоявшимися, так как картина цитирования с течением времени будет меняться. Кроме того, как отмечает В. А. Маркусова, «при использовании показателей цитируемости нужно иметь в виду, что научные публикации неанглоязычных стран имеют более длительный интервал (gap) между временем опубликования статьи и ее цитируемостью» [5, с. 22].

Самые высокие средние показатели цитируемости статей, опубликованных в 2006–2010 гг., по данным Scopus, выявлены для НПЦ по биоресурсам – 6,2 (198 ссылок на 32 статьи), Института искусствоведения, этнографии и фольклора – 3,2 (38 ссылок на 12 статей), Института фармакологии и биохимии – 2,6 (153 ссылки на 59 статей), Института биофизики и клеточной инженерии – 2,4 (164 ссылки на 69 статей), ИТМО – 2,1 (810 ссылок на 382 статьи) и др. Выше среднего показатели цитируемости, по данным Web of Science, для НПЦ по биоресурсам – 6,0 (199 ссылок на 33 статьи), ОИПИ – 4,2 (423 ссылки на 101 статью), ИТМО – 3,9 (774 ссылки на 199 статей), Института искусствоведения, этнографии и фольклора – 3,3 (33 ссылки на 10 статей), Института биофизики и клеточной инженерии – 3,2 (190 ссылок на 60 статей), Объединенного института энергетических и ядерных проблем – «Сосны» – 3,1 (269 ссылок на 87 статей) и др.

Среди работ авторов из НАН Беларуси, вызвавших наибольшее количество цитирований в 2006–2010 гг., в Scopus выявлены следующие публикации:

«Absorption and emission of hexagonal InN. Evidence of narrow fundamental band gap» в журнале «Physica Status Solidi (B) Basic Reserch» (2002) главного научного сотрудника НПЦ по материаловедению А. В. Мудрого (394 ссылки в 2006–2010 гг., всего 690 ссылок);

«Scheduling with batching: a review» в журнале «European Journal of Operational Research» (2000) зам. директора ОИПИ М. Я. Ковалева (210 ссылок в 2006–2010 гг., всего 323 ссылки);

«Magnetoelectric bilayer and multilayer structures of magnetostrictive and piezoelectric oxides» в журнале «Physical Review B» (2001) Ю. И. Бохана и В. М. Лалетина (Институт технической акустики, Витебск; 174 ссылки в 2006–2010 гг., всего 257 ссылок).

Из публикаций за последние годы наиболее цитируемыми являются статьи «A survey of scheduling problems with setup times or costs» (2008) М. Я. Ковалева (191 ссылка в Scopus и 136 ссылок в Web of Science); «Alien species in a warmer world: risks and opportunities» (2009) зам. директора по научной работе НПЦ по биоресурсам В. П. Семенченко (75 ссылок в Scopus и 62 ссылки в Web of Science), «Atomic force microscopy probing of cell elasticity» (2007) главного ученого секретаря НАН Беларуси С. А. Чижика (по 56 ссылок в Scopus и Web of Science), «Systematic lidar observations of Saharan dust over Europe in the frame of EARLINET (2000–2002)» (2008) зав. лабораторией Института физики А. П. Чайковского (55 ссылок в Scopus и 48 в Web of Science) и др.

Согласно «Essential Science Indicators»\* по состоянию на 01.09.2011, Беларусь занимает 67-е место по количеству ссылок по всем отраслям знания (для сравнения: Вьетнам – 63-е место, Куба – 65-е, Сербия – 79-е, Армения – 80-е). По отдельным отраслям наук картина следующая: по количеству ссылок по физике – Беларусь на 50-м месте, материаловедению – на 51-м месте, химии и техническим наукам – на 55-м месте, биологии и биохимии, математике – на 64-м месте, молекулярной биологии и генетике – на 74-м месте, клинической медицине – на 95-м месте и др.

С 2005 г. в России реализуется проект по созданию Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), который является важным инструментом оценки уровня научных журналов и исследовательской активности ученых. Наибольшее количество публикаций и ссылок на статьи сотрудников институтов НАН Беларуси за 2006–2010 гг., отраженных в РИНЦ, приходится на Институт физики (499 статей, 779 ссылок), ИТМО (158 статей, 149 ссылок), Институт механики металлополимерных систем (126 статей, 123 ссылки).

В мае 2010 г. начат совместный проект ЦНБ НАН Беларуси и БЕН РАН «Разработка системы библиометрических индикаторов для оценки вклада различных фондов в совместные научные исследования России и Беларуси», получивший финансовую поддержку БРФФИ (договор с БРФФИ № Г10Р-014) и РГНФ. Как показал анализ совместных российско-белорусских публикаций, вышедших в 2009 г. и представленных в Web of Science, 54 % статей издано при поддержке различных фондов. В общей сложности, более 200 различных организаций финансировали российско-белорусские исследования целевым способом [7, с. 55]. При этом основная доля публикаций издана при участии Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), БРФФИ, включая совместные программы РФФИ–БРФФИ [7, с. 56].

Одной из целей НИР является определение исследовательской активности ученых Беларуси с использованием следующих индикаторов: общее число публикаций, общее число публикаций белорусских авторов, выполненных при поддержке различных фондов. Соотношение общего количества публикаций белорусских авторов и публикаций, выполненных по работам, имеющим грантовую поддержку, объективно отражает положительную тенденцию увеличения количества научных работ, опубликованных при поддержке фондов (рисунок). Так, в 2009 г. 30 % из общего количества статей в базе данных Web of Science, авторами которых являются исследователи из Беларуси, составили публикации по итогам НИР, выполняемых при поддержке фондов, в 2007 г. таких работ было представлено в Web of Science только 0,4 % [3, с. 256; 4, с. 49]. Аналогичные данные получены в Scopus: в 2007 г. выявлено 0,4 % публикаций, подготовленных при поддержке фондов, в 2009 г. – 28,2 %.

\* Essential Science Indicators (ISI ESI) – наукометрическая база данных компании Thomson Reuters, представляет информацию об основных тенденциях развития науки в мире, включает данные по наиболее цитируемым статьям как отдельных ученых, организаций, журналов, так и стран в целом.

Данные, полученные в ходе исследования, свидетельствуют о повышении публикационной активности ученых НАН Беларуси, выполняющих исследования при поддержке фондов: в 2007 г. было представлено только 4 публикации (что составляет 0,5 % от общего количества статей в Web of Science), в 2009 г. – 202 работы (30 %), в 2010 г. – 246 (38,7 %).

Всего в Web of Science выявлена 401 работа за 2006–2010 гг., в числе авторов которых представители НАН Беларуси и получившая 1054 ссылки. Наибольшее количество публикаций, выполненных при поддержке различных фондов в указанный период, приходится на БРФФИ – 48,4 %, РФФИ – 25,3 %, INTAS – 5,5 %.

В рамках исследования был определен рейтинг учреждений НАН Беларуси по количеству опубликованных работ, выполненных при грантовой поддержке, их цитированию относительно к поддерживавшим их фондам. Первую позицию занимает Институт физики (опубликовано 111 статей, общее цитирование – 244), при этом при поддержке БРФФИ подготовлено 52,4 % публикаций, РФФИ – 16,2 %, International Science and Technology Center (МНТЦ, Россия) – 11,7 %, INTAS – 4,5 %. Поддержка публикаций другими фондами менее значительна. Вторую позицию в рейтинге занимает НПЦ по материаловедению (56 статей, 104 ссылки), из них при поддержке БРФФИ опубликовано 58,9 % статей, РФФИ – 12,5 %, European Commission\* – 7,1 %. Исследователи ИТМО опубликовали при поддержке фондов 30 работ (131 ссылка): при поддержке БРФФИ – 36,7 % статей, INTAS, Grant Agency of the Academy of Sciences of Czech Republic, Scholar Rescue Fund of the Institute of International Education (SRF) USA – по 13,3 %.

Показатели, характеризующие публикационную активность (количество статей, отраженных в базах данных по научному цитированию, количество ссылок) ученых НАН Беларуси в 2006–2010 гг., несколько увеличились по сравнению с периодом 1993–2006 гг. Наблюдается увеличение количества научных статей, опубликованных в рамках исследований, проведенных при финансовой поддерж-



Соотношение общего количества научных публикаций белорусских авторов и количества публикаций, выполненных при поддержке различных фондов, в 2006–2009 гг. (по данным Web of Science)

\* Рамочные программы, финансируемые из фондов: FP6 – по расширению научно-исследовательского потенциала Евросоюза и стран с развитым научным потенциалом; FP7 – по научным исследованиям и технологическому развитию и др.

ке фондов, при этом наибольшее число публикаций приходится на исследования, выполненные по грантам БРФФИ.

От принадлежности исследователей к той или иной предметной области зависит степень интегрированности авторов в мировое научное сообщество и, соответственно, интерес к их публикациям, выражающийся в количестве ссылок. Показатели цитируемости определенным образом характеризуют степень влияния работы конкретного ученого на развитие других исследований в данной предметной области. Данные о цитируемости работ отдельного ученого следует сравнивать не с общими данными о цитировании, а только с соответствующими показателями его коллег той же специальности или области исследования. В связи с этим к сравнению деятельности различных научных коллективов, научных организаций необходимо подходить осторожно. Цитируемость статей зависит также от языка, на котором опубликована статья, типа публикации (обзорные статьи цитируются чаще), от журнала, в котором помещена статья. Статьи, опубликованные в журналах с высоким импакт-фактором, имеют больше шансов, что на них будут ссылаться.

Анализ данных о цитировании как один из методов оценки научной деятельности позволяет выявить степень влияния того или иного исследования на развитие науки, вклад в науку отдельных ученых и организаций, однако необходимо учитывать и другие характеристики, отражающие различные стороны научно-исследовательской работы. Принятие решений, связанных с вопросами управления научными исследованиями, определением рейтинга отдельных ученых и научных учреждений, должно осуществляться на базе многоаспектного анализа научной деятельности.

### Литература

1. Берёзкина, Н. Ю. Анализ публикационной активности ученых Беларуси с использованием баз данных «Web of Science» / Н. Ю. Берёзкина, Г. С. Хренова // Информационные ресурсы России. – 2008. – № 4. – С. 18–21.
2. Берёзкина, Н. Ю. Базы данных «Web of Science» как один из критериев оценки исследовательской деятельности ученых Беларуси / Н. Ю. Берёзкина, Г. С. Хренова // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2007. – № 11. – С. 11–15.
3. Берёзкина, Н. Ю. Использование баз данных Web of Science для оценки результатов научной деятельности в Республике Беларусь / Н. Ю. Берёзкина, Г. С. Хренова // Докл. IX Междунар. конф. «Развитие информатизации и системы научно-технической информации (РИНТИ-2010)», Минск, 18 нояб. 2010 г. – Минск, 2010. – С. 252–256.
4. Берёзкина, Н. Ю. Использование баз данных Web of Science и Scopus для оценки результатов научной деятельности в Национальной академии наук Беларуси / Н. Ю. Берёзкина, О. Н. Сикорская, Г. С. Хренова // Библиотеки национальных академий наук: проблемы функционирования, тенденции развития: науч.-практ. и теорет. сб. – Киев, 2011. – Вып. 9. – С. 43–50.
5. Маркусова, В. А. Публикационная активность российских ученых по БД SCI и Scopus / В. А. Маркусова // Научно-техническая информация. Сер.1. – 2008. – № 5. – С. 21–27.
6. Михайлов, А. И. Научные коммуникации и информатика / А. И. Михайлов, А. И. Черный, Р. С. Гиляревский. – М.: Наука, 1976.
7. Мохначева, Ю. В. Совместная деятельность российских и белорусских ученых: текущее состояние и тенденции развития / Ю. В. Мохначева, Т. Н. Харыбина // Библиосфера. – 2011. – № 1. – С. 53–57.

8. Отчеты о деятельности Национальной академии наук Беларуси в 2006–2010 году. – Минск, 2007–2011.

9. Писляков, В. В. Наукометрические методы и практики, рекомендуемые к применению в работе с Российским индексом научного цитирования / В. В. Писляков // Научная электронная библиотека eLibrary.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/projects/citation>.

*N. Yu. BERYOZKINA, L. A. AVGUL, O. N. SIKORSKAYA, G. S. KHRENOVA*

**ANALYSIS OF THE PUBLICATION ACTIVITY OF THE SCIENTISTS  
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS  
IN THE PERIOD OF 2006–2010**

**Summary**

Publication activity of the scientists of the National Academy of Sciences of Belarus, its reflecting in Web of Science, Scopus, Russian Scientific Citation Index as well as the citation data on papers of Belarusian authors in the period of 2006–2010 are considered.

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 577.152.1.03:577.112.4

А. В. ИЛЬЮТИК<sup>1,3</sup>, В. А. СИНЕЛЕВ<sup>2</sup>, И. Л. ГИЛЕП<sup>1</sup>

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У КОНЬКОБЕЖЦЕВ

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет физической культуры

<sup>2</sup>Институт биоорганической химии НАН Беларуси

<sup>3</sup>НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь

(Поступила в редакцию 08.09.2011)

Продукты генов ангиотензинконвертирующего фермента (ACE),  $\beta$ 2-рецептора брадикинина (BDKRB2), эндотелиальной NO-синтазы (NOS3) оказывают влияние на работу сердечно-сосудистой системы, а также ассоциированы с физической работоспособностью человека. Показано, что распределение частот встречаемости генотипов исследованных полиморфизмов не зависит от пола спортсменов, специализирующихся в скоростном беге на коньках. Наличие I аллеля гена ACE предрасполагает к более длительной работе: дистанции 3000, 5000, 10000 м. Наличие D аллеля гена ACE – к спринтерским дистанциям 500 и 1000 м. Присутствие генотипа –9–9 полиморфизма +9/–9 гена BDKRB2 благоприятствует достижению высоких результатов в беге на коньках на дистанции 3000, 5000, 10000 м, гетерозиготного генотипа – достижению высоких результатов в многоборье. Наличие полиморфных вариантов aa и TT гена NOS3 является неблагоприятным для роста спортивного мастерства в конькобежном спорте. Присутствие же генотипов bb и GG гена NOS3 предрасполагает к более длительной работе: дистанции 3000, 5000, 10000 м. Спортсменам с гетерозиготным генотипом по данному гену предпочтительнее специализироваться в беге на короткие дистанции и в многоборье.

**Введение.** Адаптация организма к физическим нагрузкам заключается в мобилизации функциональных резервов организма, в совершенствовании имеющихся физиологических механизмов регуляции [1]. Адаптация сердечно-сосудистой системы характеризуется экономизацией работы миокарда, увеличением числа

капилляров вокруг каждого мышечного волокна, оптимизацией сосудистого тонуса [2]. Индивидуальные различия в степени таких адаптационных изменений обусловлены генетическими факторами, определяющими наследственную предрасположенность к физическим нагрузкам [3].

В зависимости от аллельного варианта генетического полиморфизма, т. е. от строения регуляторных областей гена, количество продукта гена может варьировать, вызывая тем самым изменения активности и направленности в работе сердечно-сосудистой системы.

Показано, что продукты генов ангиотензинконвертирующего фермента (*ACE*),  $\beta$ 2-рецептора брадикинина (*BDKRB2*), эндотелиальной NO-синтазы (*NOS3*) оказывают влияние на работу сердечно-сосудистой системы, а также ассоциированы с физической работоспособностью человека [3–6]. Так, у гомозигот по аллелю D гена *ACE* активность ангиотензинконвертирующего фермента (*ACE*) в сыворотке крови почти в два раза выше, чем у гомозигот по аллелю I гена *ACE*. Уровень активности фермента в крови у гетерозигот занимает промежуточное положение [7]. Аллель -9 гена *BDKRB2* ассоциируется с более высоким уровнем экспрессии мРНК  $\beta$ 2-рецептора брадикинина, а следовательно, действуя через  $\beta$ 2-рецепторы, брадикинин может лучше расслаблять гладкие мышечные волокна артериол микроциркуляторного русла и вызывать их расширение [8]. Т аллель гена *NOS3* ассоциируется с низкой активностью эндотелиальной NO-синтазы, которая участвует в синтезе монооксида азота эндотелием и, следовательно, в регуляции сосудистого тонуса, кровотока и артериального давления. Наличие четырех двадцатисемиклеотидных участков (аллель *a*) вместо пяти (аллель *b*) обуславливает снижение активности фермента и, как следствие, уровня монооксида азота в эндотелиальных клетках кровеносных сосудов [9].

Известно, что *ACE* участвует в превращении ангиотензина I в ангиотензин II и одновременно способствует разрушению брадикинина. Ангиотензин II является активным сосудосуживающим гормоном. В свою очередь брадикинин, действуя через  $\beta$ 2-рецепторы, участвует в активации эндотелиальной NO-синтазы, которая участвует в синтезе эндотелием релаксирующего фактора монооксида азота (рисунок).

Цель исследования – выявление распределения полиморфных вариантов генов *ACE*, *BDKRB2*, *NOS3* у белорусских конькобежцев в зависимости от специализации.

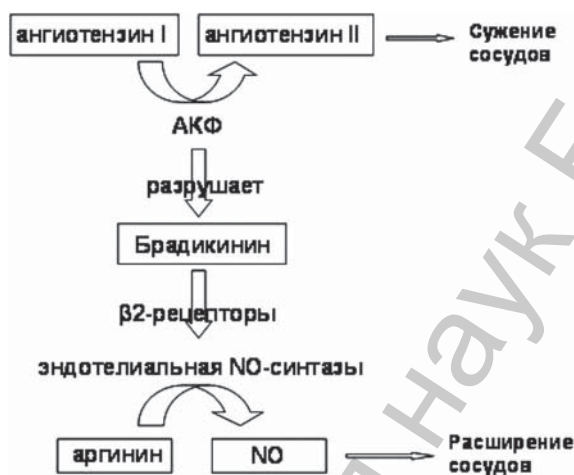


Схема регуляции тонуса сосудов посредством ренин-ангиотензиновой и калликреин-кининовой систем

**Материалы и методы исследования.** В исследовании были использованы образцы геномной ДНК спортсменов национальной команды Республики Беларусь и спортивного резерва, специализирующихся в скоростном беге на коньках. В тестировании принимали участие спортсмены мужчины и женщины в возрасте от 13 до 33 лет, мастера спорта международного класса (МСМК) – 5 чел., мастера спорта (МС) – 26, кандидаты в мастера спорта (КМС) – 28, 1–3 разряд – 45, 1–3 юношеский разряд – 27. Для определения полиморфизмов генов использовали метод амплификации полиморфного участка с помощью термостабильной Taq-ДНК-полимеразы. Полиморфный участок амплифицировали с использованием двух-праймерной системы ген-специфичных олигонуклеотидов к фрагменту гена, прилегающего к полиморфному участку. Прямой праймер к фрагменту гена *ACE* содержал следующую последовательность нуклеотидов: 5'-CTGTTGCCTGTGGTAAGTGGG-3', обратный праймер – 5'TGGTACAGTATGCAGGAGGG-3'. Прямой праймер к фрагменту гена *BDKRB2*: 5'-TCT GGC TTC TGG GCT CCG AG-3'; обратный праймер – 5'-AGC GGC ATG GGC ACT TCA GT-3'. Прямой праймер к фрагменту гена *NOS3*: 5'-AGG CCC TAT GGT AGT GCC TTT-3'; обратный праймер – 5'-TCT CTT AGT GCT GTG GTC AT-3'. Исследования проводились в лаборатории молекулярной диагностики ИБОХ НАН Беларуси.

Для выявления статистически значимых различий между выборками использовали многомерный критерий углового преобразования Фишера ( $\phi$ ). Достоверность различий частот генотипов и аллелей в сравниваемых группах определяли с помощью  $\chi^2$  с учетом поправки Йетса. Статистически значимым считали различие при величине  $P < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** На основании анализа результатов ПЦР были определены полиморфные варианты исследуемых генов у спортсменов, специализирующихся в скоростном беге на коньках. Данные о контрольной группе были получены ранее в лаборатории молекулярной диагностики ИБОХ НАН Беларуси [5]. Полученные данные представлены в табл. 1.

С использованием критерия углового преобразования Фишера выявили статистически значимые различия между частотой встречаемости различных генотипов у спортсменов и в контрольной группе. Так, было показано, что частота встречаемости генотипа  $-9/-9$  гена *BDKRB2* выше в группе конькобежцев (25,58 %), чем в контрольной группе (12,8 %),  $\phi_{\text{эмп}} = 2,793$ . При этом частота встречаемости генотипа  $+9/-9$  у конькобежцев (38,76 %) ниже по сравнению с контрольной группой (51,83 %),  $\phi_{\text{эмп}} = 2,238$  (табл. 1).

В группе конькобежцев не выявлено ни одного носителя генотипа *aa* по полиморфизму *a/b* и генотипа *TT* по полиморфизму *G894T* гена *NOS3*. В контрольной группе встречаемость носителей генотипа *aa* составила 6,1 %, а встречаемость носителей генотипа *TT* – 4,88 % (табл. 1).

Существенных различий в распределении частот исследованных генотипов между группами спортсменов мужчин и женщин не обнаружено (табл. 2). В целом

Т а б л и ц а 1. Распределение частот полиморфных вариантов генов *ACE*, *BDKRB2*, *NOS3* опытной и контрольной групп

Ген	Генотип	Конькобежцы		Контрольная группа		$\chi^2$
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	
<i>ACE</i>	II	30	22,9	30	19,87	1,13
	ID	65	49,62	71	47,02	
	DD	36	27,48	50	33,11	
<i>BDKRB2</i>	-9/-9	33	25,58	21	12,80	8,76 <i>P</i> < 0,05
	+9/-9	50	38,76	85	51,83	
	+9/+9	46	35,66	58	35,37	
<i>NOS3</i>	bb	86	66,67	105	64,02	8,21 <i>P</i> < 0,05
	ab	43	33,33	49	29,88	
	aa	0	0	10	6,1	
<i>NOS3</i>	GG	93	72,09	115	70,12	6,56 <i>P</i> < 0,05
	TG	36	27,91	41	25	
	TT	0	0	8	4,88	

Т а б л и ц а 2. Распределение частот полиморфных вариантов генов *ACE*, *BDKRB2*, *NOS3* спортсменов мужчин и женщин

Ген	Генотип	Мужчины		Женщины	
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
<i>ACE</i>	II	19	21,84	11	25
	ID	45	51,72	20	45,45
	DD	23	26,44	13	29,55
<i>BDKRB2</i>	-9/-9	17	20,24	16	35,56
	+9/-9	37	44,05	13	28,89
	+9/+9	30	35,71	16	35,56
<i>NOS3</i>	bb	55	65,48	31	68,89
	ab	29	34,52	14	31,11
	aa	0	0	0	0
<i>NOS3</i>	GG	58	69,05	35	77,78
	TG	26	30,95	10	22,22
	TT	0	0	0	0

распределение частот встречаемости генотипов в группе как спортсменов, так и спортсменов соответствует распределению их в общей группе.

С ростом спортивного мастерства увеличивалась встречаемость I аллеля гена *ACE* (у МСМК  $\chi^2 = 5,26$ , *P* < 0,05) и полиморфного варианта -9/-9 гена *BDKRB2* по сравнению с контрольной группой (табл. 3). Сравнение частоты встречаемости полиморфизма -9/-9 гена *BDKRB2* у спортсменов, имеющих квалификационный разряд, и начинающих (1-3 юношеский разряд) показало достоверное увеличение встречаемости -9/-9 полиморфизма у спортсменов, имеющих 1-3 взрослый

Т а б л и ц а 3. Распределение частот полиморфных вариантов генов *ACE*, *BDKRB2*, *NOS3* у спортсменов разной квалификации

Ген	Генотип	МСМК		МС		КМС		1–3 разряд		1–3 юн. разряд	
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
<i>ACE</i>	II	3	60	4	15,38	6	21,43	10	22,22	7	25,96
	ID	2	40	13	50	17	60,71	19	42,22	14	51,85
	DD	0	0	9	34,62	5	17,86	16	35,56	6	22,22
	I аллель	8	80	21	40	29	52	39	43	28	52
<i>BDKRB2</i>	–9/–9	2	50	10	40	6	23,08	13	30,23	2	6,45
	+9/–9	1	25	12	48	10	38,46	16	37,21	11	35,48
	+9/+9	1	25	3	12	10	38,46	14	32,56	18	58,07
<i>NOS3</i>	bb	2	50	15	60	24	92,31	27	62,79	18	58,06
	ab	2	50	10	40	2	7,69	16	37,21	13	41,94
	aa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>NOS3</i>	GG	3	75	19	76	21	80,77	33	76,74	17	54,84
	TG	1	25	6	24	5	19,23	10	23,26	14	45,16
	TT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

разряд ( $\chi^2 = 7,75$ ,  $P < 0,05$ ), разряд мастера спорта ( $\chi^2 = 15,67$ ,  $P < 0,01$ ), разряд МСМК ( $\chi^2 = 6,75$ ,  $P < 0,05$ ).

Для сравнения распределений полиморфных вариантов генов *ACE*, *BDKRB2*, *NOS3* все спортсмены были условно поделены на три группы в зависимости от личных достижений на спринтеров (лучшие результаты на дистанциях 500, 1000 м), стайеров (лучшие результаты на дистанциях 3000, 5000, 10000 м), многоборцы (приблизительно одинаково успешные выступления на всех дистанциях). Анализ распределения изучаемых полиморфных вариантов в полученных группах выявил достоверное увеличение частоты встречаемости аллеля I гена *ACE* у стайеров, 64,28 %, по сравнению со спринтерами, 38,64 % ( $\chi^2 = 4,5$ ,  $P < 0,05$ ). Количество обладателей –9/–9 полиморфизма гена *BDKRB2* увеличивалось от спринтеров к стайерам (23,81, 28,57, 58,84 % соответственно) (табл. 4). Возросла и частота встречаемости аллеля –9 гена *BDKRB2* от спринтеров к стайерам (47,62, 54,76, 61,54 % соответственно) (табл. 4). Такая же закономерность наблюдалась с полиморфными вариантами bb и GG гена *NOS3*. Среди стайеров преобладали спортсмены с полиморфизмом bb – 84,62 % и GG – 84,62 %, при этом у спринтеров и многоборцев процент встречаемости данных полиморфизмов был ниже и составлял bb – 66,67 %, GG – 76,19 % и bb – 76,19 %, GG – 76,19 % соответственно (табл. 4).

Присутствие в геноме спортсмена аллелей I гена *ACE*, –9 гена *BDKRB2*, G гена *NOS3* приводит к более выраженному расслаблению гладких мышечных волокон артериол микроциркуляторного русла, вызывая их расширение [3–8]. Такое состояние дает обладателям этих аллелей явное преимущество в срочном транспорте кислорода к работающим мышцам, и следовательно, лучшему развитию аэробного энергообеспечения. У обладателей аллелей D гена *ACE* и +9 гена *BDKRB2*

**Таблица 4. Распределение частот полиморфных вариантов генов ACE, BDKRB2, NOS3 у спортсменов высокой квалификации (КМС, МС и МСМК) в зависимости от специализации**

Ген	Генотип	Спринтеры		Многоборцы		Стайеры	
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
ACE	II	3	13,64	5	21,74	5	35,71
	ID	11	50	13	56,52	8	57,14
	DD	8	36,36	5	21,74	1	7,15
	I аллель	17	38,64	26	50	18	64,28
BDKRB2	-9/-9	5	23,81	6	28,57	7	58,84
	+9/-9	10	47,62	11	52,38	2	16,67
	+9/+9	6	28,57	4	19,05	4	30,77
	-9 аллель	20	47,62	23	54,76	16	61,54
NOS3	bb	14	66,67	16	76,19	11	84,62
	ab	7	33,33	5	23,81	2	15,38
	aa	0	0	0	0	0	0
	b аллель	35	83	21	81	24	92
NOS3	GG	16	76,19	16	76,19	11	84,62
	TG	5	23,81	5	23,81	2	15,38
	TT	0	0	0	0	0	0
	G аллель	37	88	37	88	24	92

более высокая активность ACE и более низкая концентрация брадикинина в плазме крови [3–8], что является фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. В то же время показано, что спортсмены с DD генотипом гена ACE обладают высокой способностью к активации анаэробных механизмов энергообеспечения, обеспечивающих развитие скоростно-силовых качеств [3; 10]. Отсутствие среди спортсменов людей с генотипами aa и TT гена NOS3 свидетельствует о том, что продолжительные физические нагрузки максимальной интенсивности оказывают неблагоприятное влияние на людей, имеющих данный генотип. Монооксид азота является одним из наиболее важных биологических медиаторов, который вовлечен в множество физиологических и патофизиологических процессов. Он представляет собой уникальный по своей природе и механизмам действия вторичный мессенджер в большинстве клеток организма. В частности, монооксид азота участвует в реализации многих важных физиологических функций, таких как вазодилатация, нейротрансмиссия, снижение агрегации тромбоцитов, реакции иммунной системы, регуляция тонуса гладких мышц, состояние памяти, а также некоторых патологических процессов [11]. Возможно, снижение синтеза NO ослабляет реализацию ряда вышеперечисленных физиологических функций, что ведет к ограничению адаптации организма к продолжительным физическим нагрузкам.

**Выводы.** Распределение частот встречаемости генотипов исследованных полиморфизмов не зависит от пола спортсменов, специализирующихся в скоростном беге на коньках.

Наличие I аллеля гена *ACE* предрасполагает к более длительной работе: дистанции 3000, 5000, 10000 м. Наличие D аллеля гена *ACE* – к спринтерским дистанциям 500 и 1000 м.

Присутствие генотипа –9–9 полиморфизма +9/–9 гена *BDKRB2* благоприятствует достижению высоких результатов в беге на коньках на дистанции 3000, 5000, 10000 м, гетерозиготный генотип – достижению высоких результатов в многоборье.

Наличие полиморфных вариантов aa и TT гена *NOS3* является неблагоприятным для роста спортивного мастерства в конькобежном спорте. Присутствие же генотипов bb и GG гена *NOS3* предрасполагает к более длительной работе: дистанции 3000, 5000, 10000 м. Спортсменам с гетерозиготным генотипом по данному гену предпочтительнее специализироваться в беге на короткие дистанции и в многоборье.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № X09M-020).

### Литература

1. Солодков А. С., Сологуб Е. Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная. М., 2005. – 528 с.
2. Ахметов И. И. // Geno Terra [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.genoterra.ru/news/print/699>. – Дата доступа: 30.07.2009.
3. Гилеп И. Л. Роль полиморфизма генов *ACE*, *ACTN3* и *CYP17A1* в развитии физической работоспособности человека: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 03.00.04 / Институт биоорганической химии НАН Беларуси. Минск, 2010. – 23 с.
4. Bouchard C. et al. // Med. Sci. Sports and Exercise. 2009. Vol. 41. P. 35–73.
5. Синелев В. А., Гилеп И. Л., Рыбина И. Л. и др. // Плавание V: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Россия, С.-Петербург, 10–12 окт. 2009 г. / под ред. А. В. Петряева. СПб., 2009. С. 71–76.
6. Синелев В. А., Бабенко А. С., Гилеп И. Л., Усанов С. А. // Докл. НАН Беларуси. 2010. Т. 54, № 3. С. 77–83.
7. Montgomery H. et al. // Lancet. 1999. Vol. 53, N 9152. P. 541–545.
8. Williams A. G. et al. // J. Appl. Physiol. 2004. Vol. 96. P. 938–942.
9. Wang Y. et al. // Curr. Opin. Nephrol. Hypertens. 1995. Vol. 4. P. 12–22.
10. Илютик А. В., Гилеп И. Л. // Сб. науч. тр. / ГУ «НИИФКиС РБ». Минск, 2010. Вып. 10: Научные труды НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь. С. 121–126.
11. Башкатова В. Г., Микоян В. Д., Косачев Е. С. // Нейрохимия. 1996. Т. 13, № 2. С. 115–120.

A. V. ILJUTIK, V. A. SINELEV, I. L. GILEP

### GENES POLYMORPHISM AND PERFORMANCE OF CARDIOVASCULAR SYSTEM OF SPEED SKATERS

#### Summary

Polymorphism of products of genes angiotensin converting enzyme (*ACE*), bradykinin  $\beta 2$  receptor (*BDKRB2*), endothelial nitric oxide synthase 3 (*NOS3*) may influence on cardiovascular system and associate with human physical performance. It is demonstrated that I allele genes *ACE* has been prepossessed to speed skaters specialized on distances 3000, 5000, 10000 m. Existence D allele of *ACE* gene has been prepossessed to sprinters (distance 500 m and 1000 m). Genotype –9–9 *BDKRB2* is advantage to win by a hair in skating following distances – 3000, 5000, 10000 m. Existence of genotypes aa of *NOS3* gene or TT of *NOS3* gene is disadvantageous for up growth of speed skating sportsmanship. Genotype bb of *NOS3* gene and GG of *NOS3* gene is advantage to speed skaters specialized on distances 3000, 5000, 10000 m. Athletes with heterozygote genotypes of *BDKRB2* (+9–9) and *NOS3* (ab) is preferable to specialize in sprint or allround.

УДК 612.014.461.3:612.014.461.3]:616.155.194

Э. П. ТИТОВЕЦ, Л. П. ПАРХАЧ

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ АКТИВНОСТИ РЕДУЦИРУЮЩИХ СИСТЕМ ЭРИТРОЦИТОВ И ИХ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА

*Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии  
Министерства здравоохранения Республики Беларусь*

*(Поступила в редакцию 09.11.2011)*

*На основе оригинального модульного приборного комплекса, где использованы методы полярографии и спектрофотометрии, разработана методика исследования активности редуцирующих систем и кислородного обмена эритроцитов. Предлагаемая методика позволяет получать количественные данные о кислородном обмене эритроцитов, активности их редуцирующих систем, исследовать действие на эти процессы фармакологических и других регулирующих факторов.*

**Введение.** Эритроциты – высокоспециализированные безъядерные клетки, основная функция которых – транспортировка кислорода к потребляющим его тканям для обеспечения выработки энергии. Мембраны эритроцитов содержат белковый водный канал – аквапорин AQP1, обеспечивающий перемещение воды и, частично, углекислого газа и кислорода через эритроцитарную мембрану [1–5]. Активность AQP1 связана с состоянием SH-группы, располагающейся внутри водного канала [1; 6]. Ингибирующее действие на него оказывает ряд низкомолекулярных соединений, например, меркуриаты, барбитураты и окислители [6; 7].

Эритроциты функционируют в условиях высоких концентраций кислорода, что способствует активации в их структурах процессов спонтанного окисления, протекающих по свободно радикальному механизму, и образованию высоко реактивных форм кислорода. Последние, являясь ингибиторами активности AQP1, могут тормозить газообмен в эритроцитах. Снижение скорости трансмембранного переноса кислорода приведет, соответственно, к развитию гипоксии тканей.

Антиоксидантная система защиты эритроцитов включает редуцирующие системы, с участием ряда оксидоредуктаз (супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы), легкоокисляющихся пептидов и аминокислот, содержащих SH-группы (глутатион, метионин, цистеин), фенольных соединений (витамины группы E и K, триптофан, фенилаланин, убихиноны, пигменты (каротиноиды)), хелатных

соединений, связывающих металлы переменной валентности (церулоплазмин, мочева кислота, трансферрин), НАД(Ф)-Н, аскорбат,  $\alpha$ -токоферол и др. [8].

Таким образом, функционирование эритроцитов в кислородсодержащей среде не представляется возможным без мощных защитных систем, состояние активности которых может изменяться в зависимости от воздействия ксенобиотиков и фармакологических средств, при патологии и старении. Смещение равновесного термодинамического состояния (в ту или иную сторону) редуцирующих систем эритроцитов может изменить скорость перемещения кислорода через эритроцитарную мембрану (а она является лимитирующим звеном, как показали наши исследования [5], в газообменных процессах эритроцита), что приведет к нарушениям непосредственной доставки кислорода к потребляющим его тканям. Негативная роль активных форм кислорода в развитии патологических процессов предельно ясна, однако следует отметить, что сложные редуцирующие системы эритроцитов содержат легкоокисляющиеся соединения, взаимодействующие не только с активными формами кислорода, но и с самим кислородом. Это явление «потребления» кислорода эритроцитами при отсутствии в них митохондрий, утилизирующих кислород при окислительном фосфорилировании, имели возможность наблюдать все клиницисты и исследователи, в той или иной степени связанные с препаратами крови: «венозный» цвет (цвет дезоксигенированного гемоглобина) цельной донорской крови, хранящейся при высоком парциальном давлении атмосферного кислорода, обусловлен активной утилизацией кислорода редуцирующими системами эритроцита. При разведении цельной крови в несколько раз физиологическими буферами цвет суспензии постепенно изменяется от исходного «венозного» до соответствующего насыщенному кислородом крови «артериального». Это связано с тем, что при снижении концентрации эритроцитов в суспензии скорость диффузии атмосферного кислорода превышает скорость утилизации кислорода редокс-системами, способствующими реализации антиоксидантного эффекта. Этот эффект был положен в основу разработки способов оценки активности редуцирующих систем эритроцита, которые были дополнены методом определения скоростей транспорта кислорода через эритроцитарную мембрану.

Цель работы – разработка способов оценки кислородтранспортных и окислительно-восстановительных процессов в эритроцитарной мембране.

Необходимость создания соответствующих методов исследования интегральной активности редокс-систем эритроцитов одновременно с определением скоростей переноса кислорода через эритроцитарную мембрану представлялась весьма актуальной, имеющей важное как фундаментальное (патогенез гипоксии органов и тканей), так и клиническое (разработка способов терапии) значение. Разработанные методы позволят проводить оценку действия фармакологических препаратов на кислородтранспортные и окислительно-восстановительные процессы в эритроцитарной мембране и, соответственно, корректировать проводимые терапевтические мероприятия.

**Материалы и методы исследования.** Разработан модульный компьютеризированный приборный комплекс для оценки кислородного обмена и активности редокс-систем эритроцитов, включающий компьютер с соответствующим программным обеспечением, многоканальный аналогово-цифровой преобразователь АЦП В-480, аналоговый прибор полярограф модели PNM 71 Mk2 Radiometer Copenhagen, полярографические камеры закрытого и открытого типа для суспензии исследуемых эритроцитов (используется разведение 1 : 10) с кислородным сенсором кларковского типа производства фирмы Radiometer Copenhagen и устройством перемешивания, спектрофотометр, газообменный модуль. Гомогенность среды в ячейке обеспечивается перемешиванием среды с помощью микромешалки, приводимой в действие электромотором, обеспечивающим оптимальную и постоянную скорость вращения.

Сконструированные полярографические ячейки представляют собой камеры для суспензий эритроцитов из плексигласа с вмонтированными в них кислородными датчиками [9]. «Открытый» тип предполагает наличие газообменного блока для подачи через газопроницаемую мембрану азота или кислорода, «закрытый» – герметизацию суспензии эритроцитов в камере от атмосферного кислорода. Обе камеры оснащены электромешалками, обеспечивающими гомогенность раствора и суспензии.

Пример количественной оценки интегральной активности редокс-систем эритроцитов с полярографической камерой закрытого типа представлена на рис. 1.

Оценку активности редуцирующих систем эритроцитов предложено проводить следующим образом. Отмытые эритроциты крови человека разводят в 10 раз буферным раствором ( $\text{NaCl}$  – 86 мМ;  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – 21 мМ;  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  – 8,3 мМ;  $\text{CaCl}_2$  – 10 мкМ; pH – 7,4), уравновешенным с атмосферным кислородом, помещают в биоротатор BioPC 24 и перемешивают в течение 10 мин для обеспечения оксигенации суспензии, что необходимо для проведения дальнейших исследований. Полноту оксигенации гемоглобина контролируют спектрофотометрически. Одним из визуальных оценочных признаков полной оксигенации суспензии эритроцитов является изменение ее окраски от исходного «венозного» до «артериального». Далее суспензию эритроцитов помещают в полярографическую камеру и обеспечивают герметизацию камеры от атмосферного кислорода. Получают кинетическую кривую потребления кислорода редокс-системами эритроцита. Регистрацию процесса завершают после достижения стационарного состояния в камере (выход на плато кинетической кривой на рис. 1, Б). Калибровочными величинами являются атмосферное парциальное

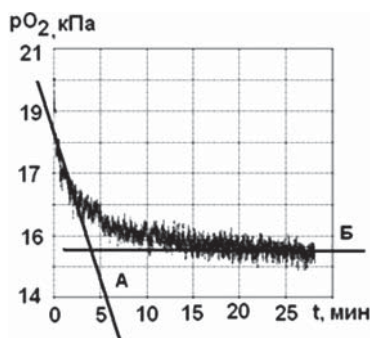
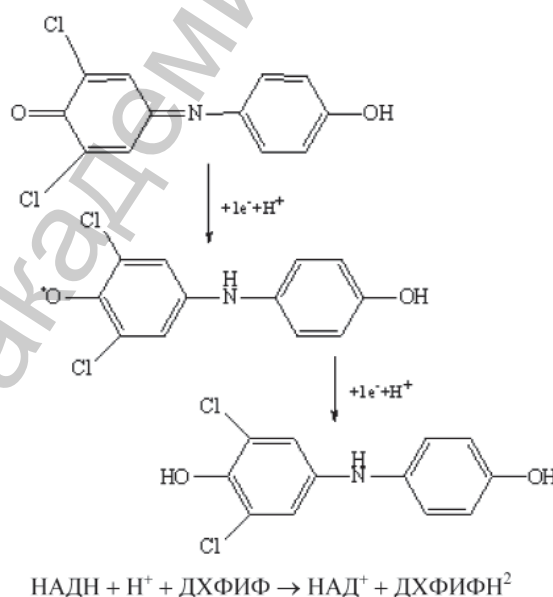


Рис. 1. Кинетическая кривая потребления кислорода: А – прямая линейной аппроксимации начального участка кривой для нахождения максимальной скорости потребления кислорода редуцирующими системами эритроцита, Б – установившийся стационарный уровень

давление кислорода и нулевое, получаемое после добавления в ячейку дитионита. Для обработки полученных результатов использовали пакет программ (TableCurve, AutoSignal, MS Excel). Рассчитывали максимальную скорость снижения парциального давления кислорода в ячейке (угол наклона прямой А на рис. 1) и значение устанавливаемого стационарного уровня (прямая Б на рис. 1).

Предложено также исследовать активность редокс-систем эритроцитов спектрофотометрическим способом с применением субстратов ферментов, входящих в состав редуцирующих систем. Полученные данные позволят получить представление как о суммарной активности редуцирующих систем эритроцитов, так и конкретных участниках этого процесса.

Исследование активности выполняли с применением 2,6-дихлорфенолиндофенола (ДХФИФ), который является субстратом ряда НАДН- и НАДФН-зависимых оксидоредуктаз и используется для оценки их редуцирующей активности [10]. Восстановление ДХФИФ НАД(Ф)Н-зависимыми оксидоредуктазами эритроцитов сопровождается исчезновением максимума его поглощения (образование лейкоформы). Реакция осуществляется по следующей схеме:



ДХФИФ имеет максимум поглощения в области 610 нм (рис. 2). Восстановление ДХФИФ НАД(Ф)Н-зависимыми оксидоредуктазами эритроцитов сопровождается исчезновением максимума его поглощения при 610 нм (образование лейкоформы). На этой длине волны окси- и дезоксигемоглобин не имеют максимумов поглощения и спектры последних располагаются вблизи изобестической точки (рис. 2).

На рис. 3 представлены кривые восстановления ДХФИФ эритроцитами в отсутствие (1) и в присутствии 100 мкМ дикумарола (2).

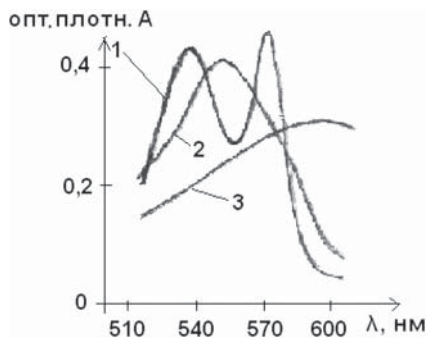


Рис. 2. Спектры поглощения оксигенированного гемоглобина (1), дезоксигенированного гемоглобина (2), дихлорфенолиндофенола (3)

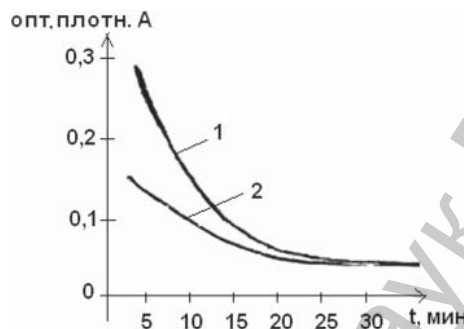


Рис. 3. Кинетика восстановления дихлорфенолиндофенола в суспензии эритроцитов, без дикумарола (1) и с его добавлением (2)

В присутствии дикумарола наблюдается торможение реакции восстановления ДХФИФ, что указывает на участие ДТ-диафоразы (менадионредуктазы, НАД(Ф)Н-акцептор-оксидоредуктазы) в работе редуцирующих систем эритроцитов. Этот фермент обладает широкой специфичностью по отношению к акцепторам и катализирует восстановление целого ряда как нативных, так и ксенобиотических хинонных структур. Образующиеся диоксиформы способны к реакциям спонтанного окисления через последовательные одноэлектронные переносы [11]. На рис. 4 приведена рабочая схема путей переноса восстановительных эквивалентов на кислород в эритроцитах, а также места и способы мониторинга активности этих процессов.

Для исследования кислородного обмена и определения скоростей переноса кислорода через эритроцитарную мембрану применяли полярнографический модуль с полярнографической камерой открытого типа (рис. 5).

Исследования кислородного обмена эритроцитов осуществляют следующим образом. В измерительную камеру (рис. 5) помещают буферный раствор, уравновешенный по кислороду с атмосферным воздухом. Через газообменный модуль



Рис. 4. Схема окислительно-восстановительного обмена эритроцитов и области его спектрофотометрического и полярнографического мониторинга

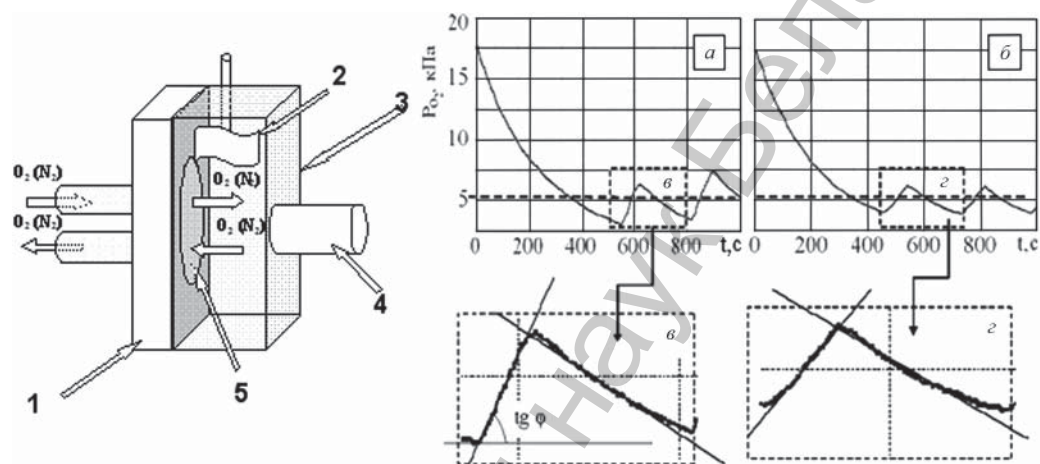


Рис. 5. Схема измерительного модуля для исследования кислородного обмена эритроцитов, кинетика измерения: 1 – газообменный модуль, 2 – микромешалка, 3 – камера для исследуемых эритроцитов, 4 – кислородный сенсор, 5 – кислородпроницаемая мембрана; а, б – кинетика изменения парциального давления кислорода при смене подаваемого газа в отсутствие (а) и в присутствии (б) эритроцитов; в, г – аппроксимация экспериментальных кривых прямолинейными функциями для расчета скоростей

пропускают азот и получают кинетическую кривую падения парциального давления кислорода в измерительной камере. После достижения минимума парциального давления кислорода через газообменный модуль пропускают воздух. Получают кривые оксигенации–дезоксигенации кислородом раствора в области 5 кПа (рис. 5, а). Рассчитывают скорости снижения и возрастания парциального давления кислорода в ячейке (рис. 5, в) при смене подаваемого в газообменный модуль газа. В измерительную камеру помещают ресуспендированные в буфере эритроциты человека (в разведении 1 : 10 относительно цельной крови). Определяют скорости снижения и возрастания парциального давления кислорода в ячейке с эритроцитами при смене подаваемого в газообменный модуль газа (рис. 5, б, г). Скорость оксигенации эритроцитов (скорость переноса кислорода через эритроцитарную мембрану к гемоглобину) получают путем вычитания из калибровочной скорости поступления кислорода в измерительную камеру с буфером скорости изменения парциального давления кислорода в этой камере с эритроцитами в буферном растворе. Соответственно определяют скорость дезоксигенации эритроцитов. Переход от парциального давления кислорода к его концентрации осуществляется на основе закона Генри.

Разработанные методы являются взаимодополняющими и позволяют комплексно оценить интенсивность кислородного и окислительно-восстановительного обмена эритроцитов в норме и патологии.

Методы определения активности редокс-систем и кислородного обмена эритроцитов могут быть использованы в клинике при оценке патологических процессов

при гипоксии, нарушений реологических свойств крови при анемиях различного генеза, в том числе лейкозах. Эти методы позволят исследовать действие фармакологических препаратов (антигипоксантов, атиоксидантов, барбитуратов, кортикостероидов и др.) как на проницаемость эритроцитарной мембраны к кислороду, так и их влияние на процессы спонтанного окисления, функционирование кислородтранспортных и редуцирующих систем эритроцита.

**Заключение.** На основе оригинального модульного приборного комплекса, где использованы методы полярографии и спектрофотометрии, разработан метод исследования активности редуцирующих систем и кислородного обмена эритроцитов. Предлагаемый метод позволяет получать количественные данные о кислородном обмене эритроцитов, активности их редуцирующих систем, исследовать действие на эти процессы фармакологических и других регулирующих факторов.

Часть исследований выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б08Р-082).

### Литература

1. *Титовец Э. П.* Аквапорины человека и животных: фундаментальные и клинические аспекты. Минск, 2007. – 239 с.
2. *Blank M. E., Ehmke H.* // J. Physiol. 2003. N 550 (Pt. 2). P. 419–429.
3. *Verkman A. S.* // J. Physiol. 2002. N 542 (Pt. 1). P. 31.
4. *Ivanov I. I., Loktyushkin A. V., Guskova R. A.* et al. // Biochem., bioph. and molec. biol. 2007. Vol. 414. P. 137–140.
5. *Титовец Э. П., Пархач Л. П., Степанова Т. С.* // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2010. № 2. С. 81–87.
6. *Preston G. M., Jung J. S., Guggino W. B.* et al. // J. Biol. Chem. 1993. Vol. 268. P. 17–20.
7. *Voigtlaender J., Heindl B., Becker B. F.* // Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacol. 2002. Vol. 366. P. 209–217.
8. *Абрамова Ж. И., Оксенгендлер Г. И.* Человек и противокислительные вещества. Л., 1985. – 230 с.
9. *Титовец Э. П.* // Афіцыйны бюлетэнь. 2011. № 2 (79). С. 131.
10. *Delaney G. M., Bennetto H. P., Mason J. R.* et al. // J. Chem. Technol. Biotechnol. 1984. Vol. 34B. P. 13–27.
11. *Titovets E. P., Petrovsky G. G.* // Analytical biochemistry. 1977. Vol. 81. P. 328–335.

*E. P. TITOVETS, L. P. PARKHACH*

### METHOD FOR ASSESSING ACTIVITY OF ERYTHROCYTE REDUCING SYSTEMS AND OXYGEN METABOLISM

#### Summary

A method has been developed, based on the original modular complex of instruments incorporating polarography and spectrophotometry, to obtain data on erythrocyte reducing power and oxygen metabolism. The suggested method, apart from obtaining quantitative data on erythrocyte oxygen metabolism and activity of their reducing systems, also makes it possible to study the effects of various pharmacological and other regulatory factors on these processes.

УДК 616.314.–002–008.87–085.245

А. В. БУТВИЛОВСКИЙ<sup>1</sup>, Ф. М. ФИДАРОВ<sup>2</sup>, С. А. БУСЕЛ<sup>1</sup>,  
В. В. ПАШКОВИЧ<sup>2</sup>, А. П. КОЗИК<sup>3</sup>

### ИЗУЧЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ АНТИСЕПТИКОВ, ПРЕПАРАТОВ СЕРЕБРА И ФТОРА В ОТНОШЕНИИ КАРИЕСОГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ

<sup>1</sup>Белорусский государственный медицинский университет

<sup>2</sup>Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья

<sup>3</sup>Минский городской центр гигиены и эпидемиологии

(Поступила в редакцию 08.11.2011)

Целью исследования являлось изучение антимикробной активности ряда антисептиков, препаратов серебра и фтора, применяемых для профилактики кариозных поражений зубов и контроля кариесогенной микрофлоры. Определение противомикробной активности выполнялось в количественном суспензионном методе с использованием тест-культур *Candida albicans* ATCC 10231, *Lactobacillus* ATCC 9595, *Streptococcus mutans*. Установлено, что все изученные препараты (за исключением «Эмаль-герметизирующего ликвида») при полуминутной экспозиции обладают высокой антистрептококковой активностью. Наибольшая активность относительно лактобактерий при малой экспозиции (0,5 мин) свойственна препаратам серебра («Аргенату однокомпонентному» и «Аргенату двухкомпонентному») и препарату фтора, содержащему наибольшее количество меди, – «Дентин-герметизирующему ликвиду».

**Введение.** Согласно данным эпидемиологических исследований, потребность в лечении кариеса и другой патологии твердых тканей зубов остается высокой во всех возрастных группах населения многих стран СНГ. Например, по данным проведенного в 2008 г. эпидемиологического обследования детского населения Республики Беларусь, распространенность и интенсивность кариеса зубов у 12-летних подростков являются средними и составляют соответственно 69,42 % и 2,2. Уровень стоматологической помощи подросткам этой возрастной категории является удовлетворительным (73,2 %) [1]. По данным Н. А. Юдиной, для населения Беларуси в возрастной группе 35–44 года характерны высокая распространенность (99,0 %) и интенсивность кариеса по индексу КПУЗ (11,93; без учета коронок) [2].

Эффективное лечение кариеса зубов на самых ранних стадиях развития патологического процесса при очаговой деминерализации эмали зуба (кариесе в стадии пятна) является важной и актуальной проблемой современной практической стоматологии. Идея о лечении кариеса зубов на ранних стадиях легла в основу концепции минимально инвазивного лечения кариеса эмали зубов, являющейся наиболее функционально и экономически целесообразной.

Основные положения концепции минимально инвазивного лечения кариеса следующие:

своевременная диагностика кариозных поражений (измерение степени активности кариесогенной микрофлоры или деминерализации твердых тканей зуба с помощью лазерной флуоресценции, электропроводности эмали, оптической когерентной томографии, рентгенографии в прикусе, трансиллюминации, лазерной рефлектометрии и других методов);

контроль кариесогенной микрофлоры;

реминерализация начальных кариозных поражений препаратами фтора и кальция;

оперативное вмешательство с минимально инвазивным лечением полостного кариеса [3].

Кариесогенная микрофлора представлена сложными ассоциациями микроорганизмов, главенствующая роль среди которых (согласно современной концепции этиопатогенеза кариеса) отводится *Streptococcus mutans* и *Lactobacillus* [4]. Стоматологи Беларуси для борьбы с кариесогенной микрофлорой используют антисептики (хлоргексидин и йодиды), а также препараты фтора и серебра<sup>1</sup> [5].

Определение наиболее эффективных из применяемых препаратов является актуальным направлением исследований, так как до настоящего времени в Республике Беларусь не проводился сравнительный анализ их антимикробной активности.

Цель работы – изучить антимикробную активность ряда антисептиков, препаратов серебра и фтора, применяемых для профилактики кариозных поражений зубов и контроля кариесогенной микрофлоры.

**Материалы и методы исследования.** С помощью селективной питательной среды «Dentocult SM strip mutans» («Orion Diagnostica», Швеция) у ребенка, страдающего ранним детским кариесом, выделена культура основного возбудителя данного заболевания – *Streptococcus mutans*. Для ее идентификации со шпателя системы «Dentocult» отбиралась 1 колония и рассеивалась на 5 %-ный кровяной агар, который помещали в CO<sub>2</sub>-инкубатор (6 % CO<sub>2</sub>, 37 °C) на 18–24 ч. После этого делали мазки по Грамму, в которых обнаружены gram+диплококки, цепочки, каталаза–, биохимическая идентификация культуры проведена на АТВ-Expression.

Определение противомикробной активности выполнялось в количественном суспензионном методе [6] при температуре воздуха 19–20 °C, относительной влажности 64 %. Для этого готовили взвесь тест-культуры микроорганизма (*Candida albicans* ATCC 10231, *Lactobacillus* ATCC 9595, *Streptococcus mutans*) в 0,5 %-ном

<sup>1</sup> Препараты серебра преимущественно используются для лечения кариеса временных зубов, поскольку вызывают окрашивание обработанных твердых тканей в черно-серые тона.

растворе хлорида натрия. Взвесь стандартизировали, используя оптический стандарт мутности до  $10^9$  КОЕ/мл. Затем 0,2 мл взвеси тест-культуры добавляли в пробирку с 1,8 мл раствора исследуемого средства:

антисептика (0,05 %-ный раствор хлоргексидина биглюконата, «Изотрон»; 10 %-ный раствор поливинилпирролидона йодида, «Бетадин», «Egis»),

препарата для серебрения твердых тканей зубов первого («Аргенат двухкомпонентный», «ВладМиВа») и второго («Аргенат однокомпонентный», «ВладМиВа») поколения,

препарата фтора («Белак-Ф», «Глуфторэд», «ВладМиВа»; «Эмаль-герметизирующий ликвид», «Дентин-герметизирующий ликвид», «HumanChemie»).

По завершению инкубации при заданном режиме (время и температура инкубации), 0,2 мл смеси переносили в пробирку с 1,8 мл раствора нейтрализатора, тщательно перемешивая. Через 10 мин из смеси готовили разведения в стерильном физиологическом растворе до  $10^{-3}$ . По 0,5 мл цельной смеси из пробирки с нейтрализатором, а также разведений  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  высевали на чашки Петри с плотной питательной средой для контроля роста.

В качестве контроля использовали 0,5 %-ный раствор хлорида натрия, добавляли в него 0,2 мл исходной взвеси тест-культуры, повторяли режим инкубации опытного образца и высевали на чашки Петри с плотной питательной средой.

Из каждого разведения делали три посева. Чашки инкубировали в термостате в течение 48 ч при 37 °С. Подсчитывали число выросших колоний на чашках в опыте и в контроле. Вычисляли среднее число живых бактерий в контроле, число выживших бактерий в опыте (КОЕ/мл), определяли десятичные логарифмы и фактор редукции (RF) числа бактерий в опыте по сравнению с контролем:  $RF = \log(\text{КОЕ/мл в контроле}) - \log(\text{КОЕ/мл в опыте})$ . Эффективной концентрацией и экспозицией считали таковые при  $RF \geq 5,0$ . Полученные результаты обработаны методами описательной статистики.

**Результаты и их обсуждение.** Полученные значения фактора редукции числа микроорганизмов при экспозиции исследуемых препаратов 0,5, 1 и 3 мин показаны на рис. 1–3.

Установлено, что для всех изученных препаратов (за исключением «Эмаль-герметизирующего ликвида») при полуминутной экспозиции характерна высокая (значение RF более 5) антистрептококковая активность, что свидетельствует о потенциальной перспективности их применения в схеме профилактики и/или терапии кариеса зубов. Необходимо отметить, что при увеличении времени экспозиции до трех минут активность исследуемых препаратов относительно *S. mutans* не претерпевает значительных изменений.

Эффективность антимикробных агентов относительно лактобактерий при экспозиции 0,5 мин, напротив, варьирует в широких пределах (значения фактора редукции от 1,57 до 6,46). Минимальной антилактобациллярной активностью обладают «Глуфторэд» и 0,05 %-ный раствор хлоргексидина ( $RF = 1,57$  и  $RF = 1,88$  соответственно). Наибольшая активность относительно лактобактерий ( $RF = 6,18$ )

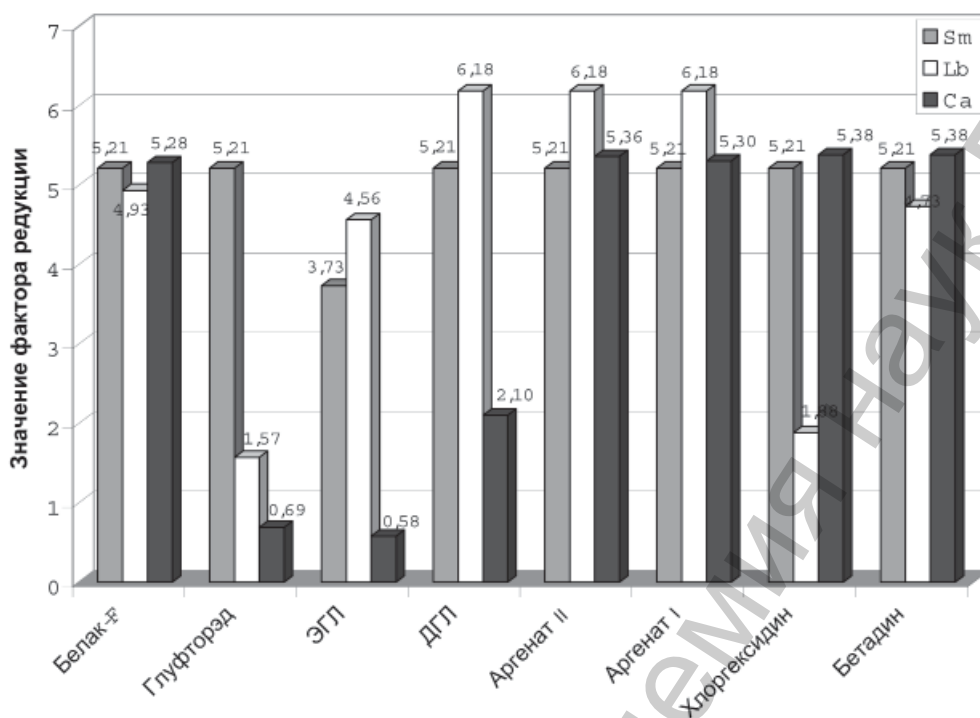


Рис. 1. Значения фактора редукции числа микроорганизмов при экспозиции исследуемых препаратов в течение 0,5 мин

обнаружена у «Аргената однокомпонентного», «Аргената двухкомпонентного» и «Дентин-герметизирующего ликвида». Эффективность исследуемых препаратов относительно лактобактерий важна в контексте терапии кариеса зубов, поскольку согласно современной концепции этиопатогенеза кариеса *Lactobacillus* активно вовлекаются в кариозный процесс лишь при поражении дентина. При этом роль инициатора отводится *Streptococcus mutans*, обладающему способностью прикрепляться не только в естественных углублениях эмали, но и к гладкой поверхности зуба [4; 7; 8]. Полученные данные служат обоснованием применения таких препаратов, как «Дентин-герметизирующий ликвид» и «Аргенат однокомпонентный» в схемах лечения кариозных поражений, локализованных в дентине. Применение «Аргената двухкомпонентного» противопоказано при кариесе дентина, так как он обладает раздражающим действием на пульпу зуба.

При увеличении экспозиции до минуты выраженная антилактобациллярная активность появляется у «Эмаль-герметизирующего ликвида» и «Бетадина» (прирост значений RF соответственно на 35,53 и 31,29 %). Дальнейшее увеличение экспозиции приводит к достижению уровня КОЕ лактобактерий менее 20 в мл лишь у фторлака «Белак-Ф» (RF = 6,23).

При полуминутной экспозиции 5 исследуемых препаратов обладают высокой антигрибковой активностью («Белак-Ф», «Аргенат однокомпонентный», «Аргенат

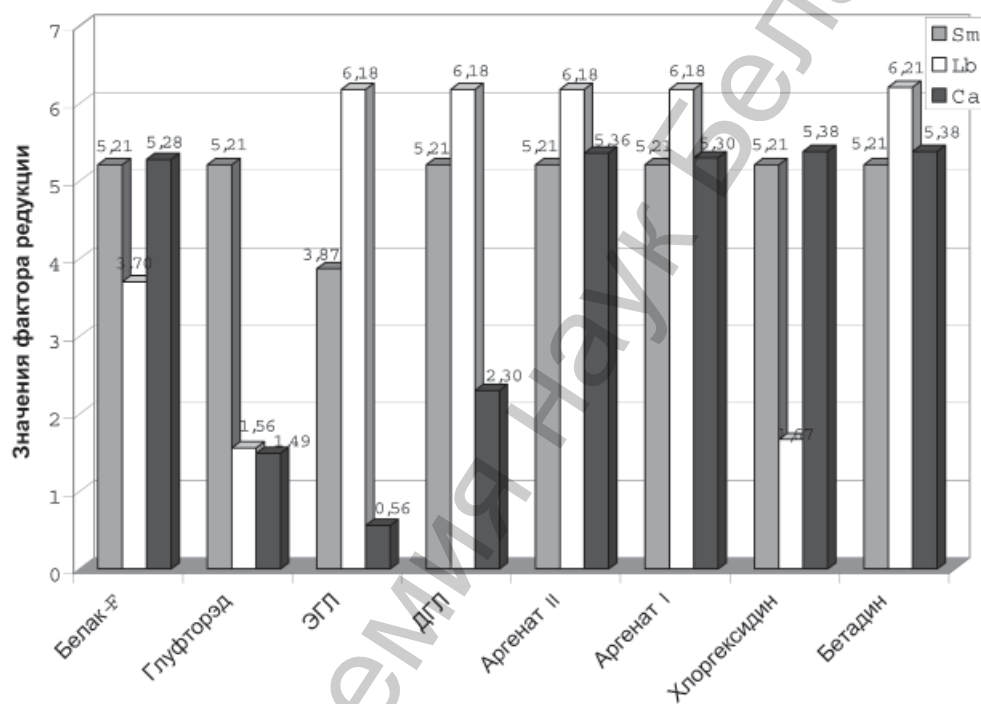


Рис. 2. Значения фактора редукции числа микроорганизмов при экспозиции исследуемых препаратов в течение минуты

двухкомпонентный», «Бетадин» и 0,05 %-ный раствор хлоргексидина). Установлено, что пролонгирование экспозиции до трех минут не приводит к появлению значимой антикандидной активности у «Эмаль-герметизирующего ликвида», «Дентин-герметизирующего ликвида» и «Глуфторэда». Исследование антигрибковой активности препаратов для контроля кариесогенной микрофлоры важно в контексте их потенциальной способности вызывать дисбактериоз полости рта при длительном применении. Установлено, что среди исследуемых препаратов, способных оказывать пролонгированное антимикробное действие, наиболее равномерное подавление изученных представителей микробиоза полости рта (и, следовательно, низкая вероятность развития дисбиотических явлений) свойственно препаратам серебра («Аргенат однокомпонентный» и «Аргенат двухкомпонентный»). Наличие у применяемых в стоматологии препаратов серебра такого недостатка, как окрашивание обработанных тканей зуба [9], обусловило тенденцию постепенного отказа врачей-стоматологов от использования этой высокоэффективной группы препаратов [10].

Таким образом, разработка, экспериментальное изучение и потенциальная клиническая апробация препаратов серебра, предназначенных для контроля кариесогенной микрофлоры и лишенных указанного недостатка, остается перспективным направлением продолжения проведенных нами исследований.

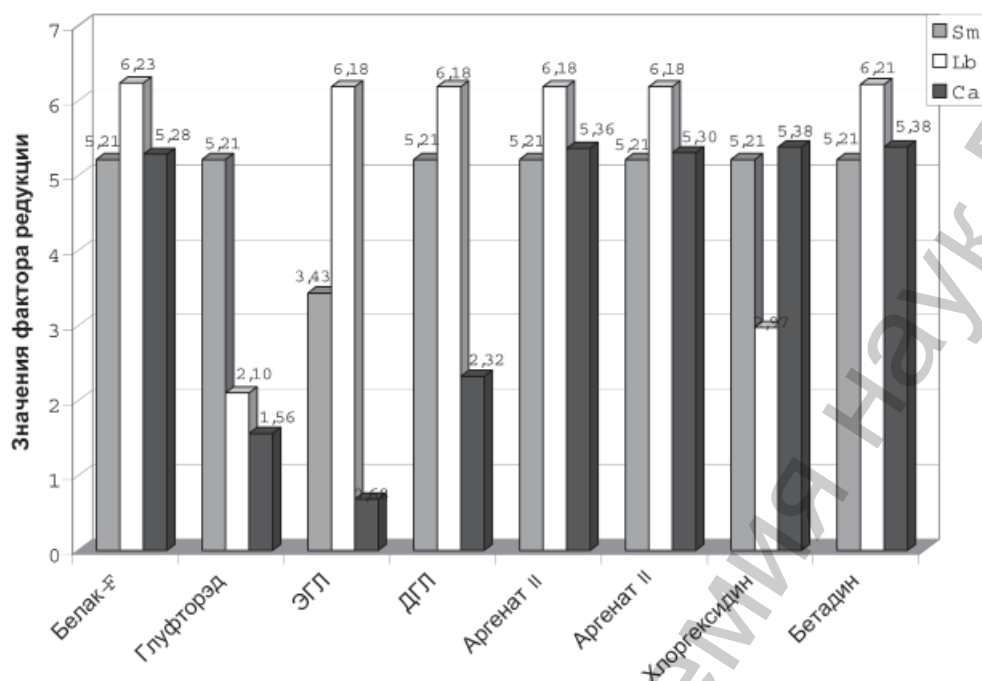


Рис. 3. Значения фактора редукции числа микроорганизмов при экспозиции исследуемых препаратов в течение 3 мин

**Выводы.**

1. Все изученные препараты (за исключением «Эмаль-герметизирующего ликвида») при полуминутной экспозиции обладают высокой антистрептококковой активностью.

2. Наибольшая активность относительно лактобактерий при малой экспозиции (0,5 мин) свойственна препаратам серебра («Аргенат однокомпонентный» и «Аргенат двухкомпонентный») и препарату фтора, содержащему наибольшее количество меди, – «Дентин-герметизирующему ликвиду».

3. Среди исследуемых препаратов, способных оказывать пролонгированное антимикробное действие, наиболее равномерное подавление изученных представителей микробиоза полости рта (и, следовательно, низкая вероятность развития дисбиотических явлений) свойственно препаратам серебра («Аргенат однокомпонентный» и «Аргенат двухкомпонентный»).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (гранты № Б10М-003 и № Б11-100).

**Литература**

1. Терехова Т. Н., Мельникова Е. И., Зорич М. Е., Валева З. Р. // Современная стоматология. 2009. № 3–4. С. 28–30.  
 2. Юдина Н. А. // Стоматологический журн. 2011. № 1. С. 22–26.

3. Murdoch-Kinch C. A., McLean M. E. // JADA. 2003. Vol. 134. P. 87–95.
4. Леус П. А. Микробный биофильм на зубах. Физиологическая роль и патогенное значение. М., 2008. – 88 с.
5. Бутвиловский А. В., Кармалькова И. С. // Materiały VII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Naukowa przestrzeń Europy – 2011». – Vol. 20. Medycyna. Fizyczna kultura i sport. Przemysł. 2011. S. 52–55.
6. Методы проверки и оценки антимикробной активности дезинфицирующих и антисептических средств (инструкция по применению) / В. П. Филонов и др. Минск, 2004. – 39 с.
7. Терехова Т. Н., Попруженко Т. В. Профилактика стоматологических заболеваний. Минск, 2004. – 526 с.
8. Nikiforuk G. Understanding dental caries. Etiology and mechanism. Basic clinical aspects. Basel. 1985. Vol. 1. – 301 p.
9. Терехова Т. Н., Бутвиловский А. В., Бурак Ж. М. // Современная стоматология. 2009. № 1. С. 57–59.
10. Бутвиловский А. В., Кармалькова И. С., Бурак Ж. М. // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. 2009. № 3. С. 78–82.

A. V. BUTVILOVSKY, F. M. FIDAROV, S. A. BUSEL, V. V. PASHKOVICH, A. P. KOZIK

**RESEARCH OF ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF SOME ANTISEPTICS, SILVER AND FLUORIDE CONTAINING MEDICINES USED FOR CARIES PROPHYLAXIS AND FOR CONTROL OF CARIOGENIC MICROFLORA**

**Summary**

The purpose of research was to study antimicrobial activity of some antiseptics, silver and fluoride containing medicines used for caries prophylaxis and for control of cariogenic microflora. The definition of antimicrobial activity was fulfilled by quantitative suspension method using test-cultures *Candida albicans* ATCC 10231, *Lactobacillus* ATCC 9595, *Streptococcus mutans*. We detected that all investigated medicines (exception «Tiefenfluorid») at 30 seconds exposure have high antistreptococcal activity. The greatest activity against lactobacteria at short exposure (0,5 minutes) is peculiar to silver-containing medicines («Single-component argenat» and «Doble-component argenat») and to fluoride containing medicine with highest concentration of copper («Dentin-Versiegelungliquid»).

УДК 539.3:534.1

Г. Р. ГУЛГАЗАРЯН<sup>1</sup>, Л. Г. ГУЛГАЗАРЯН<sup>1</sup>, И. А. МИКЛАШЕВИЧ,  
А. А. ПЛЕТЕЖОВ<sup>2</sup>, А. А. ХАЧАНЯН<sup>1</sup>

### СВОБОДНЫЕ ИНТЕРФЕЙСНЫЕ КОЛЕБАНИЯ БЕСКОНЕЧНОЙ БЕЗМОМЕНТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ГЛАДКОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ

<sup>1</sup>Армянский государственный педагогический университет им. Х. Абовяна

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

(Поступила в редакцию 02.11.2011)

*Исследуются свободные интерфейсные колебания бесконечных замкнутых и незамкнутых цилиндрических оболочек, составленных из двух полубесконечных ортотропных цилиндрических оболочек с разными упругими свойствами. Исследования проводятся для тонких упругих оболочек, для которых жесткость на изгиб равна нулю (безмоментная оболочка). Установлена асимптотическая связь между дисперсионными уравнениями рассматриваемых задач и аналогичными задачами для бесконечных составных пластин и пластин-полос. Установлены условия на коэффициенты упругости составных цилиндрических оболочек для существования интерфейсных колебаний. Проведены численные расчеты для оболочек с направляющими в виде замкнутых и незамкнутых эллипсов с различными величинами кривизны. Показано, что с увеличением квадрата кривизны направляющей кривой цилиндрической оболочки первые частоты интерфейсных колебаний увеличиваются, а процесс затухания ослабевает.*

**Введение.** Исследование колебательных процессов в составных оболочечных конструкциях занимает важное место в динамике деформируемого твердого тела. Это обусловлено как потребностями самой теории, так и практическими вопросами различных отраслей машиностроения, строительства, приборостроения, сейсмозаведки и т. д. Во многих случаях объекты исследования представляют собой протяженные тонкостенные составные цилиндрические оболочки с переменными кривизнами. Для тонких оболочек большое значение приобретает изучение собственных колебаний, локализованных у границы раздела свойств материала – интерфейсные колебания. Начало исследования собственных интерфейсных колебаний связано с работами [1–3], в которых рассматриваются аналоги волн Стоунли [4; 5]. В [1] изучаются поперечные колебания, бегущие по линии контакта двух полубеско-

нечных пластин и сосредоточенные вблизи нее. В [2] численно исследованы плоские интерфейсные колебания у границы раздела двух состыкованных полуполос с различными упругими свойствами. В [6; 7], используя специальный асимптотический метод, изучены собственные интерфейсные колебания составных круговых цилиндрических оболочек [6] и оболочек вращения [7]. Свободные интерфейсные колебания цилиндрических оболочек переменной кривизны ранее не рассматривались.

В настоящей работе изучаются собственные интерфейсные колебания безмоментных замкнутых и незамкнутых цилиндрических оболочек, составленных из полубесконечных ортотропных цилиндрических оболочек с разными упругими свойствами. В случае незамкнутой цилиндрической оболочки предполагается, что граничные образующие шарнирно закреплены. Получены дисперсионные уравнения для определения собственных частот интерфейсных колебаний замкнутых и незамкнутых составных цилиндрических оболочек переменной кривизны. Установлена асимптотическая связь между дисперсионными уравнениями рассматриваемых задач и аналогичной задачей для бесконечной пластинки, составленной из двух полубесконечных ортотропных пластин с разными упругими свойствами (аналог задачи Стоунли для пластинки) и для бесконечной пластинки-полосы, составленной из двух полубесконечных ортотропных пластин-полос с разными упругими свойствами. Полученные дисперсионные уравнения и асимптотические формулы этих дисперсионных уравнений могут служить механизмом для управления спектрами частот поставленных задач [8].

**1. Постановка задачи и некоторые математические особенности.** Рассматриваются собственные интерфейсные колебания составных ортотропных безмоментных замкнутых и незамкнутых цилиндрических оболочек переменной кривизны. Выбор систем координат и возможные формы оболочек показаны на рис. 1, 2.

Здесь  $\alpha$  – текущая ориентированная длина образующей,  $-\infty < \alpha < +\infty$ , а  $\alpha = 0$  соответствует границе раздела свойств материала.  $\beta$  – текущая длина дуги направляющей кривой,  $0 \leq \beta \leq s$ ,  $s$  – полная длина направляющей кривой. Предполагается, что квадрат кривизны направляющей кривой составной цилиндрической оболочки можно представить в виде следующего ряда Фурье:

$$R^{-2} = k^2 \left( \frac{r_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} r_m \cos km\beta \right), \quad 0 \leq \beta \leq s, \quad \sum_{m=1}^{\infty} |r_m| < +\infty. \quad (1.1)$$

Здесь  $k = 2\pi/s$  для замкнутых цилиндрических оболочек, где  $s$  – полная длина направляющей кривой и  $k = \pi/s$  для незамкнутых цилиндрических оболочек, где  $s$  – длина направляющей кривой между шарнирно закрепленными граничными

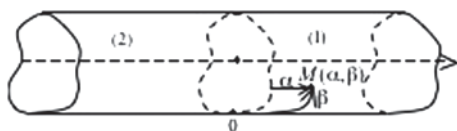


Рис. 1

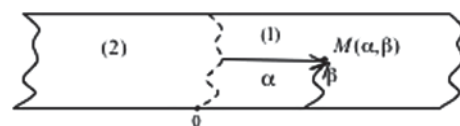


Рис. 2

ми образующими. В зависимости от кривизны направляющей кривой значения  $k$  относительно приведенных могут быть кратными.

При  $\alpha = 0$  ставятся условия полного контакта. Все величины, относящиеся к правой оболочке ( $0 \leq \alpha < +\infty$ ), отмечаются верхним индексом (1), а к левой оболочке ( $-\infty < \alpha \leq 0$ ) – индексом (2).

В качестве исходных уравнений, описывающих колебания оболочки, используются уравнения, соответствующие безмоментной теории ортотропных цилиндрических оболочек [9]:

$$\sum_{j=1}^3 \ell_{ij}^{(r)} u_j^{(r)} = 0 \quad (i = \overline{1, 3}, r = 1, 2), \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} \ell_{11}^{(r)} &= -B_{11}^{(r)} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} - B_{66}^{(r)} \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} - \lambda^{(r)}, \quad \ell_{12}^{(r)} = \ell_{21}^{(r)} = -\left(B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}\right) \frac{\partial^2}{\partial \alpha \partial \beta}, \\ \ell_{13}^{(r)} &= -\ell_{31}^{(r)} = \frac{B_{12}^{(r)}}{R} \frac{\partial}{\partial \alpha}, \quad \ell_{22}^{(r)} = -B_{66}^{(r)} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} - B_{22}^{(r)} \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} - \lambda^{(r)}, \\ \ell_{23}^{(r)} &= B_{22}^{(r)} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\cdot}{R}\right), \quad \ell_{32}^{(r)} = -\frac{B_{22}^{(r)}}{R} \frac{\partial}{\partial \beta}, \quad \ell_{33}^{(r)} = \frac{B_{22}^{(r)}}{R^2} - \lambda^{(r)}. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Здесь  $u_1^{(r)}, u_2^{(r)}, u_3^{(r)}$  ( $r = 1, 2$ ) – проекции вектора перемещения соответственно в направлениях  $\alpha, \beta$  и нормали к поверхности оболочки:  $R^{-1} = R^{-1}(\beta)$  – радиус кривизны направляющей кривой;  $\lambda^{(r)} = \rho^{(r)} \omega^2$ , где  $\omega$  – угловая частота собственных интерфейсных колебаний, а  $\rho^{(r)}$  ( $r = 1, 2$ ) – плотности материалов;  $B_{ij}^{(r)}$  ( $r = 1, 2$ ) – коэффициенты упругости составляющих полубесконечных оболочек. Граничные условия имеют вид:

$$T_1^{(1)}|_{\alpha=0} = T_1^{(2)}|_{\alpha=0}, \quad S_{12}^{(1)}|_{\alpha=0} = S_{12}^{(2)}|_{\alpha=0}, \quad u_1^{(1)}|_{\alpha=0} = u_1^{(2)}|_{\alpha=0}, \quad u_2^{(1)}|_{\alpha=0} = u_2^{(2)}|_{\alpha=0}, \quad (1.4)$$

$$u_i^{(r)}(\alpha, \beta) = u_i^{(r)}(\alpha, \beta + s), \quad i = 1, 2, 3, \quad r = 1, 2, \quad (1.5)$$

$$\lim_{\alpha \rightarrow +\infty} u_i^{(1)} = \lim_{\alpha \rightarrow -\infty} u_i^{(2)} = 0, \quad i = 1, 2, 3, \quad (1.6)$$

$$T_2^{(r)}|_{\beta=0,s} = 0, \quad u_1^{(r)}|_{\beta=0,s} = 0, \quad r = 1, 2, \quad (1.7)$$

где  $T_i^{(r)}, i = 1, 2, S_{12}^{(r)}$  являются тангенциальными нормальными и сдвиговыми силами соответственно:

$$\begin{aligned} T_1^{(r)} &= hB_{11}^{(r)} \left( \frac{\partial u_1^{(r)}}{\partial \alpha} + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \left( \frac{\partial u_2^{(r)}}{\partial \beta} - \frac{u_3^{(r)}}{R} \right) \right), \quad T_2^{(r)} = hB_{22}^{(r)} \left( \frac{\partial u_2^{(r)}}{\partial \beta} - \frac{u_3^{(r)}}{R} + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{22}^{(r)}} \frac{\partial u_1^{(r)}}{\partial \alpha} \right), \\ S_{12}^{(r)} &= hB_{66}^{(r)} \left( \frac{\partial u_1^{(r)}}{\partial \beta} + \frac{\partial u_2^{(r)}}{\partial \alpha} \right). \end{aligned} \quad (1.8)$$

Граничные условия (1.4)–(1.6) соответствуют замкнутой цилиндрической оболочке: соотношения (1.4) выражают условия полного контакта при  $\alpha = 0$ , (1.5) – условия периодичности колебаний (рис. 1). Граничные условия (1.4), (1.7) соответствуют незамкнутой цилиндрической оболочке: соотношения (1.7) являются условиями шарнирного закрепления по образующим  $\beta = 0$  и  $\beta = s$  (рис. 2). Условия (1.6) являются условиями затухания при  $|\alpha| \rightarrow +\infty$ .

Заметим, что любые граничные задачи, порожденные системой уравнений (1.2) (с фиксированным индексом  $(r)$ ), имеют участок непрерывного спектра, совпадающий с отрезком  $0 \leq \lambda^{(r)} \leq \lambda_0^{(r)}$  – множеством значений функции [10]

$$\Omega^{(r)}(\beta, \theta^{(r)}) = \frac{B_{66}^{(r)}(B_{11}^{(r)}B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2)R^{-2}(\beta)\sin^4\theta^{(r)}}{B_{66}^{(r)}(B_{11}^{(r)}\sin^4\theta^{(r)} + B_{22}^{(r)}\cos^4\theta^{(r)}) + (B_{11}^{(r)}B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2B_{12}^{(r)}B_{66}^{(r)})\cos^2\theta^{(r)}\sin^2\theta^{(r)}},$$

$$0 \leq \beta \leq s, \quad 0 \leq \theta^{(r)} \leq 2\pi, \quad r = 1, 2. \quad (1.9)$$

Отметим, что появление этих участков непрерывного спектра является результатом нарушения эллиптичности системы (1.2) по Дуглису–Ниренбергу и не связано с граничными условиями [11, с. 97]. Остановимся на его содержании [12–13].

Пусть  $\ell_{ij}^{0r}$  – старший по порядку дифференцирования членов в каждом  $\ell_{ij}^{(r)}$  из (1.3). Введем матрицу операторов:

$$L^{0r}\left(\beta, \frac{\partial}{\partial\alpha}, \frac{\partial}{\partial\beta}\right) = \|\ell_{ij}^{0r}\|_{i,j=1}^3, \quad (1.10)$$

и пусть  $L^{0r}(\beta, (-1)^r i\xi_1^{(r)}, (-1)^r i\xi_2^{(r)})$  – соответствующая матрица (символ), получающаяся из (1.10) формальной заменой  $\partial / \partial\alpha \rightarrow (-1)^r i\xi_1^{(r)}$ ,  $\partial / \partial\beta \rightarrow (-1)^r i\xi_2^{(r)}$ .

Системы (1.2) называются эллиптическими по Дуглису–Ниренбергу, если существуют такие целые числа  $s_i^{(r)}$  и  $t_j^{(r)}$ , что порядок каждого оператора  $\ell_{ij}^{0r}$  строго равен  $s_i^{(r)} + t_j^{(r)}$ ,  $1 \leq i, j \leq 3$ , и

$$\Delta_{\lambda^{(r)}} = \text{Det } L^{0r}(\beta, (-1)^r i\xi_1^{(r)}, (-1)^r i\xi_2^{(r)}) \neq 0, \quad (1.11)$$

при  $0 \leq \beta \leq s$ ,  $-\infty < \alpha \leq 0$ ,  $r = 2$ ;  $0 \leq \alpha < +\infty$ ,  $r = 1$  и всех вещественных  $\xi_1^{(r)}$  и  $\xi_2^{(r)}$  таких, что  $(\xi_1^{(r)})^2 + (\xi_2^{(r)})^2 \neq 0$ . Заметим, что

$$\text{Det } L^{0r}(\beta, (-1)^r i\xi_1^{(r)}, (-1)^r i\xi_2^{(r)}) = \begin{vmatrix} B_{11}^{(r)}(\xi_1^{(r)})^2 + B_{66}^{(r)}(\xi_2^{(r)})^2 & (B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)})\xi_1^{(r)}\xi_2^{(r)} & (-1)^r i\xi_1^{(r)}\frac{B_{12}^{(r)}}{R} \\ (B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)})\xi_1^{(r)}\xi_2^{(r)} & B_{66}^{(r)}(\xi_1^{(r)})^2 + B_{22}^{(r)}(\xi_2^{(r)})^2 & (-1)^r i\xi_2^{(r)}\frac{B_{22}^{(r)}}{R} \\ (-1)^{r+1}i\xi_1^{(r)}\frac{B_{12}^{(r)}}{R} & (-1)^{r+1}i\xi_2^{(r)}\frac{B_{22}^{(r)}}{R} & \frac{B_{22}^{(r)}}{R^2} - \lambda^{(r)} \end{vmatrix}, \quad (1.12)$$

что соответствует выборам индексов:

$$s_1^{(r)} = s_2^{(r)} = t_1^{(r)} = t_2^{(r)} = 1, \quad s_3^{(r)} = t_3^{(r)} = 0. \quad (1.13)$$

Можно проверить, что

$$\Delta_{\lambda^{(r)}} = \text{Det } L^{0r}(\beta, (-1)^r i \xi_1^{(r)}, (-1)^r i \xi_2^{(r)}) = B_{66}^{(r)}(B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2) R^{-2}(\beta) (\xi_1^{(r)})^4 - \lambda^{(r)} [B_{66}^{(r)}(B_{11}^{(r)} (\xi_1^{(r)})^4 + B_{22}^{(r)} (\xi_2^{(r)})^4) + (B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}) (\xi_1^{(r)})^2 (\xi_2^{(r)})^2]. \quad (1.14)$$

При условии  $\lambda^{(r)} \in [0, \lambda_0^{(r)}]$  (см. (1.9)) для некоторых  $\beta_0^{(r)} \in [0, s]$  и  $\xi_{01}^{(r)}, \xi_{02}^{(r)}$  параметров  $\Delta_{\lambda^{(r)}} = 0$ , т. е. нарушаются условия эллиптичности систем (1.2) по Дуглису–Ниренбергу.

Действительно, если подставить

$$\beta = \beta_0^{(r)}, \quad \sin \theta^{(r)} = \xi_{01}^{(r)} / \sqrt{(\xi_{01}^{(r)})^2 + (\xi_{02}^{(r)})^2}, \quad \cos \theta^{(r)} = \xi_{02}^{(r)} / \sqrt{(\xi_{01}^{(r)})^2 + (\xi_{02}^{(r)})^2}, \quad (1.15)$$

приравнять нулю (1.14) и решить относительно  $\lambda^{(r)}$  полученное уравнение, то будем иметь соответствующие значения функции (1.9).

Как известно, эллиптичности системы не достаточно для того, чтобы задача Дирихле была корректно поставлена даже в случае однородных систем [13–15]. Для существования нетривиальных решений задачи (1.2), (1.4)–(1.6) и (1.2), (1.4), (1.6), (1.7) следует дополнительно потребовать выполнения вдоль границы разделения материалов некоторых условий алгебраического характера. Это условие называется условием дополненности (условием Шапиро–Лопатинского) [11; 13–15].

Поясним это условие для задач (1.2), (1.4)–(1.6) и (1.2), (1.4), (1.6), (1.7). Предположим, что  $\lambda^{(r)} \notin [0, \lambda_0^{(r)}]$ ,  $r = 1, 2$ , и возьмем произвольную точку  $(0, \beta)$ . Заморозим все коэффициенты (1.10) в точке  $(0, \beta)$  и формально заменим  $\partial / \partial \beta \rightarrow (-1)^r i \xi_2$ , а дифференцирование по  $\alpha$  сохраним. Рассмотрим систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$L_0^{(r)}(\beta, \partial / \partial \alpha, (-1)^r i \xi_2) g^{(r)}(\alpha) = 0, \quad (1.16)$$

$$L_0^{(r)}(\beta, \partial / \partial \alpha, (-1)^r i \xi_2) = \begin{vmatrix} -B_{11}^{(r)} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + B_{66}^{(r)} \xi_2^2 & (-1)^{r+1} (B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}) \xi_2 \frac{\partial}{\partial \alpha} & \frac{B_{12}^{(r)}}{R(\beta)} \frac{\partial}{\partial \alpha} \\ (-1)^{r+1} (B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}) \xi_2 \frac{\partial}{\partial \alpha} & -B_{66}^{(r)} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + B_{22}^{(r)} \xi_2^2 & (-1)^r i \frac{B_{22}^{(r)}}{R(\beta)} \xi_2 \\ \frac{B_{12}^{(r)}}{R(\beta)} \frac{\partial}{\partial \alpha} & (-1)^{r+1} i \frac{B_{22}^{(r)}}{R(\beta)} \xi_2 & \frac{B_{22}^{(r)}}{R^2(\beta)} - \lambda^{(r)} \end{vmatrix}. \quad (1.17)$$

Решение системы (1.16) ищем в виде:

$$g^{(r)}(\alpha) = [u_1^{(r)}, u_2^{(r)}, u_3^{(r)}]^T = d^{(r)} \exp((-1)^r i \xi_1^{(r)} \alpha), \quad (1.18)$$

где  $d^{(r)} = [d_1^{(r)}, d_2^{(r)}, R(\beta)]^T$  – постоянный вектор (условие  $\lambda^{(r)} \notin [0, \lambda_0^{(r)}]$  исключает равенство  $R^{-1}(\beta) = 0$ ),  $\xi_1^{(r)}$  – характеристический показатель. При определении  $\xi_1^{(r)}$ , очевидно, придем к уравнениям

$$\text{Det} L^{0r}(\beta, (-1)^r i \xi_1^{(r)}, (-1)^r i \xi_2) = 0, \quad r = 1, 2. \quad (1.19)$$

Поскольку считаем, что выполнено условие (1.11), то уравнения (1.19) при фиксированном вещественном  $\xi_2 \neq 0$  не имеет вещественных корней  $\xi_1^{(r)}$ . Так как (1.19) относительно  $\xi_1^{(r)}$  являются биквадратными уравнениями с действительными коэффициентами, то при всех вещественных  $\xi_2 \neq 0$  каждое имеет два корня  $\xi_1^{(r)}$  в верхней полуплоскости и два в нижней, причем все они разные. Устойчивые решения системы (1.16) вида (1.18) соответствуют корням  $\xi_{1j}^{(r)}$  ( $j = 1, 2, r = 1, 2$ ) уравнения (1.19) с  $\text{Im} \xi_{1j}^{(r)} < 0$ . Пусть

$$\xi_{1j}^{(r)} = -i \gamma_j^{(r)} |\xi_2| \quad j = 1, 2, \quad r = 1, 2, \quad (1.20)$$

где  $\gamma_1^{(r)}$  и  $\gamma_2^{(r)}$  – корни уравнения

$$\left( \lambda^{(r)} - \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{B_{11}^{(r)}} R^{-2}(\beta) \right) (\gamma^{(r)})^4 - \lambda^{(r)} \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2 B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (\gamma^{(r)})^2 + \lambda^{(r)} \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} = 0 \quad (1.21)$$

с положительными действительными частями.

Пусть  $g_j^{(r)}(\alpha)$  ( $j = 1, 2; r = 1, 2$ ) являются решениями уравнения (1.16) вида (1.18) при  $\xi_1^{(r)} = \xi_{1j}^{(r)}$ . Непосредственным вычислением получим:

$$d_{1j}^{(r)} = \frac{(-1)^r i \frac{\gamma_j^{(r)}}{|\xi_2|} \left( \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\gamma_j^{(r)})^2 + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \right)}{(\gamma_j^{(r)})^4 - \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2 B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (\gamma_j^{(r)})^2 + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}}}, \quad (1.22)$$

$$d_{2j}^{(r)} = \frac{(-1)^r i \left( \frac{(B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)})}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (\gamma_j^{(r)})^2 - \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \right)}{(\gamma_j^{(r)})^4 - \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2 B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (\gamma_j^{(r)})^2 + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}}} \quad (j = 1, 2).$$

Обозначим

$$g^{(r)}(\alpha) = w_1^{(r)} g_1^{(r)}(\alpha) + w_2^{(r)} g_2^{(r)}(\alpha) \quad (1.23)$$

и подставим в граничные условия (главные части граничных условий (1.4), где формально произведена замена  $\partial / \partial \beta \rightarrow (-1)^r i \xi_2$ , а коэффициенты заморожены в точке  $(0, \beta)$ ):

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial u_1^{(1)}}{\partial \alpha} - \frac{B_{12}^{(1)}}{B_{11}^{(1)}} \left( i \xi_2 u_2^{(1)} + \frac{u_3^{(1)}}{R(\beta)} \right) \right|_{\alpha=0} &= \frac{B_{11}^{(2)}}{B_{11}^{(1)}} \left. \left( \frac{\partial u_1^{(2)}}{\partial \alpha} + \frac{B_{12}^{(2)}}{B_{11}^{(2)}} \left( i \xi_2 u_2^{(2)} - \frac{u_3^{(2)}}{R(\beta)} \right) \right) \right|_{\alpha=0}, \\ -i \xi_2 u_1^{(1)} + \frac{\partial u_2^{(1)}}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=0} &= \frac{B_{66}^{(2)}}{B_{66}^{(1)}} \left. \left( i \xi_2^{(2)} u_1^{(2)} + \frac{\partial u_2^{(2)}}{\partial \alpha} \right) \right|_{\alpha=0}, \end{aligned} \quad (1.24)$$

$$u_1^{(1)}|_{\alpha=0} = u_1^{(2)}|_{\alpha=0}, \quad u_2^{(1)}|_{\alpha=0} = u_2^{(2)}|_{\alpha=0}.$$

Условие Шапиро–Лопатинского состоит в том, чтобы краевая задача (1.16), (1.24) имела только тривиальное решение. Последнее высказывание эквивалентно тому, что система уравнений

$$\begin{aligned} -\sum_{j=1}^2 \left( i \xi_{1j}^{(1)} d_{1j}^{(1)} + \frac{B_{12}^{(1)}}{B_{11}^{(1)}} (i \xi_2 d_{2j}^{(1)} + 1) \right) w_j^{(1)} &= \frac{B_{11}^{(2)}}{B_{11}^{(1)}} \sum_{j=1}^2 \left( i \xi_{1j}^{(2)} d_{1j}^{(2)} + \frac{B_{12}^{(2)}}{B_{11}^{(2)}} (i \xi_2 d_{2j}^{(2)} - 1) \right) w_j^{(2)}, \\ -i \sum_{j=1}^2 \left( \xi_2 d_{1j}^{(1)} + \xi_{1j}^{(1)} d_{2j}^{(1)} \right) w_j^{(1)} &= i \frac{B_{66}^{(2)}}{B_{66}^{(1)}} \sum_{j=1}^2 \left( \xi_2 d_{1j}^{(2)} + \xi_{1j}^{(2)} d_{2j}^{(2)} \right) w_j^{(2)}, \\ \sum_{j=1}^2 d_{kj}^{(1)} w_j^{(1)} &= \sum_{j=1}^2 d_{kj}^{(2)} w_j^{(2)}, \quad k=1, 2 \end{aligned} \quad (1.25)$$

должна иметь только тривиальное решение, т. е. определитель системы (1.25) не равен нулю.

Заметим, что система (1.25) преобразуется к эквивалентной системе:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^2 \frac{S_{1j}^{(1)}}{D_j^{(1)}} w_j^{(1)} &= \frac{B_{11}^{(2)}}{B_{11}^{(1)}} \sum_{j=1}^2 \frac{S_{1j}^{(2)}}{D_j^{(2)}} w_j^{(2)}, \quad \sum_{j=1}^2 \frac{S_{2j}^{(1)}}{D_j^{(1)}} w_j^{(1)} = \frac{B_{66}^{(2)}}{B_{66}^{(1)}} \sum_{j=1}^2 \frac{S_{2j}^{(2)}}{D_j^{(2)}} w_j^{(2)}, \\ \sum_{j=1}^2 \frac{S_{kj}^{(1)}}{D_j^{(1)}} w_j^{(1)} &= -\sum_{j=1}^2 \frac{S_{kj}^{(2)}}{D_j^{(2)}} w_j^{(2)}, \quad k=3, 4, \end{aligned} \quad (1.26)$$

$$\begin{aligned} S_{1j}^{(r)} &= \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{(B_{11}^{(r)})^2} (\gamma_j^{(r)})^2, \quad S_{2j}^{(r)} = \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (\gamma_j^{(r)})^3, \\ S_{3j}^{(r)} &= \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\gamma_j^{(r)})^3 + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \gamma_j^{(r)}, \quad S_{4j}^{(r)} = \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (\gamma_j^{(r)})^2 - \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}}, \\ D_j^{(r)} &= (\gamma_j^{(r)})^4 - \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (\gamma_j^{(r)})^2 + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}}. \end{aligned} \quad (1.27)$$

Следовательно, чтобы система (1.26) имела только нулевое решение, необходимо и достаточно, чтобы

$$\Delta(\beta, \lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}) = \text{Det} \begin{vmatrix} S_{11}^{(1)} & S_{12}^{(1)} & -B_{11}^{(2)} / B_{11}^{(1)} S_{11}^{(2)} & -B_{11}^{(2)} / B_{11}^{(1)} S_{12}^{(2)} \\ S_{21}^{(1)} & S_{22}^{(1)} & -B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)} S_{21}^{(2)} & -B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)} S_{22}^{(2)} \\ S_{31}^{(1)} & S_{32}^{(1)} & S_{31}^{(2)} & S_{32}^{(2)} \\ S_{41}^{(1)} & S_{42}^{(1)} & S_{41}^{(2)} & S_{42}^{(2)} \end{vmatrix} \neq 0. \quad (1.28)$$

Легко заметить, что

$$\Delta(\beta, \lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}) = \frac{B_{22}^{(1)} B_{22}^{(2)} (B_{11}^{(1)} B_{22}^{(1)} - (B_{12}^{(1)})^2) (B_{11}^{(2)} B_{22}^{(2)} - (B_{12}^{(2)})^2)}{(B_{11}^{(1)})^3 (B_{11}^{(2)})^2 B_{66}^{(1)}} \times \quad (1.29)$$

$$(\gamma_2^{(1)} - \gamma_1^{(1)}) (\gamma_2^{(2)} - \gamma_1^{(2)}) \Omega(\beta, \lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}),$$

$$\Omega(\beta, \lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}) = \frac{1}{S^{(1)}(\beta, \lambda^{(1)}) S^{(2)}(\beta, \lambda^{(2)})} \left\{ \frac{B_{11}^{(1)} B_{22}^{(1)} - (B_{12}^{(1)})^2}{B_{66}^{(2)}} \lambda^{(1)} Q^{(2)}(\beta, \lambda^{(2)}) + \right. \quad (1.30)$$

$$\left. \frac{B_{11}^{(2)} B_{22}^{(2)} - (B_{12}^{(2)})^2}{B_{66}^{(1)}} \lambda^{(2)} Q^{(1)}(\beta, \lambda^{(1)}) \right\} +$$

$$(\gamma_1^{(1)} + \gamma_2^{(1)}) (\gamma_1^{(2)} + \gamma_2^{(2)}) (\gamma_1^{(1)} \gamma_2^{(1)} + \gamma_1^{(2)} \gamma_2^{(2)}) -$$

$$2 \left( \gamma_1^{(1)} \gamma_2^{(1)} - \frac{\lambda^{(1)} B_{12}^{(1)}}{S^{(1)}(\beta, \lambda^{(1)})} \right) \left( \gamma_1^{(2)} \gamma_2^{(2)} - \frac{\lambda^{(2)} B_{12}^{(2)}}{S^{(2)}(\beta, \lambda^{(2)})} \right),$$

$$Q^{(r)}(\beta, \lambda^{(r)}) = B_{66}^{(r)} (\lambda^{(r)} - B_{22}^{(r)} R^{-2}(\beta)) +$$

$$\sqrt{B_{22}^{(r)} \lambda^{(r)} (B_{11}^{(r)} \lambda^{(r)} - (B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2))} R^{-2}(\beta),$$

$$S^{(r)}(\beta, \lambda^{(r)}) = B_{11}^{(r)} \lambda^{(r)} - (B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2) R^{-2}(\beta).$$

Заметим, что для незамкнутой цилиндрической оболочки при граничных условиях (1.7) условие Шапиро–Лопатинского выполнено. Этот факт доказывается аналогично как в [10]. Следовательно, условие Шапиро–Лопатинского для задач (1.2), (1.4)–(1.6) и (1.2), (1.4), (1.6), (1.7) имеет вид:

$$\Omega(\beta, \lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}) \neq 0, \quad 0 \leq \beta \leq s. \quad (1.31)$$

Множество значений  $\omega^2$ , при которых  $\Omega(\beta, \lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}) = 0$ , обозначим через  $\Omega_\gamma$ .

Справедливо следующее утверждение: вне множества  $[0, \lambda_0^{(1)} / \rho^{(1)}] \cup [0, \lambda_0^{(2)} / \rho^{(2)}] \cup \Omega_\gamma$  спектр частот задач (1.2), (1.4)–(1.6) и (1.2), (1.4), (1.6), (1.7) состоит из изолированных собственных частот конечной кратности [11].

**2. Вывод и анализ дисперсионных уравнений.** Для последующих вычислений целесообразно систему уравнений (1.2) свести к системе уравнений:

$$\begin{aligned} \Gamma^{(r)} u_1^{(r)} &= \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \frac{\partial^3 w^{(r)}}{\partial \alpha^3} - \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \frac{\partial^3 w^{(r)}}{\partial \alpha \partial \beta^2} + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \frac{\lambda^{(r)}}{B_{66}^{(r)}} \frac{\partial w^{(r)}}{\partial \alpha}, \\ \Gamma^{(r)} u_2^{(r)} &= \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \frac{\partial^3 w^{(r)}}{\partial \beta^3} + \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} \frac{\partial^3 w^{(r)}}{\partial \alpha^2 \partial \beta} + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \frac{\lambda^{(r)}}{B_{66}^{(r)}} \frac{\partial w^{(r)}}{\partial \beta}, \\ &\quad - \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{22}^{(r)}} \frac{1}{R^2} \frac{\partial u_1^{(r)}}{\partial \alpha} - \frac{1}{R^2} \frac{\partial u_2^{(r)}}{\partial \beta} + \frac{w^{(r)}}{R^2} = \frac{\lambda^{(r)}}{B_{22}^{(r)}} w^{(r)}, \quad r=1, 2, \end{aligned} \quad (2.1)$$

где  $w^{(r)} = u_3^{(r)} / R$ , а операторы  $\Gamma^{(r)}$  ( $r=1, 2$ ) имеют вид:

$$\begin{aligned} \Gamma^{(r)} &= \frac{\partial^4}{\partial \alpha^4} + \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} \frac{\partial^4}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \frac{\partial^4}{\partial \beta^4} + \\ &\quad \frac{B_{11}^{(r)} + B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} \lambda^{(r)} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + \frac{B_{22}^{(r)} + B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} \lambda^{(r)} \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} + \frac{(\lambda^{(r)})^2}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Решение системы (2.1) ищем в виде

$$\begin{aligned} u_1^{(r)} &= \exp((-1)^r \chi^{(r)} k \alpha) \left( \sum_{m=1}^{\infty} u_m^{(r)} \sin km \beta \right), \quad u_2^{(r)} = \exp((-1)^r \chi^{(r)} k \alpha) \left( \sum_{m=1}^{\infty} v_m^{(r)} \cos km \beta \right), \\ w^{(r)} &= k \exp((-1)^r \chi^{(r)} k \alpha) \left( \sum_{m=1}^{\infty} w_m^{(r)} \sin km \beta \right). \end{aligned} \quad (2.3)$$

При этом условия (1.5) и (1.7) выполняются автоматически и поставленные задачи решаются аналогичным образом, если параметру  $k$  придавать разные значения. Подставим выражения (2.3) в систему (2.1). Из первых двух уравнений (2.1), приравнявая соответствующие коэффициенты полученных тригонометрических рядов, получим:

$$\begin{aligned} C_m^{(r)} u_m^{(r)} &= (-1)^r \chi^{(r)} a_m^{(r)} w_m^{(r)}, \quad C_m^{(r)} v_m^{(r)} = m b_m^{(r)} w_m^{(r)}, \\ a_m^{(r)} &= \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\chi^{(r)})^2 + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} m^2 + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2, \quad (\eta^{(r)})^2 = \frac{\lambda^{(r)}}{k^2 B_{66}^{(r)}}, \\ b_m^{(r)} &= \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (\chi^{(r)})^2 - \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (m^2 - (\eta^{(r)})^2), \\ C_m^{(r)} &= (\chi^{(r)})^4 - \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} m^2 (\chi^{(r)})^2 + \frac{B_{11}^{(r)} + B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2 (\chi^{(r)})^2 + \\ &\quad (m^2 - (\eta^{(r)})^2) \left( \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} m^2 - \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2 \right), \quad m = \overline{1, +\infty}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Из третьего уравнения системы (2.1), учитывая соотношения (2.4) и правило умножения тригонометрических рядов [16, с. 592], приходим к бесконечной системе уравнений:

$$\sum_{n=1}^{\infty} (r_{n-m} - r_{n+m}) A_n^{(r)} w_n^{(r)} - 2 \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{22}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2 w_m^{(r)} = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}, \quad r = 1, 2, \quad (2.5)$$

$$A_n^{(r)} = P_n^{(r)} / C_n^{(r)}, \quad P_n^{(r)} = C_n^{(r)} + n^2 b_n^{(r)} - B_{12}^{(r)} / B_{22}^{(r)} (\chi^{(r)})^2 a_n^{(r)}, \quad n = \overline{1, +\infty}. \quad (2.6)$$

Исходя из правила умножения тригонометрических рядов, условимся, что если  $h > 0$ , то  $r_{-h} = r_h$ , так как в области определения  $A_n^{(r)}$  имеем  $A_n^{(r)} = O(1/n^2)$ , следовательно  $\sum_{n=1}^{\infty} |A_n^{(r)}| < +\infty$ . Учитывая также представление (1.1), получим

$$\sum_{n,m=1}^{\infty} |A_n^{(r)}| (|r_{n+m}| + |r_{n-m}|) \leq 3(|r_0|/2 + \sum_{m=1}^{\infty} |r_m|) (\sum_{n=1}^{\infty} |A_n^{(r)}|) < +\infty. \quad (2.7)$$

Следовательно, бесконечный определитель системы (2.5) при  $\lambda^{(r)} \notin [0, \lambda_0^{(r)}]$ ,  $r = 1, 2$ , и в области определения коэффициентов (2.6) относится к известному классу сходящихся определителей – к нормальным определителям [17]. Чтобы системы (2.5) имели нетривиальные решения, необходимо и достаточно, чтобы их определители равнялись нулю

$$D^{(r)}((\chi^{(r)})^2, (\eta^{(r)})^2, B_{11}^{(r)}, B_{22}^{(r)}, B_{12}^{(r)}, B_{66}^{(r)}, r_0, r_1, \dots, r_m, \dots) = 0, \quad r = 1, 2. \quad (2.8)$$

Предположим, что  $\chi_1^{(r)}, \chi_2^{(r)}$  ( $r = 1, 2$ ) – различные корни уравнения (2.8) с положительными действительными частями. Учитывая условие (1.6), решения задач (1.2), (1.4)–(1.6) и (1.2), (1.4), (1.6), (1.7) ищем в виде:

$$u_1^{(r)} = \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^{\infty} \exp((-1)^r \chi_j^{(r)} k \alpha) u_{mj}^{(r)} \sin km\beta, \quad u_2^{(r)} = \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^{\infty} \exp((-1)^r \chi_j^{(r)} k \alpha) v_{mj}^{(r)} \cos km\beta, \\ w^{(r)} = k \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^{\infty} \exp((-1)^r \chi_j^{(r)} k \alpha) w_{mj}^{(r)} \sin km\beta. \quad (2.9)$$

Здесь  $u_{mj}^{(r)}, v_{mj}^{(r)}$  значения  $u_{mj}^{(r)}, v_{mj}^{(r)}$  при  $\chi^{(r)} = \chi_j^{(r)}$ , а  $w_{1j}^{(r)}, w_{2j}^{(r)}, \dots, w_{mj}^{(r)}, \dots, j = 1, 2$ , решения системы (2.5) при  $\chi^{(r)} = \chi_j^{(r)}, j = 1, 2$ , соответственно. Учитывая граничные условия (1.4) и соотношения (2.4) приходим к совокупности систем уравнений:

$$\sum_{j=1}^2 \frac{R_{1j}^{(1)}}{C_{mj}^{(1)}} w_{mj}^{(1)} - \frac{B_{11}^{(2)}}{B_{11}^{(1)}} \sum_{j=1}^2 \frac{R_{1j}^{(2)}}{C_{mj}^{(2)}} w_{mj}^{(2)} = 0, \quad \sum_{j=1}^2 \frac{R_{2j}^{(1)}}{C_{mj}^{(1)}} w_{mj}^{(1)} + \frac{B_{66}^{(2)}}{B_{66}^{(1)}} \sum_{j=1}^2 \frac{R_{2j}^{(2)}}{C_{mj}^{(2)}} w_{mj}^{(2)} = 0, \\ \sum_{j=1}^2 \frac{R_{3j}^{(1)}}{C_{mj}^{(1)}} w_{mj}^{(1)} + \sum_{j=1}^2 \frac{R_{3j}^{(2)}}{C_{mj}^{(2)}} w_{mj}^{(2)} = 0, \quad \sum_{j=1}^2 \frac{R_{4j}^{(1)}}{C_{mj}^{(1)}} w_{mj}^{(1)} - \sum_{j=1}^2 \frac{R_{4j}^{(2)}}{C_{mj}^{(2)}} w_{mj}^{(2)} = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}, \quad (2.10)$$

$$R_{1j}^{(r)} = (\chi_j^{(r)})^2 a_{mj}^{(r)} - \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} m^2 b_{mj}^{(r)} - \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} c_{mj}^{(r)}, \quad (2.11)$$

$$R_{2j}^{(r)} = \chi_j^{(r)} (a_{mj}^{(r)} + b_{mj}^{(r)}), \quad R_{3j}^{(r)} = \chi_j^{(r)} a_{mj}^{(r)}, \quad R_{4j}^{(r)} = b_{mj}^{(r)},$$

а  $a_{mj}^{(r)}, b_{mj}^{(r)}, c_{mj}^{(r)}$  – значения  $a_m^{(r)}, b_m^{(r)}, c_m^{(r)}$  из (2.4) при  $\chi_j^{(r)} = \chi_j^{(r)}$  соответственно. Чтобы совокупность систем уравнений (2.10) имела решение, достаточно чтобы совокупность уравнений

$$\Delta_m = \text{Det} \begin{vmatrix} R_{11}^{(1)} & R_{12}^{(1)} & -B_{11}^{(2)} / B_{11}^{(1)} R_{11}^{(2)} & -B_{11}^{(2)} / B_{11}^{(1)} R_{12}^{(2)} \\ R_{21}^{(1)} & R_{22}^{(1)} & B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)} R_{21}^{(2)} & B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)} R_{22}^{(2)} \\ R_{31}^{(1)} & R_{32}^{(1)} & R_{31}^{(2)} & R_{32}^{(2)} \\ R_{41}^{(1)} & R_{42}^{(1)} & -R_{41}^{(2)} & -R_{42}^{(2)} \end{vmatrix} = 0, \quad m = 1, +\infty, \quad (2.12)$$

вне множества  $[0, \lambda^{(1)} / \rho^{(1)}] \cup [0, \lambda^{(2)} / \rho^{(2)}] \cup \Omega_\gamma$  имела  $\omega^2$ -решение. Численный анализ показывает, что левая часть этого равенства становится малой, когда любые два корня уравнения (2.8) становятся близкими друг к другу. Это сильно усложняет расчеты и может привести к появлению ложных решений. Оказывается, множитель в левой части равенства (2.12), стремящийся к нулю при сближении корней, можно выделить.

Выполняя элементарные действия над столбцами определителя из (2.12), получим:

$$\Delta_m = m^{12} (x_2^{(1)} - x_1^{(1)})(x_2^{(2)} - x_1^{(2)}) \begin{vmatrix} m_{11}^{(1)} & m_{12}^{(1)} & -B_{11}^{(2)} / B_{11}^{(1)} m_{11}^{(2)} & -B_{11}^{(2)} / B_{11}^{(1)} m_{12}^{(2)} \\ m_{21}^{(1)} & m_{22}^{(1)} & B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)} m_{21}^{(2)} & B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)} m_{22}^{(2)} \\ m_{31}^{(1)} & m_{32}^{(1)} & m_{31}^{(2)} & m_{32}^{(2)} \\ m_{41}^{(1)} & m_{42}^{(1)} & -m_{41}^{(2)} & -m_{42}^{(2)} \end{vmatrix} = 0, \quad (2.13)$$

$$m_{11}^{(r)} = \left( \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{(B_{11}^{(r)})^2} - \frac{B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{(B_{11}^{(r)})^2} (\eta_m^{(r)})^2 \right) (x_1^{(r)})^2 +$$

$$\frac{B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{(B_{11}^{(r)})^2} (\eta_m^{(r)})^2 (1 - (\eta_m^{(r)})^2), \quad \eta_m^{(r)} = \frac{\eta^{(r)}}{m},$$

$$m_{12}^{(r)} = \left( \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{(B_{11}^{(r)})^2} - \frac{B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{(B_{11}^{(r)})^2} (\eta_m^{(r)})^2 \right) (x_1^{(r)} + x_2^{(r)}), \quad x_i^{(r)} = \frac{\chi_i^{(r)}}{m}, \quad i = 1, 2,$$

$$m_{21}^{(r)} = \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{(B_{11}^{(r)})^2} (x_1^{(r)})^3 + \frac{B_{12}^{(r)} + B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta_m^{(r)})^2 x_1^{(r)},$$

$$\begin{aligned}
m_{22}^{(r)} &= \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{(B_{11}^{(r)})^2} ((x_1^{(r)})^2 + (x_2^{(r)})^2 + x_1^{(r)} x_2^{(r)}) + \frac{B_{12}^{(r)} + B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta_m^{(r)})^2, \\
m_{31}^{(r)} &= \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (x_1^{(r)})^3 + \left( \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta_m^{(r)})^2 \right) x_1^{(r)}, \\
m_{32}^{(r)} &= \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} ((x_1^{(r)})^2 + (x_2^{(r)})^2 + x_1^{(r)} x_2^{(r)}) + \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta_m^{(r)})^2, \\
m_{41}^{(r)} &= \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (x_1^{(r)})^2 - \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (1 - (\eta_m^{(r)})^2), \\
m_{42}^{(r)} &= \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (x_1^{(r)} + x_2^{(r)}).
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Уравнения (2.12) эквивалентны уравнениям

$$d_m = \text{Det} \begin{vmatrix} m_{11}^{(1)} & m_{12}^{(1)} & -B_{11}^{(2)} / B_{11}^{(1)} m_{11}^{(2)} & -B_{11}^{(2)} / B_{11}^{(1)} m_{12}^{(2)} \\ m_{21}^{(1)} & m_{22}^{(1)} & B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)} m_{21}^{(2)} & B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)} m_{22}^{(2)} \\ m_{31}^{(1)} & m_{32}^{(1)} & m_{31}^{(2)} & m_{32}^{(2)} \\ m_{41}^{(1)} & m_{42}^{(1)} & -m_{41}^{(2)} & -m_{42}^{(2)} \end{vmatrix} = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}. \tag{2.15}$$

Уравнения (2.15) при  $k = 2\pi/s$ ,  $m \in N$  – дисперсионные уравнения задачи (1.2), (1.4)–(1.6), при  $k = \pi/s$ ,  $m \in N$  – дисперсионные уравнения задачи (1.2), (1.4), (1.6), (1.7).

В общем случае решение уравнения (2.8) представляет собой сложную задачу. Поэтому, для установления асимптотических формул для дисперсионных уравнений (2.15) рассмотрим следующие частные случаи.

**3. Частные случаи.** *Случай а):*  $R^{-2}(\beta) \equiv 0$  ( $r_m = 0$ ,  $m = \overline{0, +\infty}$ ). В выражениях (1.2)–(1.8) всюду формально положим  $R^{-1}(\beta) \equiv 0$ , в итоге, получим систему уравнений малых планарных колебаний ортотропных пластин [18]:

$$\begin{aligned}
-B_{11}^{(r)} \frac{\partial^2 u_1^{(r)}}{\partial \alpha^2} - B_{66}^{(r)} \frac{\partial^2 u_1^{(r)}}{\partial \beta^2} - (B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}) \frac{\partial^2 u_2^{(r)}}{\partial \alpha \partial \beta} &= \lambda^{(r)} u_1^{(r)}, \\
-(B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}) \frac{\partial^2 u_1^{(r)}}{\partial \alpha \partial \beta} - B_{66}^{(r)} \frac{\partial^2 u_2^{(r)}}{\partial \alpha^2} - B_{22}^{(r)} \frac{\partial^2 u_2^{(r)}}{\partial \beta^2} &= \lambda^{(r)} u_2^{(r)},
\end{aligned} \tag{3.1}$$

в которых  $u_1^{(r)}$ ,  $u_2^{(r)}$  ( $r = 1, 2$ ) – тангенциальные компоненты перемещений точки срединной плоскости.  $B_{ik}^{(r)}$  ( $r = 1, 2$ ) коэффициенты упругости пластин.  $\lambda^{(r)} = \rho^{(r)} \omega^2$ , где  $\omega$  – угловая частота собственных интерфейсных колебаний.  $\rho^{(r)}$  ( $r = 1, 2$ ) – плотности материалов. Все величины, относящиеся к правой пластинке ( $0 \leq \alpha < +\infty$ ) отмечаются верхним индексом (1), к левой пластинке ( $-\infty < \alpha \leq 0$ ) – индексом (2).

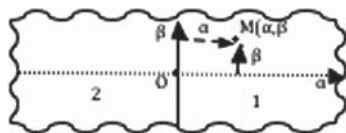


Рис. 3

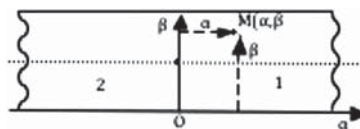


Рис. 4

Исследуется вопрос существования планарных интерфейсных колебаний бесконечной составной пластинки и бесконечной составной пластины-полосы (рис. 3, 4).

Предполагается, что  $\alpha(-\infty < \alpha < +\infty)$  и  $\beta(-\infty < \beta < \infty)$  являются прямолинейными ортогональными координатами точки срединной плоскости бесконечной пластинки (рис. 3), а  $\alpha(-\infty < \alpha < +\infty)$ ,  $\beta(-0 \leq \beta \leq s)$  – пластинки-полосы (рис. 4). На линии раздела свойств материала ( $\alpha = 0$ ) имеет место полный контакт.

В случае пластин-полос предполагается, что края шарнирно закреплены. Граничные условия принимают вид:

$$T_1^{(1)}|_{\alpha=0} = T_1^{(2)}|_{\alpha=0}, S_{12}^{(1)}|_{\alpha=0} = S_{12}^{(2)}|_{\alpha=0}, u_1^{(1)}|_{\alpha=0} = u_1^{(2)}|_{\alpha=0}, u_2^{(1)}|_{\alpha=0} = u_2^{(2)}|_{\alpha=0}, \quad (3.2)$$

$$\lim_{\alpha \rightarrow +\infty} u_j^{(1)} = 0, \quad \lim_{\alpha \rightarrow -\infty} u_j^{(2)} = 0, \quad j = 1, 2, \quad (3.3)$$

$$u_i(\alpha, \beta) = u_i(\alpha, \beta + s), \quad (3.4)$$

$$T_2^{(r)}|_{\beta=0, s} = 0, \quad u_1^{(r)}|_{\beta=0, s} = 0, \quad r = 1, 2, \quad (3.5)$$

$$T_1^{(r)} = hB_{11}^{(r)} \left( \frac{\partial u_1^{(r)}}{\partial \alpha} + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} \frac{\partial u_2^{(r)}}{\partial \beta} \right), \quad T_2^{(r)} = hB_{22}^{(r)} \left( \frac{\partial u_2^{(r)}}{\partial \beta} + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{22}^{(r)}} \frac{\partial u_1^{(r)}}{\partial \alpha} \right), \quad (3.6)$$

$$S_{12}^{(r)} = hB_{66}^{(r)} \left( \frac{\partial u_1^{(r)}}{\partial \beta} + \frac{\partial u_2^{(r)}}{\partial \alpha} \right).$$

Граничные условия (3.2)–(3.4) соответствуют бесконечной пластинке: соотношения (3.2) выражают условия полного контакта при  $\alpha = 0$ , (3.4) – условия периодичности колебаний, где  $s$  – любое положительное число. Граничные условия (3.2), (3.3), (3.5) соответствуют пластинке-полосе: соотношения (3.5) являются условиями шарнирного закрепления по краям  $\beta = 0, \beta = s$ . Условия (3.3) – условия затухания при  $|\alpha| \rightarrow \infty$ .

Решение системы (3.1) ищем в виде:

$$u_1^{(r)} = u_m^{(r)} \sin km\beta \exp((-1)^r y^{(r)} km\alpha), \quad u_2^{(r)} = v_m^{(r)} \cos km\beta \exp((-1)^r y^{(r)} km\alpha), \quad (3.7)$$

где  $k = n_0 2\pi / s$ ,  $n_0 \in N$ , для бесконечной пластинки и  $k = \pi / s$  для пластинки-полосы.

При этом условия (3.4) и (3.5) выполняются автоматически и поставленные задачи решаются аналогичным образом, если придавать параметру  $k$  разные значения. Подставляя выражения (3.7) в систему (3.1), получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} \left( B_{11}^{(r)} (y^{(r)})^2 - B_{66}^{(r)} + \frac{\lambda^{(r)}}{m^2 k^2} \right) u_m^{(r)} - (B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}) (-1)^r y^{(r)} v_m^{(r)} &= 0, \\ (B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}) (-1)^r y^{(r)} u_m^{(r)} + \left( B_{66}^{(r)} (y^{(r)})^2 - B_{22}^{(r)} + \frac{\lambda^{(r)}}{m^2 k^2} \right) v_m^{(r)} &= 0. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Приравняв определитель системы (3.8) к нулю, получим характеристические уравнения:

$$c_m^{(r)} = (y^{(r)})^4 - \frac{B_{12}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} (y^{(r)})^2 + \frac{B_{11}^{(r)} + B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta_m^{(r)})^2 (y^{(r)})^2 + \quad (3.9)$$

$$(1 - (\eta_m^{(r)})^2) \left( \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} - \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta_m^{(r)})^2 \right) = 0,$$

$$(\eta_m^{(r)})^2 = \frac{\lambda^{(r)}}{k^2 B_{66}^{(r)}}, \quad \eta_m^{(r)} = \frac{\eta^{(r)}}{m}, \quad m = \overline{1, +\infty}. \quad (3.10)$$

Пусть  $y_j^{(r)}$ ,  $j = 1, 2$ , различные корни уравнения (3.9) с положительными действительными частями, тогда в качестве решения системы уравнений (3.8) можно принять:

$$u_{mj}^{(r)} = (-1)^r y_j^{(r)} \frac{B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}}, \quad v_{mj}^{(r)} = (y_j^{(r)})^2 - \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (1 - (\eta_m^{(r)})^2). \quad (3.11)$$

Решения задач (3.1)–(3.4) и (3.1)–(3.3), (3.5) ищем в виде

$$u_1^{(r)} = \sum_{j=1}^2 u_{mj}^{(r)} w_j^{(r)} \exp((-1)^r y_j^{(r)} km \alpha) \sin km \beta, \quad (3.12)$$

$$u_2^{(r)} = \sum_{j=1}^2 v_{mj}^{(r)} w_j^{(r)} \exp((-1)^r y_j^{(r)} km \alpha) \cos km \beta.$$

Учитывая граничные условия (3.2), получим систему уравнений:

$$\sum_{j=1}^2 P_{1j}^{(1)} w_j^{(1)} - \frac{B_{11}^{(2)}}{B_{11}^{(1)}} \sum_{j=1}^2 P_{1j}^{(2)} w_j^{(2)} = 0, \quad \sum_{j=1}^2 P_{2j}^{(1)} w_j^{(1)} + \frac{B_{66}^{(2)}}{B_{66}^{(1)}} \sum_{j=1}^2 P_{2j}^{(2)} w_j^{(2)} = 0, \quad (3.13)$$

$$\sum_{j=1}^2 P_{3j}^{(1)} w_j^{(1)} + \sum_{j=1}^2 P_{3j}^{(2)} w_j^{(2)} = 0, \quad \sum_{j=1}^2 P_{4j}^{(1)} w_j^{(1)} - \sum_{j=1}^2 P_{4j}^{(2)} w_j^{(2)} = 0,$$

$$P_{1j}^{(r)} = \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} ((y_j^{(r)})^2 + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (1 - (\eta_m^{(r)})^2)), \quad P_{2j}^{(r)} = y_j^{(r)} ((y_j^{(r)})^2 + \frac{B_{12}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} + \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta_m^{(r)})^2),$$

$$P_{3j}^{(r)} = y_j^{(r)} \frac{B_{12}^{(r)} + B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}}, \quad P_{4j}^{(r)} = (y_j^{(r)})^2 - \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (1 - (\eta_m^{(r)})^2). \quad (3.14)$$

Приравнивая определитель системы (3.13) к нулю, получим дисперсионные уравнения

$$\Delta_m^* = (y_2^{(1)} - y_1^{(1)})(y_2^{(2)} - y_1^{(2)}) \frac{B_{66}^{(1)} B_{12}^{(1)} + B_{66}^{(1)} B_{12}^{(2)} + B_{66}^{(2)}}{B_{11}^{(1)} B_{11}^{(1)} B_{11}^{(2)}} L(\eta_m^{(1)}, \eta_m^{(2)}) = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}, \quad (3.15)$$

$$L(\eta_m^{(1)}, \eta_m^{(2)}) = K_2^{(1)}(\eta_m^{(1)}) Q^{(2)}(\eta_m^{(2)}) + \left( \frac{B_{66}^{(2)}}{B_{66}^{(1)}} \right)^2 K_2^{(2)}(\eta_m^{(2)}) Q^{(1)}(\eta_m^{(1)}) + \frac{B_{66}^{(2)}}{B_{66}^{(1)}} \left[ 2 \left( y_1^{(1)} y_2^{(1)} - \frac{B_{12}^{(1)}}{B_{11}^{(1)}} (1 - (\eta_m^{(1)})^2) \right) \left( y_1^{(2)} y_2^{(2)} - \frac{B_{12}^{(2)}}{B_{11}^{(2)}} (1 - (\eta_m^{(2)})^2) \right) + (y_2^{(1)} + y_1^{(1)})(y_2^{(2)} + y_1^{(2)}) \left( (1 - (\eta_m^{(2)})^2) y_1^{(1)} y_2^{(1)} + (1 - (\eta_m^{(1)})^2) y_1^{(2)} y_2^{(2)} \right) \right], \quad (3.16)$$

$$Q^{(r)}(\eta_m^{(r)}) = y_1^{(r)} y_2^{(r)} + \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (1 - (\eta_m^{(r)})^2),$$

$$K_2^{(r)}(\eta_m^{(r)}) = (1 - (\eta_m^{(r)})^2) \left( \frac{B_{12}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} - (\eta_m^{(r)})^2 \right) - (\eta_m^{(r)})^2 y_1^{(r)} y_2^{(r)}.$$

Дисперсионные уравнения (3.15) эквивалентны уравнениям

$$L(\eta_m^{(1)}, \eta_m^{(2)}) = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}. \quad (3.17)$$

Уравнения (3.17) являются аналогом дисперсионного уравнения Стоунли для составных ортотропных бесконечных пластин ( $k = n_0 2\pi / s$ ,  $n_0 \in N$ ) или составных ортотропных бесконечных пластин-полос ( $k = \pi / s$ ) [19]. Заметим, что в дисперсионных уравнениях (2.15), (3.17) коэффициенты упругости левых и правых оболочек и пластин и соответствующие корни характеристических уравнений (2.8), (3.9) входят симметричным образом. Поэтому, например, если левая пластинка (с верхним индексом (2)) более мягкая (т. е.  $\rho^{(2)} / \rho^{(1)} \ll 1$ ,  $B_{ij}^{(2)} / B_{ij}^{(1)} \ll 1$ ,  $i, j = 1, 2, 6$ ), чем правая, то дисперсионные уравнения (3.17) принимают вид:

$$L(\eta_m^{(1)}, \eta_m^{(2)}) = Q^{(2)}(\eta_m^{(2)}) \{ K_2(\eta_m^{(1)}) + O(B_{66}^{(2)} / B_{66}^{(1)}) + O(\rho^{(2)} / \rho^{(1)}) \} = 0. \quad (3.18)$$

Следовательно, существование интерфейсных колебаний составной пластинки зависит от существования краевого колебания правой полубесконечной пластинки со свободным краем [10; 20], т. е. заведомо существуют интерфейсные колебания.

Если  $B_{ij}^{(2)} / B_{ij}^{(1)} \approx 1$ ,  $i, j = 1, 2, 6$ ;  $\rho^{(2)} / \rho^{(1)} \approx 1$ , то мало шанса для существования интерфейсных колебаний.

Случай б):  $R^{-2} = k^2 r_0 / 2 (r_m = 0, m = \overline{1, +\infty})$ , т. е. имеем безмоментные упругие ортотропные круговые замкнутые и незамкнутые продольно-неоднородные бесконечные цилиндрические оболочки. В этом случае система (2.5) примет вид:

$$(r_0 A_m^{(r)} - 2 \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{22}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2) w_m^{(r)} = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}, \quad r = 1, 2, \quad (3.19)$$

Следовательно, уравнения (2.8) распадаются на две совокупности уравнений:

$$r_0 P_m^{(r)} - 2 \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{22}^{(r)}} C_m^{(r)} (\eta^{(r)})^2 = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}, \quad r = 1, 2, \quad (3.20)$$

или уравнений

$$\begin{aligned} & \left( (\eta^{(r)})^2 - \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} \frac{r_0}{2} \right) (\chi^{(r)})^4 - (\eta^{(r)})^2 \left( \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2 B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} m^2 - \right. \\ & \left. \frac{B_{11}^{(r)} + B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2 + \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 + B_{22}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} \frac{r_0}{2} \right) (\chi^{(r)})^2 + \\ & (\eta^{(r)})^2 (m^2 - (\eta^{(r)})^2) \left( \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} m^2 - \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2 + \frac{B_{22}^{(r)} r_0}{B_{11}^{(r)} 2} \right) = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}, \quad r = 1, 2. \end{aligned} \quad (3.21)$$

В этом случае для нахождения безразмерных характеристик собственных частот  $\eta^{(r)}$  ( $r = 1, 2$ ) в дисперсионных уравнениях (2.15) используются  $x_1^{(r)} = \chi_1^{(r)}/m$ ,  $x_2^{(r)} = \chi_2^{(r)}/m$  выражения, где  $\chi_1^{(r)}$  и  $\chi_2^{(r)}$  – корни уравнения (3.21) с положительными действительными частями. Для замкнутых круговых цилиндрических оболочек принимаем  $k = n_0 2\pi/s$ ,  $n_0 \in N$ , где  $s$  – полная длина направляющей окружности, а для незамкнутых круговых цилиндрических оболочек принимаем  $k = \pi/s$ , где  $s$  – длина направляющей окружности, лежащей между граничными образующими.

При  $r_0 \rightarrow 0$  уравнения (3.21) преобразуются к виду:

$$\begin{aligned} & (\chi^{(r)})^4 - \left( \frac{B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - 2 B_{12}^{(r)} B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)} B_{66}^{(r)}} m^2 - \frac{B_{11}^{(r)} + B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2 \right) (\chi^{(r)})^2 + \\ & (m^2 - (\eta^{(r)})^2) \left( \frac{B_{22}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} m^2 - \frac{B_{66}^{(r)}}{B_{11}^{(r)}} (\eta^{(r)})^2 \right) = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}, \quad r = 1, 2. \end{aligned} \quad (3.22)$$

Эти уравнения являются характеристическими уравнениями систем, моделирующих планарные колебания составной бесконечной пластинки (при  $k = n_0 2\pi/s$ ,  $n_0 \in N$ , где  $s$  – произвольное положительное число) или бесконечной пластинки-полосы (при  $k = \pi/s$ , где  $s$  – ширина пластинки-полосы). Корни  $\chi^{(r)}/m$  уравнения (3.22) с положительными действительными частями обозначим через  $y_1^{(r)}, y_2^{(r)}$ . Тогда для дисперсионных уравнений (2.15) справедливы следующие асимптотические формулы:

$$\Delta_m = \frac{B_{11}^{(1)} B_{11}^{(2)}}{B_{66}^{(1)} B_{66}^{(2)}} \frac{m^{12} B_{11}^{(1)} B_{11}^{(2)}}{(B_{12}^{(1)} + B_{66}^{(1)})(B_{12}^{(2)} + B_{66}^{(2)})} N^{(1)}(\eta_m^{(1)}) N^{(2)}(\eta_m^{(2)}) \Delta_m^* +$$

$$O(r_0 / (2m^2)), \quad m = \overline{1, +\infty},$$

$$N^{(r)}(\eta_m^{(r)}) = \frac{B_{22}^{(r)} (B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2)}{(B_{11}^{(r)})^3} + \tag{3.23}$$

$$\frac{B_{12}^{(r)} (B_{11}^{(r)} B_{22}^{(r)} - (B_{12}^{(r)})^2 - B_{66}^{(r)} B_{12}^{(r)} - B_{66}^{(r)} B_{22}^{(r)})}{(B_{11}^{(r)})^3} (\eta_m^{(r)})^2,$$

где  $\Delta_m^*$  определяются по формуле (3.15).

Учитывая (3.15)–(3.16), дисперсионные уравнения (2.15) можно написать в виде

$$d_m = \frac{B_{11}^{(2)}}{B_{66}^{(2)}} N^{(1)}(\eta_m^{(1)}) N^{(2)}(\eta_m^{(2)}) L(\eta_m^{(1)}, \eta_m^{(2)}) + O\left(\frac{r_0}{2m^2}\right) = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}. \tag{3.24}$$

Из уравнения (3.24) следует, что при  $r_0 / m^2 \rightarrow 0$  уравнения (2.15) преобразуются в уравнения (3.17). В случае цилиндрических оболочек открытого профиля, при  $r_0 / m^2 \rightarrow 0$  предполагается, что расстояние между шарнирно закрепленными краями не меняется.

Случай *в*):  $R^{-2} = k^2 (r_0 / 2 + r_1 \cos k\beta)$ ,  $r_m = 0$ ,  $m = \overline{2, +\infty}$ , т. е. имеем некруговую бесконечную составную замкнутую цилиндрическую оболочку (при  $k = 2\pi / s$ , где  $s$  – полная длина направляющей кривой) или некруговую бесконечную составную цилиндрическую оболочку открытого профиля (при  $k = \pi / s$ , где  $s$  – полная длина направляющей кривой). В этом случае системы уравнений (2.5) принимают вид:

$$r_1 P_{m-1}^{(r)} \omega_{m-1}^{(r)} + r_{mm}^{(r)} \omega_m^{(r)} + r_1 P_{m+1}^{(r)} \omega_{m+1}^{(r)} = 0, \quad m = \overline{1, +\infty}, \quad r = 1, 2, \tag{3.25}$$

$$\omega_m = w_m^{(r)} / c_m^{(r)}, \quad r_{mm}^{(r)} = r_0 P_m^{(r)} - 2B_{66}^{(r)} (\eta^{(r)})^2 C_m^{(r)} / B_{22}^{(r)}. \tag{3.26}$$

Так как определители систем (3.25) относятся к нормальному типу, то для нахождения ненулевого решения приравняем их нулю:

$$D^{(r)}((\chi^{(r)})^2, (\eta^{(r)})^2, B_{11}^{(r)}, B_{22}^{(r)}, B_{12}^{(r)}, B_{66}^{(r)}, r_0, r_1) = 0, \quad r = 1, 2. \tag{3.27}$$

Решения  $(\chi^{(r)})^2$  уравнения (3.27) находятся аналогичным образом как в [10; 20]. Для этого возьмем усеченный определитель из  $D^{(r)}$  при конечном  $n$  и приравняем нулю

$$D_n^{(r)}((\chi^{(r)})^2, (\eta^{(r)})^2, B_{11}^{(r)}, B_{22}^{(r)}, B_{12}^{(r)}, B_{66}^{(r)}, r_0, r_1) = 0, \quad r = 1, 2. \tag{3.28}$$

Найдем решение  $\chi_n^{(r)}$  алгебраических уравнений (3.28). Точное решение уравнения (3.27) следует из  $\chi_n^{(r)}$  при  $n \rightarrow \infty$ . Раскрывая определитель  $D_m^{(r)}$  по элемен-

там последнего столбца или строки, получим следующую рекуррентную последовательность:

$$\begin{aligned} D_1^{(r)} &= r_{11}^{(r)}, \quad D_2^{(r)} = r_{22}^{(r)} D_1^{(r)} - r_1^2 P_1^{(r)} P_2^{(r)}, \\ D_m^{(r)} &= r_{mm}^{(r)} D_{m-1}^{(r)} - r_1^2 P_{m-1}^{(r)} P_m^{(r)} D_{m-2}^{(r)}, \quad m = 3, +\infty. \end{aligned} \quad (3.29)$$

Справедливо следующее утверждение: при фиксированном  $m \geq 2$  и при  $\lambda^{(r)} \notin [0, \lambda_0^{(r)}]$  уравнения (3.27) имеют формальные решения вида:

$$(\chi_j^{(r)})^2 = (\chi_{mj}^{(r)})^2 + \alpha_{mj}^{(r)} r_1^2 + \beta_{mj}^{(r)} r_1^4 + \dots, \quad j = 1, 2, \quad r = 1, 2, \quad (3.30)$$

где  $\chi_{mj}^{(r)}$  ( $j = 1, 2$ ) – корни уравнения  $r_{mm}^{(r)} = 0$  (т. е. уравнения (3.21) с положительными действительными частями) и

$$\alpha_{mj}^{(r)} = \frac{P_m^{(r)} (P_{m-1}^{(r)} r_{m+1m+1}^{(r)} + P_{m+1}^{(r)} r_{m-1m-1}^{(r)})}{r_{m-1m-1}^{(r)} r_{m+1m+1}^{(r)} r_{mm}^{(r)'}} \Big|_{\chi^{(r)} = \chi_{mj}^{(r)}}, \quad j = 1, 2, \quad r = 1, 2, \quad (3.31)$$

где  $r_{mm}^{(r)'}$  – производная по  $(\chi^{(r)})^2$ .

Действительно, легко проверить, что каждое уравнение  $r_{mm}^{(r)} = 0$  ( $r = 1, 2$ ) при фиксированном  $m$  имеет два положительных или комплексно сопряженных  $(\chi_{mj}^{(r)})^2$ ,  $j = 1, 2$ , корня. Тогда корни  $(\chi^{(r)})^2$  уравнения

$$\begin{aligned} D_{m+1}^{(r)} &= r_{m+1m+1}^{(r)} D_m^{(r)} - r_1^2 P_m^{(r)} P_{m+1}^{(r)} D_{m-1}^{(r)} = \\ &= (r_{m+1m+1}^{(r)} r_{mm}^{(r)} - r_1^2 P_m^{(r)} P_{m+1}^{(r)}) D_{m-1}^{(r)} - r_1^2 P_{m-1}^{(r)} P_m^{(r)} r_{m+1m+1}^{(r)} D_{m-2}^{(r)} = 0 \end{aligned} \quad (3.32)$$

ищем в виде

$$(\chi_{jm}^{(r)})^2 = (\chi_{mj}^{(r)})^2 + \alpha_{mj}^{(r)} r_1^2 + \beta_{mj}^{(r)} r_1^4 + \dots, \quad j = 1, 2, \quad m = \overline{2, +\infty}. \quad (3.33)$$

Подставляя (3.33) в (3.32) и приравнявая коэффициенты при  $r_1^2$  нулю, получим

$$(r_{m+1m+1}^{(r)} r_{mm}^{(r)' } \alpha_{mj}^{(r)} - P_{m+1}^{(r)} P_m^{(r)}) D_{m-1}^{(r)} - r_{m+1m+1}^{(r)} P_m^{(r)} P_{m-1}^{(r)} D_{m-2}^{(r)} \Big|_{\eta=0} = 0. \quad (3.34)$$

Учитывая, что  $D_{m-1}^{(r)} \Big|_{\eta=0} = r_{m-1m-1}^{(r)} D_{m-2}^{(r)} \Big|_{\eta=0}$ , получим формулы (3.31).

Докажем, что если использовать определители более высокого порядка, чем  $m + 1$  и искать нули этого определителя в виде (3.33), то коэффициенты при  $r_1^2$  не изменятся.

Действительно, так как  $D_m^{(r)} \Big|_{\chi^{(r)} = \chi_{jm}^{(r)}} = O(r_1^2)$ ,  $D_{m+1}^{(r)} \Big|_{\chi^{(r)} = \chi_{jm}^{(r)}} = O(r_1^4)$  и  $D_{m+2}^{(r)} = r_{m+2m+2}^{(r)} D_{m+1}^{(r)} - r_1^2 P_{m+1}^{(r)} P_{m+2}^{(r)} D_m^{(r)}$ , то  $D_{m+2}^{(r)} \Big|_{\chi^{(r)} = \chi_{jm}^{(r)}} = O(r_1^4)$ . Методом математической индукции убеждаемся, что  $D_n^{(r)} \Big|_{\chi^{(r)} = \chi_{jm}^{(r)}} = O(r_1^4)$  при  $n \geq m + 1$ . Следовательно,  $\alpha_{mj}^{(r)}$  ( $j = 1, 2$ ) не изменяются при  $n \rightarrow \infty$ , т. е. доказаны представления (3.30) с гарантированными значениями первых двух слагаемых.

Таким образом, в этом случае для нахождения коэффициентов затухания  $k\chi_j^{(r)} / m$  ( $j=1, 2$ ) можно использовать приближенные формулы

$$\chi_j^{(r)} / m = ((\chi_{mj}^{(r)} / m)^2 + \alpha_{mj}^{(r)} r_1^2 / m^2)^{1/2} \quad (j=1, 2), \quad (3.35)$$

а для нахождения соответствующих характеристик собственных частот  $(\eta^{(r)})/m$  – уравнения (2.15).

**4. Численные исследования.** В табл. 1–4, используя дисперсионные уравнения (2.15), (3.17), приведены безразмерные характеристики собственных значений  $(\eta^{(1)})/m$  и характеристики коэффициентов затухания соответствующих форм в зависимости от  $m, a, b$  для замкнутых ( $0 \leq t \leq 2\pi$ ) и незамкнутых ( $0 \leq t \leq \pi$ ) цилиндрических оболочек с направляющими

$$x = a \cos t, y = b \sin t, \quad a = 2, b = 1,5; \quad a = 2, b = 1. \quad (4.1)$$

В табл. 1, 2 представлены результаты для вариантов 1, 2, 3 соответственно при  $R^{-2} = k^2(r_0 / 2 + r_1 \cos k\beta)$ ;  $R^{-2} = k^2 r_0 / 2$ ;  $R^{-2} = 0$ , примененные к замкнутым составным цилиндрическим оболочкам с направляющими (4.1), изготовленными из боропластика и бумаги, с механическими параметрами [21; 22]:

боропластик:  $\rho^{(1)} = 2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, E_1^{(1)} = 2,646 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2, E_2^{(1)} = 1,323 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2,$

$$G^{(1)} = 9,604 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2, \nu_1^{(1)} = 0,2, \nu_2^{(1)} = 0,01, \quad (4.2)$$

бумага:  $\rho^{(2)} = 0,16 \text{ кг/м}^3, E_1^{(2)} = 2,95281 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2, E_2^{(2)} = 2,2106 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2,$

$$G^{(2)} = 9,77076 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2, \nu_1^{(2)} = \nu_2^{(2)} E_1^{(2)} / E_2^{(2)}, \nu_2^{(2)} = 0,23, \quad (4.3)$$

и геометрическими параметрами: в табл. 1:  $a = 2, b = 1,5, s = 5,52587$  (длина половины эллипса),  $k = 4\pi / s, r_0 = 0,273895, r_1 = 0,033796$ ; в табл. 2:  $a = 2, b = 1, s = 4,84422$  (длина половины эллипса),  $k = 4\pi / s, r_0 = 0,407139, r_1 = 0,229356$ .

Таблица 1

$m$	Вариант 1			Вариант 2		
	$k\chi_0^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(2)} / m$	$\eta^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(2)} / m$	$\eta^{(1)} / m$
21	-0,0541	1,4824	0,99332	-0,0609	1,4799	0,99153
22	-0,0659	1,4965	0,99006	-0,0677	1,4944	0,98949
23	-0,0706	1,5102	0,98858	-0,0713	1,5083	0,98835
24	-0,0733	1,5232	0,98769	-0,0735	1,5214	0,98759
25	-0,0750	1,5355	0,98709	-0,0751	1,5338	0,98704
40	-0,0818	1,6581	0,98460	-0,0818	1,6571	0,98460
50	-0,0827	1,7022	0,98423	-0,0827	1,7016	0,98423
100	-0,0838	1,7854	0,98380	-0,0838	1,7853	0,98380
250	-0,0841	1,8187	0,98369	-0,0841	1,8187	0,98369
Вариант 3: $k\chi_0^{(1)} / m = -0,0842, k\chi_0^{(2)} / m = 1,8259; \eta^{(1)} / m = 0,98367$						

Таблица 2

$m$	Вариант 1			Вариант 2		
	$k\chi_0^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(2)} / m$	$\eta^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(2)} / m$	$\eta^{(1)} / m$
25	-0,0213	1,7161	0,99922	-0,0613	1,6799	0,99343
26	-0,0480	1,7288	0,99599	-0,0727	1,6936	0,99071
27	-0,0639	1,7408	0,99286	-0,0750	1,7071	0,98930
28	-0,0731	1,7524	0,99061	-0,0812	1,7200	0,98839
29	-0,0787	1,7636	0,98910	-0,0834	1,7324	0,98773
30	-0,0823	1,7744	0,98808	-0,0851	1,7442	0,98724
40	-0,0918	1,8588	0,98511	-0,0915	1,8363	0,98518
50	-0,0936	1,9133	0,98449	-0,0934	1,8965	0,98455
100	-0,0959	2,0709	0,98370	-0,0954	2,0175	0,98386
250	-0,0959	2,0709	0,98367	-0,0959	2,0707	0,98370
Вариант 3: $k\chi_0^{(1)} / m = -0,0960$ ; $k\chi_0^{(2)} / m = 2,0829$ ; $\eta^{(1)} / m = 0,98367$						

Результаты, представленные в табл. 3, 4, соответствуют оболочкам открытого профиля с направляющими, равными половине эллипса ( $0 \leq t \leq \pi$ ), с механическими параметрами (4.2), (4.3) и геометрическими параметрами: в табл. 3:  $a = 2$ ,  $b = 1,5$ ,  $s = 5,52587$ ,  $k = 2\pi / s$ ,  $r_0 = 1,09558$ ,  $r_1 = 0,44729$ ; в табл. 4:  $a = 2$ ,  $b = 1$ ,  $s = 4,84422$ ,  $k = 2\pi / s$ ,  $r_0 = 1,62856$ ,  $r_1 = 1,2828$ .

В качестве коэффициентов затухания приведены значения следующих величин:

$$k\chi_0^{(1)} / m = \max \left\{ -k \operatorname{Re} \chi_1^{(1)} / m, -k \operatorname{Re} \chi_2^{(1)} / m \right\},$$

$$k\chi_0^{(2)} / m = \min \left\{ k \operatorname{Re} \chi_1^{(2)} / m, k \operatorname{Re} \chi_2^{(2)} / m \right\}.$$

Таблица 3

$m$	Вариант 1			Вариант 2		
	$k\chi_0^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(2)} / m$	$\eta^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(2)} / m$	$\eta^{(1)} / m$
41	-0,0114	0,7450	0,99883	-0,0268	0,7363	0,99345
42	-0,0197	0,7485	0,99649	-0,0304	0,7400	0,99153
43	-0,0253	0,7519	0,99415	-0,0325	0,7436	0,99034
44	-0,0291	0,7552	0,99227	-0,0339	0,7472	0,98949
45	-0,0317	0,7584	0,99083	-0,0349	0,7507	0,98886
50	-0,0370	0,7738	0,98742	-0,0376	0,7669	0,98704
100	-0,0414	0,8536	0,98421	-0,0414	0,8508	0,98424
250	-0,0420	0,8996	0,98375	-0,0420	0,8994	0,98375
Вариант 3: $k\chi_0^{(1)} / m = -0,0421$ ; $k\chi_0^{(2)} / m = 0,9130$ ; $\eta^{(1)} / m = 0,98367$						

Таблица 4

$m$	Вариант 1			Вариант 2		
	$k\chi_0^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(2)} / m$	$\eta^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(1)} / m$	$k\chi_0^{(2)} / m$	$\eta^{(1)} / m$
49	-0,0020	0,8706	0,99972	-0,0226	0,8367	0,99645
50	-0,0086	0,8739	0,99949	-0,0306	0,8399	0,99343
51	-0,0152	0,8770	0,99839	-0,0342	0,8434	0,99179
52	-0,0209	0,8800	0,99694	-0,0364	0,8468	0,99070
53	-0,0256	0,8829	0,99543	-0,0379	0,8502	0,98991
54	-0,0293	0,8857	0,99400	-0,0390	0,8535	0,98929
55	-0,0323	0,8884	0,99271	-0,0399	0,8568	0,98879
100	-0,0469	0,9645	0,98442	-0,0467	0,9482	0,98455
250	-0,0478	1,0213	0,98378	-0,0478	1,0193	0,98375
Вариант 3: $k\chi_0^{(1)} / m = -0,0480$ ; $k\chi_0^{(2)} / m = 1,0414$ ; $\eta^{(1)} / m = 0,98367$						

Отметим, что связь между  $\eta^{(1)}$  и  $\eta^{(2)}$  имеет вид:

$$\eta^{(2)} = \frac{\rho^{(2)}}{\rho^{(1)}} \cdot \frac{B_{66}^{(1)}}{B_{66}^{(2)}} \eta^{(1)}.$$

**Заключение.** В статье показано, что у линии раздела материалов составной безмоментной цилиндрической оболочки с произвольной гладкой направляющей могут существовать колебания, затухающие от линии раздела материалов вдоль ее образующих. Частоты собственных интерфейсных колебаний бесконечных цилиндрических оболочек, составленных из двух полубесконечных ортотропных безмоментных цилиндрических оболочек с разными упругими коэффициентами, определяются совокупностью уравнений (2.15). Для круговой цилиндрической оболочки коэффициенты затухания  $\chi$  определяются совокупностью уравнений (3.21), а для пластинки – уравнений (3.22). Частоты собственных интерфейсных колебаний для составной бесконечной пластинки или бесконечной пластинки-полосы определяются из совокупности уравнений (3.17). Существование интерфейсных колебаний зависит от кривизны направляющей кривой и коэффициентов упругости. При больших  $m$  или при малой кривизне направляющей кривой все характеристики собственных интерфейсных колебаний безмоментной замкнутой или незамкнутой цилиндрической оболочки стремятся к характеристикам планарных интерфейсных колебаний бесконечной пластинки и пластинки-полосы соответственно. Численный анализ показывает, что с увеличением квадрата кривизны направляющей кривой цилиндрической оболочки первые частоты интерфейсных колебаний увеличиваются, а процесс затухания зависит от свойств материалов и геометрических параметров.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант № Ф11АРМ-010/11РБ-007).

### Литература

1. Зильбергейт А. С., Сулова И. Б. // Акуст. журнал. 1985. Т. 29, № 2. С. 186–191.
2. Гринченко В. Т., Городецкая Н. С. // Прикл. механика. 1985. Т. 21, № 5. С. 121–125.
3. Гертман И. П., Лисицкий О. Н. // Прикл. математика и механика. 1988. Т. 52, № 6. С. 1044–1048.
4. Stoneley R. // Proc. Roy Soc. London A. 1924. Vol. 106. P. 416–429.
5. Викторов И. А. // Акуст. журн. 1979. Т. 25, № 1. С. 1–17.
6. Karlnov J. D., Wilde M. V. // J. Acoust. Soc. Am. 2002. Vol. 111 (6). P. 2692–2704.
7. Karlnov J. D., Wilde M. V. // ZAMP. 2000. Vol. 51. P. 530–549.
8. Ермоленко В. М. // ПМТФ. 1980. № 1. С. 163–170.
9. Амбарцумян С. А. Общая теория анизотропных оболочек. М., 1974. – 446 с.
10. Гулгазарян Г. Р. // Изв. АН РФ. МТТ. 2007. № 1. С. 84–99.
11. Гольденвейзер А. Л., Лидский В. Б., Товстик П. Е. Свободные колебания тонких упругих оболочек. М., 1979. – 383 с.
12. Лионс Ж. Л., Модженес Э. Неоднородные граничные задачи и их приложения. М., 1971. – 371 с.
13. Солонников В. А. // Изв. АН СССР. Математика. 1964. Т. 28, № 3. С. 665–706.
14. Лопатинский Я. Б. // Укр. мат. журн. 1953. Т. 5, № 2. С. 123–151.
15. Гулгазарян Г. Р., Лидский В. Б., Эскин Г. И. // Сиб. мат. журн. 1973. Т. 4, № 5. С. 978–986.
16. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления М., 1966. Т. 3. – 656 с.
17. Конторович Л. В., Крылов В. И. Приближенные методы высшего анализа. М.; Л., 1952. – 695 с.
18. Амбарцумян С. А. Теория анизотропных пластин. М., 1967. – 266 с.
19. Гринченко В. Т., Мелешко В. В. Гармонические колебания и волны в упругих телах. К., 1981. – 284 с.
20. Gulgazaryan G. R., Gulgazaryan L. G. // Int. Appl. Mechanics. 2006. Vol. 42 (12). P. 1398–1413.
21. Гулгазарян Г. Р., Лидский В. Б. // Изв. АН СССР. МТТ. 1982. № 3. С. 171–174.
22. Амбарцумян С. А. Теория анизотропных оболочек. М., 1961. – 384 с.

G. R. GULGAZARYAN, L. G. GULGAZARYAN, I. A. MIKLASHEVICH,  
A. A. PLETEZHOV, A. A. KHACHANYAN

#### FREE INTERFACIAL VIBRATIONS OF UNMOMENT INFINITE CYLINDRICAL SHELLS WITH ARBITRARY SMOOTH DIRECTING CURVE

#### Summary

Free interfacial vibrations of closed and non-closed infinite cylindrical shells composed of two semi-infinite orthotropic shells with different elastic properties are studied. Investigations have been carried out for thin elastic shells when bending rigidity is vanishingly small (unmoment shells). Asymptotic link is established between the dispersion equations of problems in hand and analogous problems for infinite composed plate and plate-strip. Conditions of existence of free interfacial vibrations for coefficients of elasticity of composed cylindrical shells are established. Calculations are carried out for shells with directing curves in forms of closed and non-closed ellipses with different curvatures. It is showed that with increasing the square of curvature of directing curve of cylindrical shells first frequencies of interfacial vibrations are increasing while damping is decreasing.

УДК 536.758

А. Н. КАМЛЮК<sup>1</sup>, А. В. ШИРКО<sup>2</sup>**ВЛИЯНИЕ ОДНОНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ  
НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ  
ВДОЛЬ ДВОЙНОЙ СПИРАЛИ ДНК**<sup>1</sup>Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

(Поступила в редакцию 15.12.2011)

*В работе предложен метод теоретического определения числа и мест однонитевых разрывов ДНК по характеру прохождения продольной волны вдоль поврежденной молекулы. Моделью молекулы ДНК являлась линейная цепочка  $n$  взаимодействующих частиц, соединенных между собой двойной пружиной. Сделано предположение о том, что таким же способом происходит обнаружение однонитевых разрывов в ядре клетки.*

**Введение.** Ионизирующее излучение, воздействуя на живой организм, вызывает в нем обратимые и необратимые изменения, которые приводят к различным биологическим последствиям [1–5]. Среди разнообразных форм повреждений клетки, вызванных излучением, наиболее важной является повреждение дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), в которой закодирована информация, контролирующая структуру и функции клетки, а также ее воспроизведение. Ионизирующее излучение может причинить различные типы повреждений ДНК: образование в ДНК внутри- и межцепочечных сшивок, радиационно-химическое окисление пиримидиновых и дезаминирование пуриновых оснований, а также однонитевые и двунитевые разрывы. Эти повреждения возникают как в результате непосредственного действия элементарных частиц с высокой энергией (альфа-частицы, нейтроны, электроны) и коротковолнового излучения (гамма-, рентгеновское, ультрафиолетовое излучение), так и вследствие действия свободных радикалов и растворимых веществ.

Разрывы цепей ДНК являются одной из причин гибели делящихся клеток.

В клетке существует система репарации наследственного материала, которая исправляет большую часть однонитевых разрывов ДНК и химических модификаций. Однако межцепочечные сшивки плохо устранимы, а двунитевые разрывы вообще неустраняемы.



Рис. 1. Модель молекулы ДНК с однонитевыми разрывами:  $c$  – константа упругого взаимодействия;  $q_2$  – отклонение второй частицы от равновесного положения;  $m$  – частица с массой 660 а. е. м. (пара нуклеотидов)

В данной работе теоретически изучается влияние однонитевых разрывов ДНК на прохождение продольной волны вдоль поврежденной ДНК. Для этого исследования необходимо правильно подобрать динамическую модель: она должна быть простой, но в ней необходимо учитывать двуспиральность ДНК [6].

**Модель.** Наиболее простой моделью двойной спирали ДНК является линейная цепочка  $n$  взаимодействующих частиц. Каждая частица представляет пару нуклеотидов (нуклеотид включает азотистое основание, дезоксирибозу и фосфат) и имеет массу  $m = 660$  а. е. м. В модели учитывается взаимодействие только ближайших соседей, которое моделируется парой пружин (рис. 1).

Рассмотрим прохождение продольной волны через цепочку одномассовых частиц. В качестве обобщенных координат  $q_i$  выбираем отклонения частиц от их равновесных положений. Составим систему уравнений Лагранжа для цепочки  $n$  частиц:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) + \frac{\partial U}{\partial q_i} = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где  $T = 1/2 m \sum \dot{q}_i^2$  – кинетическая энергия системы частиц (массы частиц не изменяются);  $U$  – потенциальная энергия взаимодействия между частицами.

Предполагается, что повреждения молекулы, связанные с однонитевыми разрывами, приводят к двукратному уменьшению силы взаимодействия. В рассматриваемой модели это соответствует удалению одной пружины.

Иследуем движение продольной волны вдоль цепочки линейно взаимодействующих частиц. В этом случае потенциал взаимодействия имеет вид

$$U = 1/2 \sum c_i (q_{i+1} - q_i)^2. \quad (2)$$

Тогда система уравнений Лагранжа приводится к виду

$$\begin{aligned} m\ddot{q}_1 + c_1 q_1 - c_2 (q_2 - q_1) &= 0, \\ m\ddot{q}_i + c_i (q_i - q_{i-1}) - c_{i+1} (q_{i+1} - q_i) &= 0, \quad i = 2, \dots, n-1, \\ m\ddot{q}_n + c_n (q_n - q_{n-1}) &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $c_i = c$  – константа взаимодействия соседних пар нуклеотидов (частиц). В случае неповрежденной цепи  $c_i = c_{st} = 240$  пН/Å (жесткость молекулы ДНК при

растяжении [7]). При одностороннем разрыве жесткость уменьшается в два раза –  $c_i = c_{st} = 120 \text{ пН/Å}$ .

Рассмотрим участок цепи ДНК длиной  $n = 100$  пар нуклеотидов (частиц). Причем частица  $n + 1$  (в нашем случае это частица 101), согласно модели (3), будет неподвижна. Возмущение в систему будем вносить отклоняя в начальный момент времени первую частицу на  $1 \text{ Å}$  от положения равновесия, т. е.  $q_1(0) = 1 \text{ Å}$ .

**Анализ колебаний.** Первоначально решим систему (3) для неповрежденной цепочки (взаимодействие между всеми частицами одинаково) и рассмотрим поведение 1-й и 100-й частиц на временном интервале 12 мкс (рис. 2). Интегрирование уравнений (3) производится численно с помощью пакета Maple. В начальный момент времени все частицы, кроме первой, находятся в положении равновесия и состоянии покоя. Выбор граничного условия  $q_1(0)$  произволен, его величина будет влиять только на амплитуды колебаний частиц в цепочке.

Из рис. 2 видно, что колебания 1-й частицы (выведенной из состояния равновесия в начальный момент времени) очень быстро затухают (хотя система является консервативной). Время релаксации составляет около 2 мкс. Примерно через

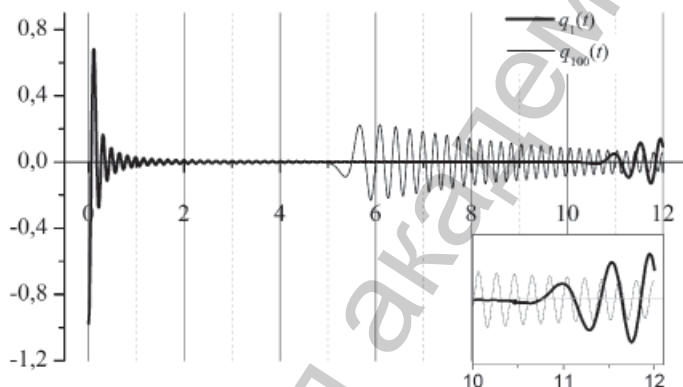


Рис. 2. Колебания 1-й (жирная линия) и 100-й (тонкая линия) частиц в неповрежденной цепочке

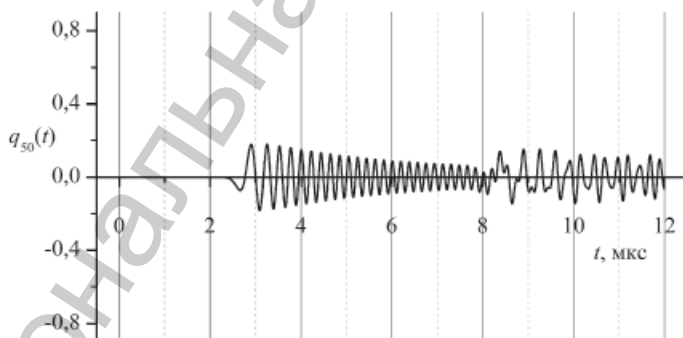


Рис. 3. Колебания 50-й частицы в неповрежденной цепочке

5 мкс волна достигает 100-й частицы и возбуждает ее, однако по сравнению с 1-й частицей время релаксации 100-й частицы будет значительно выше.

Решение показывает, что за 10 мкс продольная волна, возбужденная первой частицей, дошла до правого края цепочки (до 101 частицы), отразилась и вернулась обратно, тем самым вновь возбуждая первую частицу, однако на более низких частотах (см. врезку на рис. 2). Зная, что за 10 мкс волна проходит 100 частиц в одном направлении и 100 частиц в другом можно определить скорость продвижения волны как  $v = 200/10 = 20$  нуклеотидов/мкс.

Рассмотрим колебательное движение в середине цепочки. Так 50-я частица возбуждается через 2,5 мкс, однако она не успевает релаксировать и на 8-й секунде встречается с отраженной волной (рис. 3), при этом колебания перестают быть периодическими и движение частицы определяется интерференцией двух волн.

Рассчитаем среднюю кинетическую энергию частиц (пар нуклеотидов) за указанное время наблюдения  $t_H = 12$  мкс:

$$T_i = \langle E \rangle_i = \frac{m \langle v_i^2 \rangle}{2} = \frac{\int_0^{t_H} \dot{q}_i^2 dt}{t_H}. \quad (4)$$

Это распределение средней кинетической энергии по частицам можно также интерпретировать как распределение «температуры» вдоль цепочки. Интегрирование уравнения (4) производится численно.

Как видно из рис. 4, температура на первых пяти частицах быстро уменьшается и далее до середины цепочки практически не изменяется. Примерно после 60-й частицы температура начинает колебаться с нарастанием амплитуды.

Это можно объяснить тем, что частицы, находящиеся ближе к левому концу цепочки, до прихода отраженной волны достаточно долго находятся в релаксированном состоянии, а вклад вторичного возбуждения невелик, поэтому температура

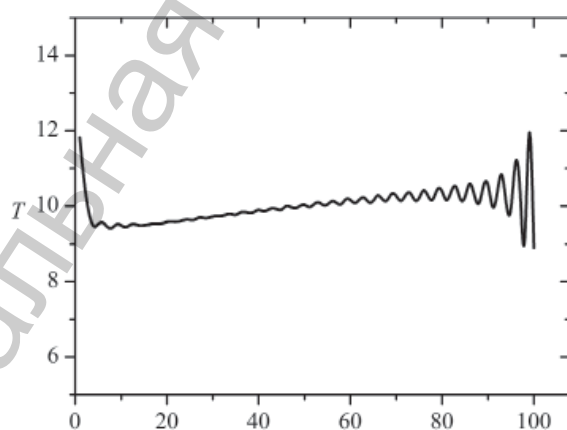


Рис. 4. Изменение температуры вдоль неповрежденной цепочки

на этом участке стремится к равновесному значению за время наблюдения (определяемому первичным возбуждением). Частицы же, находящиеся ближе к правому краю цепочки, не успевают релаксировать и на первичное возбуждение от волны, вызванной первой частицей, накладывается вторичное возбуждение, вызванное отраженной волной, следовательно, температура не приходит к равновесному значению.

Зная поведение продольной волны при ее продвижении вдоль неповрежденной цепочки ДНК, можно

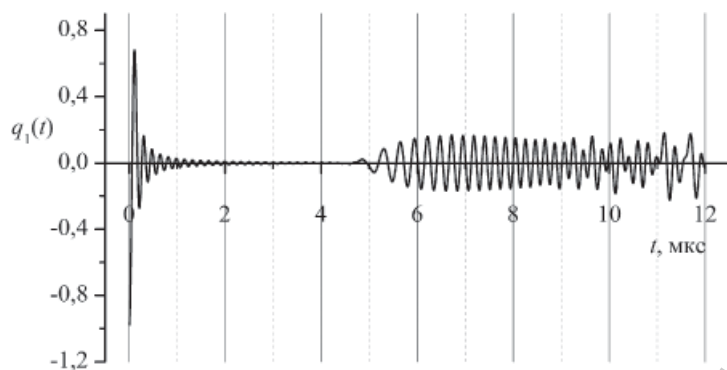


Рис. 5. Колебания 1-й частицы в цепочке, имеющей два односторонних разрыва с неизвестным положением

увидеть существенные отличия при прохождении волны вдоль цепочки, имеющей односторонние разрывы (повреждения). Предположим, что участок ДНК длиной 100 пар нуклеотидов имеет два односторонних разрыва. Причем в модели цепочки эти разрывы моделируются случайным образом. Поставим задачу определить локализацию этих разрывов. Как и в предыдущем случае возбудим первую частицу и рассмотрим продвижение продольной волны вдоль цепочки.

Первая частица передает колебательную энергию второй и как в случае цельной цепочки переходит в состояние покоя через 2 мкс (время релаксации, рис. 5).

Однако в отличие от цельной неповрежденной цепочки, в которой повторное возбуждение частицы происходит через 10 мкс (рис. 2), в случае поврежденной цепочки частица повторно возбудилась через 4,5 мкс. Это свидетельствует о том, что отраженная волна пришла раньше, отразившись от дислокации цепочки. Под дислокацией будем понимать место одностороннего разрыва цепочки, которое вызывает неоднородность ее упругих свойств. По времени вторичного возбуждения можно судить о расстоянии до дислокации, а по характеру этого возбуждения о количестве дислокаций.

Так, на рис. 5 видно, что после вторичного возбуждения (на 4,5 мкс) колебательный процесс имеет явно периодический характер и этот периодический характер сохраняется до 7 мкс. Далее колебания входят в непериодический цикл ( $t > 7$  мкс). Это свидетельствует о том, что частица, не успев вернуться к равновесному состоянию, подверглась воздействию еще одной волны (третьей) и результат непериодичности колебаний определяется наложением двух волн. Эта третья волна возбуждения не связана с отражением от правого конца цепочки (от 101 частицы), так как мы уже видели (рис. 2), что такая волна приходит только через 10 мкс. А это означает, что третье возбуждение частицы вызвано волной отраженной от еще одной дислокации.

Таким образом, анализируя колебательное движение частицы (не обязательно первой), можно судить о числе повреждений в цепочке и примерных местах их локализаций.

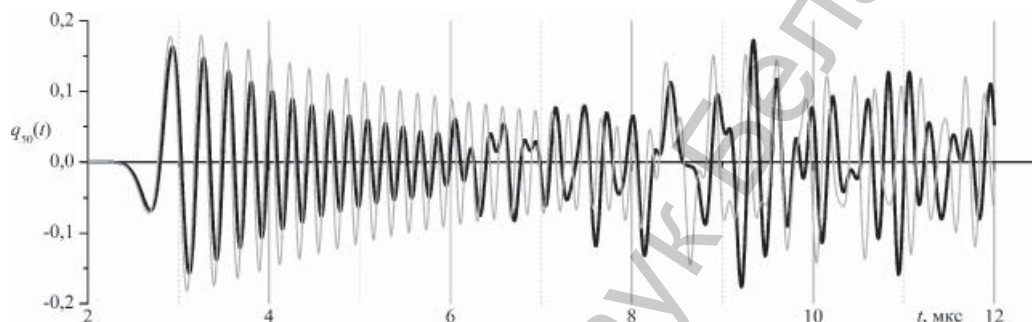


Рис. 6. Колебания 50-й частицы в неповрежденной цепочке (серый цвет) и в цепочке, имеющей две дислокации (черный цвет)

Например, для сравнения колебательного движения 50-й частицы, уже показанного для неповрежденной цепочки (рис. 3), рассмотрим ее поведение в случае поврежденной цепи (рис. 6). Для удобства сопоставления на рис. 6 колебания частицы в неповрежденной цепочке показаны серым цветом.

Анализируя рис. 6, можно утверждать, что между 1-й и 50-й частицами имеется повреждение (дислокация). Это следует из того, что амплитуда колебаний частицы в поврежденной цепочке меньше по сравнению с амплитудой колебаний той же частицы в неповрежденной цепочке. Уменьшение амплитуды объясняется эффектом отражения волны от дислокации: часть энергии отражается от дислокации, часть проходит по цепочке дальше, что определяет колебательное движение с меньшими амплитудами. Кроме того, так как возбуждения частицы в обоих случаях происходят в один и тот же момент времени (около 2,5 мкс), можно говорить, что скорость распространения продольной волны практически не зависит от наличия дислокаций.

Так же из рис. 6 видно, что между 50-й и 101-й частицами имеется еще одна дислокация. Мы уже видели (рис. 5), что нарушение периодичности колебаний связано с наложением идущих навстречу друг другу волн. И если для частицы в неповрежденной цепи это нарушение периодичности происходит через 8 мкс в результате набегания вторичной волны, отраженной от края цепочки, то для частицы в поврежденной цепочке отклонение от периодичности колебаний наступает уже через 6 мкс (участок  $6 \text{ мкс} < t < 8 \text{ мкс}$  на рис. 6). Это связано только с отражением волны от дислокации, локализованной между 50-й и 101-й частицами.

На рис. 6 при  $t > 8$  мкс можно различить и третью «ударную» волну, которая прошла через дислокацию, отразилась от правого конца цепочки и вернулась к рассматриваемой. Однако в этом случае движение частицы уже носит достаточно случайный характер. Поэтому рассматривать колебательные движения частиц на временах, больших времени прохождения волны в обе стороны, нет смысла, так как на каждой дислокации волны будут раздваиваться, число их будет постоянно увеличиваться, волны будут интерферировать, в результате чего движение частиц в цепочке приобретет абсолютно случайный характер.

**Метод определения однонитевых повреждений в ДНК.** Определить точное место дислокаций в цепочке, исследуя колебательное движение частиц достаточно сложно. Для этого нужно точно детектировать время вторичного возбуждения рассматриваемой частицы и знать скорость распространения волны. Особенно сложно этим путем определить более двух дислокаций.

Для точного определения места дислокаций рассмотрим распределение средней кинетической энергии частиц (температуры) за указанное время наблюдения  $t_n = 12$  мкс используя (4). На рис. 7 показано распределение температуры вдоль неповрежденной цепочки, цепочки с двумя и тремя дислокациями.

На рис. 7 очень хорошо видны места дислокаций. График показывает, что для цепочки с двумя однонитевыми разрывами дислокации расположены между 44-й и 45-й частицами и между 79-й и 80-й частицами, для цепочки с тремя однонитевыми разрывами дислокации локализуются между 32-й и 33-й частицами, между 50-й и 51-й частицами и между 72-й и 73-й частицами.

Ступенчатый характер кривых объясняется частичным отражением продольных волн от дислокаций. Рассмотрим цепочку с тремя дислокациями (график *в* на рис. 7). Волна, возбужденная первой частицей, набегают на дислокацию 32–33, частично отражается от нее и частично проходит дальше, но с меньшей энергией (скачок 32–33). Видно, что «температура» частиц с 1 по 32 (график *в* на рис. 7) выше температуры этих же частиц при неповрежденной цепочке (график *а* на рис. 7). Это связано с тем, что в неповрежденной цепочке эти частицы релаксируют и достаточно долго находятся практически в положении равновесия (рис. 2). В поврежденной же цепочке волна отражается от дислокации и набегают на колеблющиеся частицы, не давая им релаксировать. То же самое происходит на дислокации 50–51 и дислокации 79–80, тем самым распределение «температуры» вдоль цепочки носит ступенчатый характер, со ступенями в местах дислокаций.

Так как рассматриваемая система является консервативной, то энергия ее должна сохраняться на рассматриваемом промежутке времени  $t_n = 12$  мкс вне зависимости от наличия дислокаций, т. е.

$$\bar{E} = \sum_n \langle E \rangle_i = \text{const.}$$

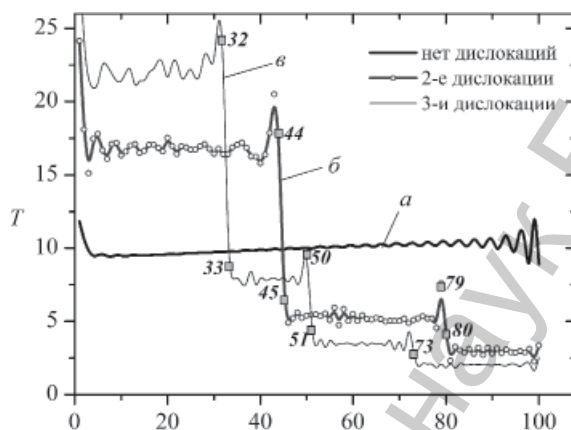


Рис. 7. Изменение температуры вдоль цепочки: *а* – без дислокаций; *б* – с двумя дислокациями; *в* – с тремя дислокациями

Из рис. 7 видно, что закон сохранения выполняется. Если посчитать среднюю кинетическую энергию цепочек, показанных на рис. 7, получим:

- 1) для цепочки без дислокаций  $\bar{E} = 1000,14$  единиц,
- 2) для цепочки с двумя дислокациями  $\bar{E} = 1000,23$  единиц,
- 3) для цепочки с тремя дислокациями  $\bar{E} = 1000,23$  единиц,

что свидетельствует о сохранении энергии в системе и правильности наших расчетов.

**Заключение.** Таким образом, если известно распределение «температуры» по длине цепочки, можно легко определять место дислокаций, т. е. повреждений ДНК в виде одностранных разрывов. Если предположить, что в ядре клетки имеется механизм, с помощью которого возможно фиксировать изменение температуры по длине макромолекулярной цепочки, то методом, описанным в этой работе, информация о количестве и местах расположения одностранных разрывов поступает к ДНК. Впоследствии существующая система репарации устраняет обнаруженные повреждения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Ф10М-013).

#### Литература

1. Шевченко В. А., Померанцева М. Д. Генетические последствия действия ионизирующих излучений. М., 1985. – 279 с.
2. Нефедов И. Ю., Нефедова И. Ю., Палыга Г. Ф. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2000. Т. 40, № 4. С. 358–372.
3. Минаев Б. Ф., Евтухов Ю. В., Минаева В. А. // Біополімери і клітина. 2005. Т. 21, № 4. С. 351–357.
4. Barber R. C., Hichebotham P., Hatch T. et al. // Oncogene. 2006. Vol. 25. P. 7336–7342.
5. Bouffler S. D., Bridges B. A., Cooper D. N. et al. // Radiat. Res. 2006. Vol. 165, N 3. P. 249–268.
6. Якушевич Л. В. Нелинейная физика ДНК. М.; Ижевск, 2007. – 252 с.
7. Zdravkovic S., Sataric M. // Phys. Rev. E. 2006. Vol. 73. P. 021905–1–11.

A. N. KAMLUK, A. V. SHIRKO

#### THE INFLUENCE OF SINGLE-STRAND BREAKS ON THE PASSAGE OF A LONGITUDINAL WAVE ALONG THE DOUBLE HELIX DNA

#### Summary

In this paper, we propose a theoretical method for evaluation of the number and locations of single-strand breaks in DNA using a change in the passage of a longitudinal wave along the double helix. A linear chain of  $n$  interacting particles connected by a pair of springs is taken as a model of the DNA molecule. It is suggested that the same method can be used for detection of single-strand breaks in cell nucleus.

УДК 577.325+577.344

*Н. В. КОЗЕЛ, В. П. ДОМАНСКИЙ***АСКОРБАТ-ГЛУТАТИОНОВЫЙ ЦИКЛ В РАСТЕНИЯХ ТАБАКА С ПОВЫШЕННОЙ ЭКСПРЕССИЕЙ АСКОРБАТПЕРОКСИДАЗЫ ПРИ АБИОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ***Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси**(Поступила в редакцию 19.01.2012)*

*Установлено, что растения табака, трансформированные смысловым геном аскорбатпероксидазы, в условиях фотоокислительного и низкотемпературного стрессов накапливают более низкое количество пероксида водорода по сравнению с растениями дикого типа. Трансформанты характеризуются менее выраженным нарушением барьерных свойств клеточных мембран, а также меньшей степенью подавления активности фотосистемы 2, что обусловлено эффективной детоксикацией  $H_2O_2$  за счет более интенсивного функционирования в клетках трансгенных растений аскорбат-глутатионного цикла. На основании полученных результатов можно предположить, что растения, трансформированные смысловым геном аскорбатпероксидазы, будут более устойчивы к любому виду окислительного стресса, при котором в клетках растений накапливается пероксид водорода.*

**Введение.** Воздействие на растительные организмы неблагоприятных факторов окружающей среды может приводить к повышенному образованию в клетках активных форм кислорода (АФК), и, как следствие, к развитию окислительного стресса. Уровень АФК в растениях контролируется антиоксидантной системой, в состав которой входят низкомолекулярные соединения, из которых наиболее важными для растительной клетки являются аскорбат, токоферол, глутатион и каротиноиды, а также специфические антиоксидантные ферменты, такие как супероксиддисмутаза (СОД), аскорбатпероксидаза (АПО), глутатионредуктаза (ГР), каталаза (КАТ) [1–3].

Известно, что в детоксикации одной из АФК – пероксида водорода ( $H_2O_2$ ) – в растительной клетке принимает участие аскорбат-глутатионовый цикл, механизм функционирования которого заключается в восстановлении  $H_2O_2$  до воды с участием аскорбата и АПО. Аскорбат в этой реакции окисляется до дегидро-

аскорбата, который вновь превращается в восстановленную форму за счет восстановленного глутатиона. При этом восстановленный глутатион превращается в окисленную форму, которая в свою очередь восстанавливается в НАДФ-Н-зависимой реакции с участием фермента ГР [2; 4]. Существование такого сложного механизма детоксикации  $H_2O_2$  в растительной клетке было открыто в конце 1980-х годов. Однако до сегодняшнего дня остается дискуссионным вопрос о том, насколько важную роль играет аскорбат-глутатионовый цикл в защите растения, и является ли этот механизм универсальным способом защиты растительной клетки при действии различных абиотических факторов, вызывающих развитие окислительного стресса.

Цель исследования – выяснение роли аскорбат-глутатионового цикла в эффективном функционировании антиоксидантной системы в растениях табака, обладающих повышенной экспрессией АПО, при действии контрастных абиотических факторов – фотоокислительного и низкотемпературного стрессов.

**Объект и методы исследования.** В опытах использовали 45-дневные растения табака (*Nicotiana tabacum* cv SNN), трансформированные смысловым геном АПО, и растения дикого типа (ДТ), выращенные под люминесцентными лампами Philips TL-D 36W/765 в режиме 14 ч света ( $150 \text{ мкмоль квантов}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ ) и 10 ч темноты при температуре  $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $65 \pm 5 \%$ . Фотоокислительные процессы инициировали с помощью ксантенового красителя-фотосенсибилизатора бенгальского розового (БР) [5], который инфильтрировали в высечки четвертого листа растений ДТ и трансгенных растений, после чего высечки тщательно промывали, помещали в дистиллированную воду и освещали в течение 8 ч (интенсивность  $150 \text{ мкмоль квантов}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ ). Контролем служили высечки опытных и контрольных растений табака, инфильтрированные водой. Низкотемпературный стресс моделировали в течение 24 ч в холодильной камере с температурой  $+4 \text{ }^\circ\text{C}$  и указанным выше фотопериодом. В качестве контроля использовали растения, находившиеся в нормальных условиях ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Семена трансформантов были любезно предоставлены профессором Б. Гриммом (Берлинский университет им. А. Гумбольдта).

Определение содержания пероксида водорода в экстрактах листьев проводили с помощью флуоресцентного метода, в основе которого лежит реакция окисления скополетина в присутствии  $H_2O_2$ , катализируемая пероксидазой хрена. Навески листьев табака по 0,3 г растирали в жидком азоте до порошка в фарфоровой ступке. Затем приливали 1 мл 0,2 н  $HClO_4$  и растирали до гомогената. Гомогенат переносили в центрифужные пробирки, смывая ступку еще одним мл 0,2 н  $HClO_4$ . Гомогенат центрифугировали в течение 5 мин при 13000g. Для нейтрализации кислотного значения рН к 500 мкл супернатанта добавляли 37–38 мкл 4 М КОН (конечное значение рН составляло 7,5–8,0) и центрифугировали 5 мин при 13000g. Для определения пероксида водорода к 930 мкл 0,1 М Трис-НСl буфера рН 7,0 последовательно добавляли 10 мкл раствора пероксидазы хрена (200 ед/мл) и 10 мкл 0,1 мМ раствора скополетина. Реакцию запускали добавлением 50 мкл суперна-

танта. Контролем служила проба, состоящая из 950 мкл 0,1 М Трис-НСI буфера и 50 мкл супернатанта. Вторым контролем служила проба, состоящая из 980 мкл 0,1 М Трис-НСI буфера, 10 мкл раствора пероксидазы хрена (200 ед/мл) и 10 мкл 0,1 мМ раствора скополетина. Определение содержания  $\text{H}_2\text{O}_2$  проводили, регистрируя флуоресценцию скополетина ( $\lambda_{\text{воз}} = 370$  нм,  $\lambda_{\text{рег}} = 464$  нм) на спектрофлуориметре «Solar CM 2203» (Беларусь). О содержании пероксида водорода судили по изменению интенсивности флуоресценции скополетина [6–7].

Для изучения состояния и функционирования фотосинтетического аппарата использовали метод индукции флуоресценции хлорофилла (Хл), который дает возможность оценить эффективность запасаения энергии электронного возбуждения в реакционном центре фотосистемы (ФС) 2 в различных условиях [8]. Кривые индукции флуоресценции Хл интактных листьев табака регистрировали с помощью флуоресцентной установки, созданной в Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси [9]. Флуоресценцию объекта возбуждали синим светодиодом с максимумом излучения при 470 нм, а регистрировали фотодиодом через светофильтр КС18. Возбуждающий флуоресценцию свет модулировали с частотой 1 кГц, питая светодиод от генератора с соответствующей частотой. Питающий ток содержал также постоянную составляющую благодаря источнику постоянного тока, что позволяло осуществлять постоянную подсветку, флуоресценция от которой не регистрируется. Переменная часть фототока усиливалась, выделялась детектором и воспринималась компьютером, который с помощью программного обеспечения управлял источником тока и генератором.

Проницаемость клеточных мембран оценивали по выходу электролитов и свободных нуклеотидов из листовой ткани растений табака [10–11]. Выход электролитов определяли по методу, разработанному в лаборатории физиологии устойчивости растений Всероссийского института растениеводства им. Н. И. Вавилова [10], используя кондуктометр «HI9932» (HANNA instruments, Германия). Выход свободных нуклеотидов регистрировали согласно спектрофотометрическому методу, разработанному в Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси [11].

Для количественного определения общего и восстановленного аскорбата использовали спектрофотометрический метод, в основе которого лежит реакция восстановления аскорбатом  $\text{Fe}^{3+}$  до  $\text{Fe}^{2+}$  [12]. Навеску растительного материала (0,5 г) растирали до гомогената на холоде в 5 %-ной сульфосалициловой кислоте. Гомогенат центрифугировали 15 мин при 8000g, а затем проводили нейтрализацию супернатанта 5 М NaOH до pH 6,0. Для определения общего аскорбата к 200 мкл нейтрализованного экстракта добавляли 50 мкл 10 мМ дитиотреитола и 50 мкл 40 мМ раствора N-этилмалеимида, а для определения восстановленного аскорбата к такому же объему нейтрализованного экстракта приливали 100 мкл дистиллированной воды. Затем к растворам, содержащим как общий, так и восстановленный аскорбат, последовательно добавляли 200 мкл 10 %-ного ТХУ, 200 мкл 44 %-ной фосфорной кислоты, 200 мкл 4 %-ного 2,2'-дипиридила и 100 мкл 3 %-ного раствора

$\text{FeCl}_3$ . Контрольная проба вместо экстракта содержала разбавленный К-На-фосфатный буфер (рН 7,4) и проходила такую же обработку, как и опытные образцы. Все пробы инкубировали 60 мин при 30 °С, после чего проводили их спектрофотометрический анализ при длине волны поглощаемого света 524 нм. Концентрацию аскорбата определяли, используя молярный коэффициент поглощения  $\epsilon = 8,7 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$  [13].

Количественное определение окисленного (GSSG) и восстановленного (GSH) глутатиона проводили согласно методу [14], модифицированному в Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси [15]. В основе данного метода лежит способность о-фталевого альдегида образовывать флуоресцирующий продукт с GSSG при рН 12,0 и с GSH при рН 8,0. Для экстракции GSSG и GSH навески (0,5 г) листьев табака растирали в фарфоровой ступке в 4 мл смеси, состоящей из 0,1 М К-На-фосфатного буфера (рН 8,0) и 25 %-ного раствора метафосфорной кислоты в соотношении 3,75 : 1 (по объему), гомогенат центрифугировали в течение 10 мин при 8000g, после чего надосадочную жидкость повторно центрифугировали 5 мин при 13000g. Полученный супернатант использовали для спектрофлуориметрического определения GSSG и GSH, как описано в работе [15].

Для определения активности АПО (ЕС 1.11.1.11) использовали реакцию восстановления пероксида водорода аскорбатом, катализируемую АПО [13]. Для получения грубого ферментного препарата АПО 0,5 г растений гомогенизировали в 4 мл охлажденного 50 мМ К-На-фосфатного буфера (рН 7,8), содержащего 1 мМ ЭДТА и 10 мМ аскорбата натрия. Гомогенат центрифугировали при 15000g в течение 15 мин при 4 °С. Активность АПО определяли по кинетике потребления аскорбата, регистрируя изменение оптической плотности при 290 нм в течение 20 сек ( $\epsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ). Реакционная среда содержала 50 мМ К-На-фосфатный буфер (рН 7,0), 1 мМ ЭДТА, 1 мкМ  $\text{H}_2\text{O}_2$  и 50 мкл грубого ферментного препарата.

Активность ГР (ЕС 1.6.4.2) определяли по кинетике окисления НАДФ-Н [16]. Для получения грубого ферментного препарата ГР навеску растительного материала весом 0,5 г растирали в фарфоровой ступке в 4 мл охлажденного 0,1 М К-На-фосфатного буфера (рН 7,8), содержащего 1 мМ ЭДТА и 10 мМ аскорбата натрия. Гомогенат центрифугировали при 15000g 15 мин при 4 °С. Активность ГР определяли по кинетике окисления НАДФ-Н в присутствии окисленного глутатиона, которую регистрировали по уменьшению оптической плотности при 340 нм в течение 5 мин ( $\epsilon = 6,2 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ). Реакционная среда содержала 0,1 М К-На-фосфатный буфер (рН 7,8), 0,2 мМ НАДФ-Н, 0,2 мМ окисленный глутатион и 200 мкл ферментного препарата.

Активность КАТ (ЕС 1.11.1.6) определяли по скорости разрушения пероксида водорода в экстрактах листьев, предварительно заингибирав пероксидазы [17]. Для получения грубого ферментного препарата КАТ навеску растительного материала весом 0,5 г растирали в фарфоровой ступке в 3 мл охлажденного 0,1 М К-На-фосфатного буфера (рН 7,1), содержащего 1,7 мМ фенолметилсульфофлуорид и 1,7 мМ дитиотреитол. Гомогенат центрифугировали при 15000g 15 мин

при 4 °С. Активность КАТ определяли по снижению оптической плотности при 240 нм в течение 1 мин в результате разрушения пероксида водорода ( $\epsilon = 39,6 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ). Реакционная среда содержала 0,1 М К-Na-фосфатный буфер (pH 7,0), 10 мМ  $\text{H}_2\text{O}_2$  и 10 мкл ферментного препарата.

Содержание белка определяли по методу Bradford [18], используя в качестве стандарта бычий сывороточный альбумин.

При определении активности ферментов и низкомолекулярных антиоксидантов использовали реактивы фирмы Sigma (США), а также в некоторых случаях реактивы аналитической чистоты других производителей. Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре Uvikon 931 фирмы Kontron (Германия), флуориметрические анализы осуществляли с помощью спектрофлуориметра Solar CM 2203 (Беларусь).

Все данные представлены как средние арифметические и их стандартные отклонения, вычисленные из трех независимых опытов. Статистическую обработку данных проводили в программе SigmaPlot 11.2.

**Результаты и их обсуждение.** Первоначально нами был проведен скрининг нескольких имеющихся у нас в распоряжении линий трансгенных растений табака по активности АПО. Результаты анализа активности АПО для разных линий трансформантов представлены в [19]. Полученные нами данные показали, что растения табака линии АРХ4, трансформированные смысловым геном АПО, обладают практически в 2 раза большей активностью этого фермента по сравнению с растениями ДТ. Поэтому во всех последующих экспериментах использовали только трансгенные растения линии АРХ4, которые имели наибольшую активность АПО.

При инициации в растениях табака с помощью красителя-фотосенсибилизатора БР фотоокислительных процессов наблюдали накопление в листьях пероксида водорода. Содержание  $\text{H}_2\text{O}_2$  в таких условиях в растениях ДТ превышало контроль на 128 %, а в трансформантах содержание  $\text{H}_2\text{O}_2$  было на 71 % больше, чем в контрольных высечках. В условиях низкотемпературного воздействия содержание  $\text{H}_2\text{O}_2$  в листьях растений табака также увеличивалось (хотя и в меньшей степени), и, что наиболее важно, это увеличение также было больше (на 15 %) для растений ДТ по сравнению с трансформантами (рис. 1).

Полученные данные указывают на то, что растения табака

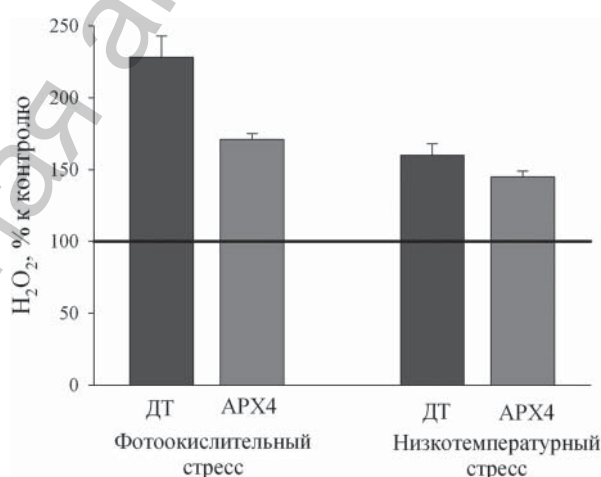


Рис. 1. Содержание пероксида водорода в листьях трансгенных растений табака (АРХ4) и растений ДТ при фотоокислительном и низкотемпературном стрессах

с повышенной экспрессией АПО накапливают меньшее количество пероксида водорода при фотоокислительном и низкотемпературном стрессах по сравнению с растениями ДТ. Это может быть обусловлено снижением доли  $H_2O_2$  в общем пуле АФК в условиях повышенной активности АПО. Эффективная детоксикация пероксида водорода в растениях-трансформантах в стрессовых условиях может существенно снизить вероятность образования в клетках таких растений высокотоксичной АФК – гидроксильного радикала [20], что, в свою очередь, приведет к снижению степени повреждения клеточных компонентов и предотвращению нарушения функционирования фотосинтетического аппарата. В ходе дальнейшего исследования мы посчитали целесообразным изучить развитие деструктивных процессов в растениях табака, трансформированных смысловым геном АПО, в стрессовых условиях. Степень деструктивных процессов оценивали по нарушению барьерных свойств клеточных мембран и нарушению функционирования ФС2.

Проведенный нами анализ проницаемости клеточных мембран листьев растений табака при фотоокислительном стрессе показал, что в растениях ДТ, инфильтрированных фотосенсибилизатором, проницаемость клеточных мембран для электролитов при освещении увеличивалась практически в 8 раз по сравнению с растениями, инфильтрированными водой (контроль). В трансгенных растениях табака, инфильтрированных БР, этот показатель возрастал только в 1,7 раза по отношению к контролю. В растениях ДТ при фотоокислительном стрессе, индуцированном БР, выход свободных нуклеотидов из листовой ткани возрастал в 2 раза, в то время как в трансформантах выход свободных нуклеотидов увеличивался лишь в 1,4 раза по сравнению с контролем, инфильтрированным водой (таблица).

**Выход электролитов и свободных нуклеотидов из листьев трансгенных растений табака (АРХ4) и растений ДТ в условиях фотоокислительного и низкотемпературного стрессов**

Показатель	Вариант	Фотоокислительный стресс	Низкотемпературный стресс
Удельная электропроводность, % к контролю	ДТ	779 ± 24	147 ± 4
	АРХ4	170 ± 20	143 ± 2
Свободные нуклеотиды, % к контролю	ДТ	191 ± 17	168 ± 11
	АРХ4	141 ± 12	126 ± 8

При действии низкой температуры мы не наблюдали статистически достоверных различий для растений ДТ и трансформантов в показателе, характеризующем выход из листьев электролитов (таблица). Однако в стрессовых условиях наблюдали увеличение выхода из листьев табака свободных нуклеотидов по сравнению с контрольными растениями, инкубированными при 25 °С. Причем при действии низкой температуры этот показатель для растений ДТ был в 1,3 раза выше, чем у трансформантов, что указывает на преимущественное для ДТ нарушение барьерных свойств клеточных мембран.

Таким образом, в листьях табака в условиях фотоокислительного и низкотемпературного стрессов происходит нарушение барьерных свойств мембран в результате интенсификации окислительных процессов. Однако степень этих процессов ниже в растениях, трансформированных смысловым геном АПО, что может быть фактором, определяющим повышенную устойчивость таких растений к стрессовым воздействиям.

С помощью метода индукции флуоресценции Хл [8] изучены особенности изменения функциональной активности ФС2 листьев трансформантов при фотоокислительном стрессе, индуцированном БР, и при низкотемпературном воздействии. Показано, что при освещении высечек листьев табака, инфильтрированных фотосенсибилизатором, в них происходят существенные изменения функциональной активности ФС2. Как в растениях ДТ, так и в трансгенных растениях, инфильтрированных БР, максимальный уровень флуоресценции Хл  $F_m$ , а также потенциальный квантовый выход фотохимии ФС2 ( $\phi_{\text{ФС2}}$ ) снижались по сравнению с растениями, инфильтрированными водой. Однако уровень  $F_m$  и значение  $\phi_{\text{ФС2}}$  в растениях ДТ, обработанных БР, были ниже по сравнению с этими показателями для растений-трансформантов, инфильтрированных фотосенсибилизатором (рис. 2, а). Потенциальный квантовый выход фотохимии ФС2 для контрольных растений, инфильтрированных водой, был 0,71, а для растений, трансформированных смысловым геном АПО и растений ДТ, инфильтрированных БР, – 0,58 и 0,39 соответственно. Важно отметить, что темновой уровень флуоресценции Хл  $F_0$  в условиях стресса возрастал, причем преимущественно для растений ДТ, что указывает на увеличение в них числа  $Q_B$ -невосстанавливающих РЦ [21]. Снижение уровня  $F_m$  может быть следствием нарушения распределения энергии в светособирающей матрице ФС2.

В условиях низкотемпературного стресса также выявля-

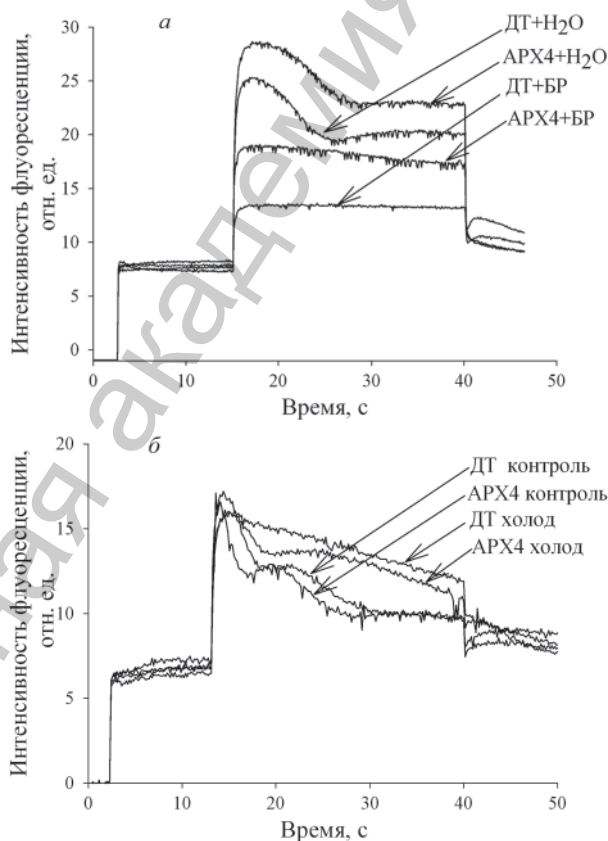


Рис. 2. Индукционные кривые флуоресценции Хл зеленых листьев трансгенных растений табака (АРХ4) и растений ДТ при фотоокислительном (а) и низкотемпературном (б) стрессах

но снижение эффективности использования энергии поглощенных листом квантов света, на что указывает снижение при низкотемпературном воздействии константы тушения флуоресценции Хл, определенной по индукционным кривым, представленным на рис. 2, б. Важно отметить, что РАМ-флуориметрия показала, что нарушение функционирования ФС2 при воздействии низкой температуры примерно на 20 % в меньшей степени проявлялось в растениях-трансформантах по сравнению с ДТ – трансформанты характеризовались более высокими константами тушения флуоресценции по сравнению с растениями ДТ при низкотемпературном воздействии.

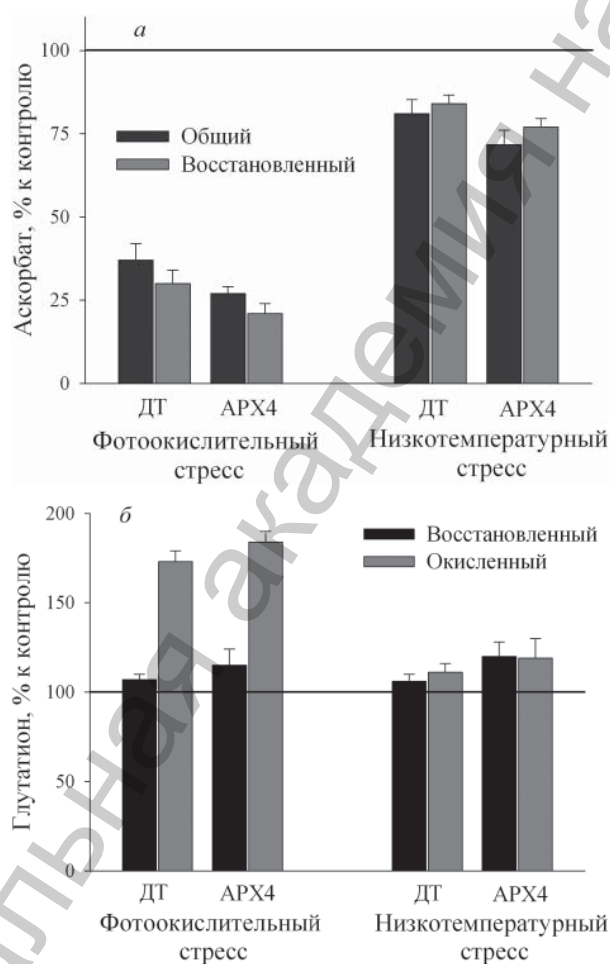


Рис. 3. Содержание общего и восстановленного аскорбата (а), а также восстановленного и окисленного глутатиона (б) в листьях трансгенных растений табака (АРХ4) и растений ДТ при фотоокислительном и низкотемпературном стрессах

Полученные данные указывают на повышенную устойчивость фотосинтетического аппарата растений-трансформантов к фотоокислительному и низкотемпературному стрессам по сравнению с растениями ДТ. Для выяснения механизмов, определяющих такую устойчивость фотосинтетического аппарата трансгенных растений к изучаемым стрессовым воздействиям, а также меньшее нарушение проницаемости клеточных мембран в трансформантах при стрессе, мы попытались сопоставить изменения в содержании низкомолекулярных антиоксидантов аскорбата и глутатиона, а также изменения в активности антиоксидантных ферментов АПО, ГР и КАТ со степенью окислительного воздействия на растения табака, трансформированные смысловым геном АПО.

Установлено, что как при фотоокислительном стрессе, так и при низкотемпературном воздействии общее содержание аскорбата, а также его восстановленной формы в листьях растений табака снижается по сравнению с контролем (рис. 3, а).

Причем при фотоокислительном воздействии, как более сильном стрессовом факторе, это снижение проявляется в большей степени. Так, при фотоокислительном стрессе содержание общего и восстановленного аскорбата в листьях растений ДТ снижалось на 63 и 70 %, а в трансформантах на 73 и 79 % по сравнению с контролем соответственно. При низкотемпературном стрессе содержание общего и восстановленного аскорбата в листьях растений ДТ было на 19 и 16 %, а в трансформантах на 29 и 23 % ниже контроля соответственно. Важно отметить, что уменьшение количества аскорбата, как общего, так и восстановленного, при действии изучаемых стрессовых факторов происходит интенсивнее в трансгенных растениях, обладающих повышенной экспрессией АПО, нежели в растениях ДТ.

Анализ содержания восстановленного и окисленного глутатиона в листьях растений табака позволил выявить увеличение при стрессовых воздействиях обеих форм глутатиона (рис. 3, б). Наиболее значительное увеличение содержания глутатиона, преимущественно его окисленной формы, наблюдали в трансгенных растениях при фотоокислительном стрессе – на 84 % по отношению к контролю. В условиях низкотемпературного стресса также выявлена тенденция к преимущественному увеличению содержания обеих форм глутатиона в трансгенных растениях по сравнению с ДТ.

Суммируя данные, полученные в экспериментах по определению содержания низкомолекулярных антиоксидантов, отметим, что выявленное снижение количества аскорбата при фотоокислительном и низкотемпературном стрессе на фоне возрастания содержания глутатиона указывает на интенсивное потребление аскорбата при активации защитных механизмов в растительной клетке в условиях окислительного стресса. Выявленное увеличение количества глутатиона связано с его эффективным синтезом *de novo* для участия в антиокислительных процессах в клетке, в том числе и в поддержании пула восстановленного аскорбата. Отметим, что более активное потребление аскорбата в трансгенных растениях связано, видимо, с высокой активностью в них фермента АПО. Низкий уровень аскорбата в растениях-трансформантах в стрессовых условиях не является показателем низкого антиоксидантного статуса клетки, как это обычно принято считать, а напротив, свидетельствует об активном и эффективном функционировании защитной системы.

Анализ активности антиоксидантных ферментов показал, что в условиях фотоокислительного стресса как в растениях ДТ, так и в трансгенных растениях после 8 ч освещения увеличивается активность АПО, причем активность фермента в растениях-трансформантах была существенно выше и в контроле и в опыте по сравнению с ДТ. В высечках трансгенных растений, инфильтрированных водой, после 8 ч освещения активность этого фермента на 55 % превышала этот показатель для растений ДТ, а в инфильтрированных БР – на 30 % по сравнению с высечками из листьев растений ДТ, содержащими БР (рис. 4).

Активности ГР и КАТ при фотоокислительном стрессе снижались как в растениях ДТ – в 1,8 и 1,5 раза, так и в растениях-трансформантах – в 1,5 и 1,2 раза

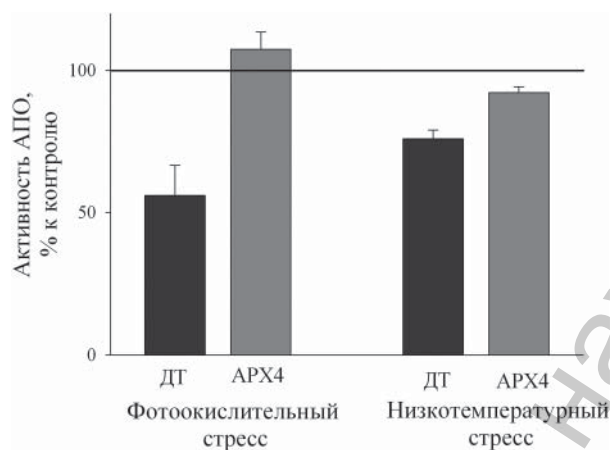


Рис. 4. Активность АПО в листьях трансгенных растений табака (АРХ4) и растений ДТ при фотоокислительном и низкотемпературном стрессах

снижается относительно контрольного значения [22]. Этот факт, а также данные других исследований [23] дают основание предположить, что КАТ не является ферментом, определяющим устойчивость растительного организма к фотоокислительному воздействию. Снижение активности ГР, описанное в данной работе, видимо, связано с более сильным стрессовым воздействием по сравнению с изученным нами ранее в листьях ячменя [22].

В условиях низкотемпературного стресса в растениях табака, как в ДТ, так и в трансгенных по АПО растениях, происходит снижение активности АПО – до 25 % для растений ДТ, и до 20 % для трансформантов по отношению к своим контролям. Однако в растениях-трансформантах активность АПО даже в условиях низкотемпературного стресса остается выше примерно на 20 %, чем в растениях ДТ (рис. 4).

Также нами установлено, что в растениях, трансформированных смысловым геном АПО, активность другого важного антиоксидантного фермента – ГР – выше, чем в ДТ как в условиях низкотемпературного стресса (на 10 %), так и в нормальных условиях выращивания (на 20 %). В экспериментах по анализу активности КАТ существенных различий между растениями ДТ и трансформантами при низкотемпературном воздействии не наблюдали (данные на рисунках не представлены). Этот факт позволяет предположить, что КАТ, в отличие от АПО и ГР, не играет определяющей роли в формировании повышенной устойчивости трансгенных по АПО растений табака к низкотемпературному воздействию.

АПО и ГР – ферменты, играющие одну из ключевых ролей в функционировании аскорбат-глутатионового цикла. Полученные нами данные по активации АПО и ГР в трансформантах при низкотемпературном стрессе в совокупности с результатами исследований количества низкомолекулярных антиоксидантов аскорбата и глутатиона убедительно доказывают предположение о более эффективном

для ГР и КАТ соответственно (данные на рисунках не представлены). Однако важно отметить, что и в контрольных, и в опытных вариантах активности этих ферментов в трансгенных растениях были выше активностей ГР и КАТ в растениях ДТ. Ранее нами было показано, что при развитии фотоокислительного стресса в листьях ячменя активность ГР на ранних стадиях стрессового воздействия увеличивается, в то время как активность КАТ на протяжении всего стрессового воздействия

функционировании в трансгенных растениях аскорбат-глутатионового цикла в целом.

**Заключение.** Таким образом, трансформация растений табака смысловым геном АПО приводит к интенсификации функционирования в них аскорбат-глутатионового цикла, что проявляется в более интенсивном потреблении в трансформантах аскорбата на фоне повышенной активности АПО и ГР при абиотическом стрессе. Более высокое содержание глутатиона в трансформантах, вероятно, связано с его эффективным синтезом *de novo* для участия в поддержании пула восстановленного аскорбата. Низкий уровень аскорбата в растениях-трансформантах в стрессовых условиях не является показателем низкого антиоксидантного статуса клетки, как это обычно принято считать, а напротив, свидетельствует об активном и эффективном функционировании защитной системы, что подтверждается более низким содержанием в листьях трансгенных растений пероксида водорода при низкотемпературном стрессе, а также меньшей степенью повреждения клеточных мембран и меньшим нарушением функционирования ФС2.

На основании полученных нами результатов можно предположить, что растения, трансформированные смысловым геном АПО, будут более устойчивы к любому виду окислительного стресса, при котором в клетках растений накапливается пероксид водорода.

Авторы выражают благодарность Белорусскому республиканскому фонду фундаментальных исследований, при финансовой поддержке которого (гранты № Б07М-157 и № Б09М-088) были выполнены эти исследования.

### Литература

1. Arora A. et al. // Current Science. 2002. Vol. 82, N 10. P. 1227–1238.
2. Apel K., Hirt H. // Ann. Rev. Plant Biol. 2004. Vol. 55, N 1. P. 373–399.
3. Asada K. // Plant Physiol. 2006. Vol. 141. P. 391–396.
4. Asada K. // Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 2000. Vol. 355, N 1402. P. 1419–1431.
5. Knox J. P., Dodge A. D. // Plant Sci. Letters. 1984. Vol. 37. P. 3–7.
6. Okuda T. et al. // Plant. Physiol. 1991. Vol. 97, N 3. P. 1265–1267.
7. Mohanty J. G. et al. // J. Immunol. Methods, 1997. Vol. 202, N 2. P. 133–141.
8. Корнеев Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. Киев, 2002. – 188 с.
9. Доманский В. П., Мананкина Е. Е. // Докл. НАН Беларуси. 2006. Т. 50, № 1. С. 66–69.
10. Кожушко Н. Н. // Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды / Под ред. Г. В. Удовенко. Д., 1976. С. 33–43.
11. Конев С. В., Мажуль В. М. Межклеточные контакты. Минск, 1977. – 312 с.
12. Law M. Y., Charles S. A., Halliwell B. // Biochem. J. 1983. Vol. 210. P. 899–903.
13. Nakano Y., Asada K. // Plant Cell Physiol. 1981. Vol. 22, N 5. P. 867–880.
14. Hissin P. J., Hilf R. // Anal. Biochem. 1976. Vol. 74, N 1. P. 214–226.
15. Шальго Н. В. и др. // Физиол. и биохим. культ. раст. 2007. Т. 39, № 3. С. 264–270.
16. Gechev T. et al. // Cell. Mol. Life Sci. 2002. Vol. 59, N 4. P. 708–714.
17. Rios-Gonzales K. et al. // Plant Sci. 2002. Vol. 162, N 6. P. 923–930.
18. Bradford M. // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.
19. Козел Н. В., Шальго Н. В. // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы генетики». Минск, 2003. С. 227.

20. Владимиров Ю. А. и др. // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Биофиз. 1991. Т. 29. С. 199–201.
21. Вавилин Д. В. и др. // Физиол. раст. 1999. Т. 46, № 5. С. 679–685.
22. Kozel N. V., Shaligo N. V. // Rus. J. of Plant Phys. 2009. Vol. 56, N 3. P. 316–322.
23. Shim I. S. et al. // Plant Growth Regulation. 2003. Vol. 39. P. 285–292.

*N. V. KOZEL, V. P. DOMANSKII*

**ASCORBATE-GLUTATHIONE CYCLE IN TOBACCO PLANTS WITH OVEREXPRESSION OF ASCORBATE PEROXIDASE UNDER ABIOTIC STRESS**

**Summary**

Smaller degree of barrier property manifestation of cell membranes and of activity of a photosystem 2 were observed in tobacco plants transformed by sense gene of ascorbate peroxidase compared to the control at the photooxidative and low temperature stresses. These were caused by effective detoxification of the hydrogen peroxide in transgenic tobacco plants which had higher the antioxidant status compared to the control. These results suggested that tobacco plants transformed by sense gene of ascorbate peroxidase will be more resistance to any abiotic stress accompanying by accumulation of the hydrogen peroxide.

## **ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО**

### **ПРЕДАННОЕ СЛУЖЕНИЕ НАУКЕ**

**(К 60-летию Н. Н. Костюковича)**



21 марта 2012 г. исполняется 60 лет белорусскому ученому, специалисту в области теоретической и математической физики, организации научных исследований и истории науки, кандидату физико-математических наук Николаю Николаевичу Костюковичу.

Н. Н. Костюкович родился в городе Борисове Минской области, где в 1969 г. окончил среднюю школу. В том же году он поступил на физический факультет Белорусского государственного университета. После его окончания в 1974 г. начал трудовую деятельность в качестве младшего научного сотрудника Научно-исследовательского института прикладных физических проблем Белорусского государственного университета. С 1977 г. его научная судьба неразрыв-

но связана с Академией наук. Здесь он работал инженером, старшим инженером, младшим научным сотрудником, научным сотрудником, а с 1989 г. – старшим научным сотрудником (на общественных началах) Института физики Академии наук БССР.

Со студенческих и аспирантских лет научные интересы Н. Н. Костюковича связаны с теорией гравитационного взаимодействия – общей теорией относительности А. Эйнштейна (ОТО). Его первым научным руководителем стал основатель белорусской научной школы по гравитации, заведующий кафедрой теоретической физики Белорусского государственного университета, профессор А. Е. Левашов. Впоследствии, работая в лаборатории теоретической физики Института физики АН БССР, руководимой академиком Ф. И. Федоровым, Николай Николаевич выполнял исследования в группе известного советского физика-гравитациониста, доктора физико-математических наук О. С. Иваницкой. Под ее руководством он подготовил и в 1987 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию.

Н. Н. Костюковичем получен ряд новых важных результатов при изучении движения пробных тел и света в различных гравитационных полях. Эти исследования были использованы в дальнейшем при разработке, совместно с О. С. Иваницкой, классификации гравитационных эффектов. В то время как ОТО была подтверждена только четырьмя классическими наблюдениями и экспериментами в Солнечной системе, эта классификация представляла более 100 общерелятивистских эффектов, которые в принципе могли наблюдаться экспериментально. За цикл работ, посвященный разработке теории эффектов ОТО и ее прикладных аспектов, молодой ученый был удостоен премии Минского комсомола в области науки и техники за 1983 год.

Большой вклад внесен Николаем Николаевичем в развитие тетрадного формализма ОТО, математический аппарат и физический смысл которого были глубоко исследованы в работах А. Е. Левашова и О. С. Иваницкой. Им развиты методы расчета, позволяющие с помощью общековариантных калибровок ориентирования установить общий вид тетрад, произвольным или специальным образом ориентированных относительно известных опорных векторов, получены общие решения алгебраической проблемы тетрад на комплексном 4-мерном многообразии и задачи о симметричных тетрадах и фильбайнах, совместно с академиком Ф. И. Федоровым введены оптимальные тетрады и изучены их свойства.

Н. Н. Костюковичем предложен матричный метод расчета коэффициентов вращения Риччи и динамических характеристик локальных систем отсчета, на основе которого получены точные выражения для угловой скорости прецессии гироскопа в произвольном стационарном аксиально-симметричном поле тяготения. Разработанный им метод квазиконического сечения позволил найти точные решения для квазиконических геодезических в семействе метрик Томиматсу–Сато и уравнений экваториального движения вращающегося электрически заряженного пробного тела в метрике Керра–Ньюмена–де Ситтера.

В 1984–1985 гг. в качестве стипендиата ЮНЕСКО Н. Н. Костюкович прошел научную стажировку в Институте теоретической физики Варшавского университета. Ее итогом стала построенная совместно с профессором С. Л. Бажанским общая теория электромагнитных девиаций, описывающая в рамках ОТО относительное движение электрически заряженных пробных тел под действием гравитационных приливных сил. На ее основе впервые получены общие уравнения для первых интегралов систем уравнений Гамильтона–Якоби, описывающих электромагнитные девиации 1-го и 2-го порядков, найдено точное решение уравнений девиации геодезических в метрике Керра–Ньюмена–де Ситтера.

Для стиля научной работы Николая Николаевича характерно стремление к максимальной общей постановке решаемых задач и широкому обсуждению полученных результатов. Эта тенденция проявлялась не только в отношениях с коллегами из Беларуси – обширные научные контакты осуществлялись с учеными из научных центров других республик Советского Союза, государств СНГ и ряда зарубежных стран. Результаты исследований Н. Н. Костюковича опубликованы

в трудах IV–VII всесоюзных и IX–X международных гравитационных конференций, состоявшихся в Минске, Москве, Ереване, Йене (Германия) и Падуе (Италия), докладывались на геометрических конференциях, симпозиумах по дифференциальным и интегральным уравнениям, семинарах по ОТО в университетах и научных институтах Вильнюса, Каунаса, Москвы, Ленинграда, Львова, Одессы, Таллинна, Тарту и Варшавы. Список его научных работ включает более 70 наименований.

С самого начала своей научной карьеры Николай Николаевич активно участвует в научно-организационной работе. Был членом республиканского, академического и институтского советов молодых ученых, принимал деятельное участие в работе оргкомитетов ряда всесоюзных и республиканских конференций, в том числе в подготовке и проведении в Минске в 1976 г. IV Советской гравитационной конференции, в 1979 г. – Всесоюзного межведомственного симпозиума, посвященного 100-летию со дня рождения А. Эйнштейна. Он является одним из основателей и с 1990 г. членом правления общественного объединения «Белорусское физическое общество», в 2000 г. избран членом-корреспондентом Международной академии организационных и управленческих наук.

Вскоре после защиты диссертации научно-организационная работа для Н. Н. Костюковича стала основной. В 1988 г. он был назначен заместителем председателя Совета по координации научной деятельности при Президиуме АН БССР. Затем занимал должности главного специалиста, заместителя начальника и начальника отдела планирования научных исследований и отчетности аппарата Президиума НАН Беларуси, с 1997 г. – заместителя главного ученого секретаря НАН Беларуси. С 2002 г. и по настоящее время он возглавляет Управление научно-организационной и информационно-аналитической работы аппарата НАН Беларуси. Одновременно с 1992 г. работает в исполнительной дирекции Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, являясь с 1997 г. ответственным секретарем редакционной коллегии журнала «Вестник Фонда фундаментальных исследований».

За эти годы Н. Н. Костюкович внес значительный вклад в совершенствование организации, планирования и координации научных исследований в стране и в Академии наук.

С его участием разработаны действующие редакции законов Республики Беларусь о научной деятельности и о НАН Беларуси, декретов и указов Президента Республики Беларусь о совершенствовании государственного управления в сфере науки, научных объектах, составляющих национальное достояние, порядке выдвижения организаций науки и научного обслуживания для занесения на Республиканскую доску Почета, постановлений Правительства Республики Беларусь о порядке формирования и выполнения государственных программ фундаментальных и прикладных научных исследований, государственных комплексных целевых научно-технических программ, экспертизы и оценки результатов научных исследований. Он основной разработчик ряда нормативных и организационно-

методических документов, которые определяют нынешний статус, полномочия, организационную структуру и регулируют уставную деятельность НАН Беларуси, а также предложений по вопросам развития науки в стране.

Н. Н. Костюкович проводит большую работу по пропаганде и распространению информации о достижениях и перспективах научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь.

На протяжении многих лет он является одним из авторов, редакторов и ответственным за подготовку отчетов о деятельности НАН Беларуси, одним из авторов и научным редактором ежегодных аналитических докладов о состоянии и перспективах развития науки в Республике Беларусь, их кратких вариантов, издаваемых на пяти языках. Под его редакцией вышли в свет на русском и английском языках 18 сборников основных результатов завершённых фундаментальных и поисковых исследований, проведенных учеными республики в рамках проектов, финансируемых Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований. Его имя среди авторов уникального «Атласа науки Республики Беларуси» (2004 г.). Обстоятельные статьи Н. Н. Костюковича, посвященные развитию науки и инновационной деятельности в нашей стране, опубликованы в ежегодниках «Беларусь. Факты» за 2003–2006 гг., изданных и широко распространенных за рубежом Министерством иностранных дел Республики Беларусь, в 3-томном энциклопедическом справочнике «Современная Беларусь» (2007 г.) и других изданиях, включая интернет-ресурсы.

Научно-популярная деятельность Николая Николаевича активизировалась после его вхождения с 1997 г. в число авторов общенациональных энциклопедических изданий. За эти годы в 18-томной «Беларускай энцыклапедыі», 6-томной энциклопедии «Республика Беларусь», историко-документальных хрониках «Памяць», многотомном энциклопедическом издании «Гарады і вёскі Беларусі», других белорусских энциклопедиях им опубликовано свыше 320 статей по физике, персоналий известных отечественных и зарубежных ученых и специалистов. Выполненные при их подготовке научно-биографические исследования позволили Н. Н. Костюковичу, в частности, установить наличие белорусских корней более чем у двух десятков лауреатов Нобелевской премии в различных областях науки.

Обратившись к этой теме, он подготовил и опубликовал обстоятельные научные биографии ряда нобелевских лауреатов – уроженцев и выходцев из белорусских земель. Последние из таких статей посвящены американским физикам Дугласу Д. Ошерову, Джерому А. Фридману и биохимику Стэнли Коэну. Из историй их жизни и научных свершений читатель выносит истину, что ученый должен обязательно стремиться раскрыть движущие силы и причинно-следственные связи изучаемых им явлений. Докапываясь до глубинных подробностей научного поиска нобелевских лауреатов, Н. Н. Костюкович дает понять читателю, что получение научных результатов мирового уровня определяется не только природными способностями и талантом ученого, но и кропотливым повседневным трудом

на протяжении долгих лет изысканий. О его публицистическом таланте свидетельствуют также научно-популярные статьи, опубликованные в научной информационно-аналитической газете Беларуси «Веды».

В целях пропаганды научных и научно-технических достижений НАН Беларуси, освещения достижений белорусских ученых, опыта нормативного правового регулирования научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь Н. Н. Костюкович активно использует современные информационно-коммуникационные технологии. Он является основным разработчиком и с 1996 г. обеспечивает информационное сопровождение официального веб-сайта НАН Беларуси, который был признан экспертами энциклопедии «Британника» одним из лучших в глобальной сети Интернет по параметрам качества, точности содержания, представительности, полезности и обеспечивает целостный позитивный информационный образ НАН Беларуси в глобальной компьютерной сети Интернет, способствуя повышению международного авторитета белорусской академической науки. Не случайно, на XV Юбилейной Международной специализированной выставке и конгрессе по телекоммуникациям, информационным и банковским технологиям ТИВО–2008, в рамках конкурса информационных ресурсов и сервисов белорусского сегмента Интернет, официальный веб-сайт Академии наук занял первое место в номинации «Иноязычный ресурс о Беларуси».

За значительный личный вклад в совершенствование организации научной деятельности, нормативной правовой базы белорусской науки, плодотворную научную и научно-организационную работу и высокий профессионализм Н. Н. Костюкович награжден Почетной грамотой Совета Министров Республики Беларусь (2002 г.), почетными грамотами НАН Беларуси (1999, 2002, 2007, 2009 гг.), Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (1999 г.), Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (2002 г.), Комитета по науке и технологиям при Совете Министров Республики Беларусь (2003 г.). В 2010 г. он награжден нагрудным знаком «Юбилейная медаль «У гонар 80-годдзя Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі».

Поздравляя юбиляра со знаменательным событием в его жизни, отмечая такие его человеческие качества, как целеустремленность, доброжелательность, дружелюбие и чувство юмора, коллеги Николая Николаевича выражают ему свое уважение за преданное служение науке.

*Коллеги и друзья*

ВЕСТНИК ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, № 1, 2012

*на русском и белорусском языках*

Редактор Т. П. Петрович

Компьютерная верстка С. Н. Костюк

Подписано в печать 20.03.2012. Выход в свет 27.03.2012. Формат 70 × 100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 8,61. Уч.-изд. л. 7,1. Тираж 135 экз. Заказ 45.

Цена номера: индивидуальная подписка – 22300 руб.; ведомственная подписка – 22417 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».  
ЛИ № 02330/0494405 от 27.03.2009. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, Минск.