

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

Издается с III квартала 1997 г.



№ 1 [79], 2017

**ВЕСТНИК**  
**ФОНДА**  
**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ**  
**ИССЛЕДОВАНИЙ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

**Учредители:**  
Национальная академия  
наук Беларуси,  
Белорусский  
республиканский  
фонд  
фундаментальных  
исследований

220072, г. Минск,  
пр. Независимости, 66;  
тел. 284-07-42,  
284-25-08

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

*Главный редактор*  
С. В. Гапоненко

*Заместитель главного редактора*  
А. П. Ласковнев  
А. И. Лесникович

*Ответственный секретарь*  
Н. Н. Костюкович

*Члены редколлегии:*

О. В. Алейникова	В. Ф. Логинов
П. И. Балтрукович	А. И. Локотко
А. В. Бильдюкевич	А. А. Лукашанец
А. Н. Витченко	А. А. Махнач
П. А. Витязь	А. Г. Мрочек
И. В. Гайшун	П. Г. Никитенко
А. Е. Дайнеко	В. А. Орлович
В. С. Камышников	В. И. Поткин
А. К. Карабанов	Л. М. Томильчик
А. В. Кильчевский	А. В. Тузиков
А. А. Коваленя	В. С. Улащик
Э. И. Коломиец	Ю. С. Харин
Н. П. Крутько	Л. В. Хотылева
Н. А. Ламан	С. Н. Черенкевич

Минск, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

### ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ

Указ Президента Республики Беларусь от 23 декабря 2016 г. № 481 «Об объявлении 2017 года Годом науки» .....	5
Поздравление Президента Республики Беларусь с Днем белорусской науки .....	6
Поздравление Председателя Президиума НАН Беларуси с Днем белорусской науки .....	7

### ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА

<b>Костюкович Н. Н., Половинко Н. Н.</b> Основные итоги деятельности Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в 2016 году .....	9
---	---

### ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК

Постановление Совета МААН от 28 сентября 2016 г. № 259 «Об основных итогах деятельности МААН в 2011–2016 гг.» .....	24
Постановление Совета МААН от 28 сентября 2016 г. № 260 «О Научном совете по геодезии и геофизике» .....	28
Постановление Совета МААН от 28 сентября 2016 г. № 261 «О Научном совете по проблемам геологических опасностей» .....	31
Постановление Совета МААН от 28 сентября 2016 г. № 262 «О Международном совете по биотехнологии и биоразнообразию» .....	34
Постановление Совета МААН от 28 сентября 2016 г. № 263 «О Научном совете по изучению национального и культурного наследия и развития общества» .....	39
Постановление Совета МААН от 28 сентября 2016 г. № 264 «О Научном совете по энергоэффективности и использованию возобновляемых источников энергии» .....	42
Постановление Совета МААН от 28 сентября 2016 г. № 265 «О поддержке деятельности журнала «Общество и экономика» .....	45

### МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

<b>Титова Е. Т.</b> Сотрудничеству белорусских и армянских ученых – новый импульс .....	46
---	----

### НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

<b>Камлюк А. Н., Грачулин А. В.</b> Инженерная методика гидравлического расчета прорезиненных рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом .....	51
<b>Китиков В. О.</b> Инновационный подход к созданию рабочего вакуумного контура доильных установок с учетом физиологических особенностей животных .....	63

### НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

<b>Волков В. Ю., Воробьев А. П., Кокоулина Е. С., Кутов А. Я., Невмержицкий М. Н., Никитин В. А., Покаташкин Г. С., Руфанов И. А., Рядовиков В. Н., Шуляковский Р. Г.</b> Поиск новых коллективных явлений в протонных и ядерных взаимодействиях на ускорителях ОИЯИ и ИФВЭ .....	76
---	----

**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 [79], 2017**

**VESTNIK  
OF THE FOUNDATION  
FOR FUNDAMENTAL  
RESEARCH**

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

**The founders:**  
The National Academy  
of Sciences of Belarus,  
The Belarusian  
Republican  
Foundation  
for Fundamental  
Research

220072, Minsk,  
Independence Av., 66;  
ph. 284-07-42,  
284-25-08

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

**EDITORIAL BOARD:**

*Editor-in-Chief*  
S. V. Gaponenko

*Deputy Editors-in-Chief*

A. P. Laskaunev  
A. I. Lesnikovich

*Executive Secretary*  
N. N. Kostyukovich

*Editorial board members:*

O. V. Aleinikova	N. A. Laman
P. I. Baltrukovich	V. F. Loginov
A. V. Bilydukevich	A. I. Lokotko
S. N. Cherenkevich	A. A. Lukashanets
A. Ye. Daineko	A. A. Makhnach
I. V. Gaishun	A. G. Mrochek
V. S. Kamyshnikov	P. G. Nikitenko
A. K. Karabanov	V. A. Orlovich
Yu. S. Kharin	V. I. Potkin
L. V. Khotylyova	L. M. Tomilchik
A. V. Kilchevsky	A. V. Tuzikov
E. I. Kolomiets	V. S. Ulashchik
A. A. Kovalenya	A. N. Vitchenko
N. P. Krut'ko	P. A. Vityaz

**Minsk, 2017**

## CONTENTS

### THE DAY OF BELARUSIAN SCIENCE

Decree of the President of the Republic of Belarus of December 23, 2016 N 481 «On Declaring 2017 the Year of Science» .....	5
Congratulations by the President of the Republic of Belarus on the Day of Belarusian Science .....	6
Congratulations by the Chairman of the Presidium of NAS of Belarus on the Day of Belarusian Science .....	7

### THE FOUNDATION ACTIVITIES

<b>Kostyukovich N. N., Polovinko N. N.</b> Main results of activity of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research in 2016.....	9
---	---

### THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ACADEMIES OF SCIENCE ACTIVITIES

The Decision N 259 of September 28, 2016 «On the main results of IAAS activities in 2011–2016»	24
The Decision N 260 of September 28, 2016 «On Scientific Council for geodesy and geophysics»....	28
The Decision N 261 of September 28, 2016 «On the Scientific Council on problems of geological hazards» .....	31
The Decision N 262 of September 28, 2016 «On International Council on biotechnology and biodiversity».....	34
The Decision N 263 September 28, 2016 «On Scientific Council for research of national and cultural heritage and development of society» .....	39
The Decision N 264 of September 28, 2016 «On the Scientific Council on energy efficiency and renewable energysources use».....	42
The Decision N 265 of September 28, 2016 «On the support of the journal «Society and Economy» activities» .....	45

### INTERNATIONAL RELATIONS

<b>Titova E. T.</b> Cooperation of Belarusian and Armenian scientists – a new impetus .....	46
---	----

### SCIENTIFIC PUBLICATIONS

<b>Kamluk A. N., Grachulin A. V.</b> Engineering method of hydraulic calculation of rubber hose lines of compressed air foam system .....	51
<b>Kitsikau V. O.</b> Innovative approach to creating the vacuum operating circuit of the milking machines taking into account the physiological characteristics of animals .....	63

### SCIENTIFIC REVIEWS

<b>Volkov V. Yu., Vorobiev A. P., Kokoulina E. S., Kutov A. Ya., Nevmerzhitsky M. N., Nikitin V. A., Pokatashkin G. S., Roufanov I. A., Riadovikov V. N., Shulyakovsky R. G.</b> The search for new collective phenomena in proton and nuclear interactions at accelerators of JINR and IHEP.....	76
---	----

## ***ДЕНЬ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ***

### **УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 23 декабря 2016 г. № 481**

#### **Об объявлении 2017 года Годом науки**

В целях повышения статуса ученого и роли науки в выполнении задач социально-экономического развития страны, создания благоприятных условий для сохранения научного потенциала Республики Беларусь постановляю:

1. Объявить в Республике Беларусь 2017 год Годом науки.
2. Совету Министров Республики Беларусь с участием Национальной академии наук Беларуси, облисполкомов, Минского горисполкома разработать и утвердить республиканский план мероприятий по проведению в 2017 году Года науки.
3. Настоящий Указ вступает в силу со дня его официального опубликования.

**Президент Республики Беларусь**

**А. Лукашенко**

## **ПОЗДРАВЛЕНИЕ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С ДНЕМ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ**

28 января 2017 года

Уважаемые товарищи!

Сердечно поздравляю вас с Днем белорусской науки.

Мы высоко ценим вклад ученых в укрепление отечественной промышленности, совершенствование социальной сферы, приумножение интеллектуального и культурного потенциала нации.

В нашей стране созданы условия для реализации творческих инициатив, уделяется значительное внимание развитию научных школ, привлечению в них молодежи.

Для решения задач, стоящих перед республикой, необходимы блестящие идеи, прорывные исследования и прогрессивные разработки, воплощенные в жизнь.

Не случайно нынешний год объявлен в Беларуси Годом науки. Так мы подчеркиваем значимость вашей работы для государства и общества. Уверен, это придаст мощный созидательный импульс, вдохновит на новые достижения, которые обеспечат устойчивый рост экономики, социальную стабильность и благополучие народа.

Желаю вам здоровья, счастья и успехов в труде на благо Родины.

**Александр Лукашенко**

## **ПОЗДРАВЛЕНИЕ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРЕЗИДИУМА НАН БЕЛАРУСИ С ДНЕМ БЕЛОРУССКОЙ НАУКИ**

25 января 2017 года

Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

От имени Президиума Национальной академии наук Беларуси сердечно поздравляю научную общественность нашей страны, всех, для кого наука является делом жизни, с профессиональным праздником – Днем белорусской науки!

2017 год объявлен Главой государства в нашей стране Годом науки. Это решение – не только признание достижений ученых страны, но и большая ответственность. Мы должны сделать все, чтобы оправдать высокое доверие.

В Академии наук в последние годы сложилась хорошая традиция составлять перечни результатов научных исследований и разработок мирового уровня и на их базе формировать ТОП–10. В список по итогам 2016 года вошли научные достижения в области фундаментальных исследований. Они охватывают области квантовой и лазерной физики, информатики и материаловедения, химии и микробиологии, археологии и земледелия.

Президент Республики Беларусь Александр Лукашенко в новогоднем обращении подчеркнул: «Приоритет для нас – инновационный путь. Наступающий Год науки должен пройти под знаком обновления страны и открытий во всех областях жизнедеятельности. Но любые научные достижения и разработки должны эффективно внедряться в производство». Надо отметить, что наука в Республике Беларусь всегда была высокорезультативной, отвечающей духу времени и соответствующей мировым критериям. Сейчас наука максимально интегрирована в экономику. Практически 85 % инвестиций направляются на исследования прикладного характера в интересах отраслей. У нас нет результатов, пылящихся на полке, – все они эффективно используются. Полагаем, что Год науки внесет существенный вклад в формирование имиджа Республики Беларусь как страны с высокими показателями интеллектуального и человеческого капитала. Наука сегодня – это общество завтра.

Академия наук достойно завершила прошедший год. Выполнены основные показатели социально-экономического развития. Начали работать созданные на базе НАН Беларуси многие междисциплинарные научно-исследовательские центры и научно-технологические кластеры поискового и стратегического характера. По наиболее востребованным направлениям создаются сквозные научно-производственные объединения. Зарегистрирован научно-технологический парк «Бел-Биоград», призванный обеспечить реализацию полного цикла от исследований

и разработок до производства наукоемкой продукции. Расширились международные научные связи. За выдающиеся достижения многие представители науки были удостоены высоких государственных наград. Талантливым молодым ученым назначены президентские стипендии.

Масштабные задачи стоят перед Академией в 2017 году. Общество ждет от ученых ярких научных идей, прорывных технологий для успешного развития народнохозяйственного комплекса страны, повышения качества жизни белорусских людей. Ученые Академии наук должны стать во главе крупномасштабных научных разработок, создать комплексное научное обеспечение при формировании новых отраслей и производств, установить прямое движение результатов фундаментальных исследований и прикладных разработок в производство, создать прочную базу роста наукоемкости белорусской экономики.

Желаю вам, дорогие друзья, новых открытий, воплощения в реальных проектах самых ярких идей.

Счастья, благополучия и здоровья вам и вашим близким!

Уверен, что у нас все получится!

**Владимир Гусаков,  
Председатель Президиума НАН Беларуси, академик**

## ***ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФОНДА***

*Н. Н. КОСТЮКОВИЧ, Н. Н. ПОЛОВИНКО*

### **ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2016 ГОДУ**

*Исполнительная дирекция БРФФИ*

В 2016 году Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ, Фонд) отметил 25-летие своей деятельности. Он создан 8 мая 1991 г. в г. Минске как Фонд фундаментальных исследований Белорусской ССР при Комиссии Президиума СМ БССР по вопросам научно-технического прогресса для финансирования фундаментальных и поисковых исследований в области естественных, технических и гуманитарных наук, выполняемых научными организациями и коллективами, высшими учебными заведениями и отдельными учеными республики. Постановлением Правительства Республики Беларусь от 3 апреля 1996 г. № 236 Фонд преобразован в Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, а Декретом Президента Республики Беларусь от 5 марта 2002 г. № 7 «О совершенствовании государственного управления в сфере науки» включен в состав Национальной академии наук Беларуси (НАН Беларуси) с правами юридического лица.

Согласно новому Уставу Фонда, утвержденному постановлением Президиума НАН Беларуси от 8 октября 2014 г. № 64, БРФФИ – государственная некоммерческая организация, не имеющая членства, предметом деятельности которой является финансирование проведения и апробации результатов фундаментальных и ориентированных фундаментальных научных исследований, отобранных по результатам открытых конкурсов научных проектов (включая международные), проводимых по специальному поручению от имени республиканских, местных органов государственного управления и НАН Беларуси, от своего имени или от имени заинтересованных юридических и физических лиц, выступающих в качестве инициаторов, инвесторов и заказчиков соответствующих научно-исследовательских работ. Средства Фонда формируются из средств республиканского бюджета, в установленном порядке выделяемых НАН Беларуси; добровольных взносов организаций, общественных объединений и отдельных граждан; целевых взносов заказчиков, заинтересованных в проведении фундаментальных научных исследований по конкретным направлениям, других поступлений и доходов.

Высшим коллегиальным органом управления Фонда является Научный совет, который формируется из числа ведущих научных работников – представителей фундаментальной науки и выполняет свои функции на общественных началах. Научный совет определяет основные направления и методы деятельности БРФФИ в рамках его уставных целей и основных задач, в том числе объявляет конкурсы проектов научных исследований и конкурсы на соискание грантов финансовой поддержки, утверждает условия их проведения, правила подачи, порядок проведения экспертизы и конкурсного отбора заявок, подводит итоги проводимых конкурсов, принимает решения об объемах финансирования отобранных научных проектов и размерах выделяемых грантов. Для организации экспертизы представленных на конкурсы проектов и заявок на гранты финансовой поддержки Научным советом создаются экспертные советы. С 2015 года допущенные к участию в конкурсах Фонда научные проекты в установленном порядке проходят также государственную научную экспертизу. Контроль за деятельностью Фонда осуществляет Попечительский совет, выполняющий свои функции на общественных началах. Председатель Научного совета возглавляет постоянно действующую Исполнительную дирекцию, которая обеспечивает текущую деятельность Фонда (рис. 1).

БРФФИ – первый национальный научный фонд, созданный на территории стран СНГ, ассоциированный член Международной ассоциации академий наук, на основе более 20 двух- и многосторонних соглашений сотрудничает с международными и иностранными организациями и фондами, которые осуществляют поддержку фундаментальных научных исследований. Ежегодно по результатам республиканских, региональных и международных конкурсов и конкурсов проектов



Рис. 1. Расширенное заседание Научного и Попечительского советов БРФФИ, посвященное 25-летию Фонда (20 мая 2016 г.)

молодых ученых Фонд финансирует более 1000 краткосрочных научных проектов, в том числе около 600 международных, в выполнении которых участвуют около 5000 белорусских ученых из организаций различной ведомственной принадлежности, а также зарубежные ученые из более чем 30 стран мира. За 1991–2016 гг. Фондом проведено около 220 конкурсов исследовательских проектов, рассмотрено около 17600 заявок из более чем 190 организаций Республики Беларусь, профинансировано свыше 7590 проектов, в том числе 1975 проектов молодых ученых.

В юбилейном году БРФФИ осуществлял свою деятельность в соответствии с уставом, руководствуясь перечнем приоритетных научных направлений, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190 «О приоритетных направлениях научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы», нормативными актами НАН Беларуси, поручениями ее руководства. Совершенствовались сложившиеся методы и направления уставной деятельности БРФФИ, практически решались Фондом новые важные задачи.

**Конкурсная поддержка фундаментальных научных исследований.** На состоявшемся 20 мая 2016 г. расширенном заседании Научного и Попечительского советов Фонда, заседаниях бюро Научного совета были подведены итоги следующих конкурсов научных проектов:

республиканский конкурс «Наука-2016»;

конкурс на соискание грантов для молодых ученых «Наука М-2016»;

конкурс на соискание грантов развития «Ученый-2016»;

конкурс выполняемых в контакте с зарубежными учеными проектов фундаментальных исследований «Наука МС-2016»;

совместный тематический конкурс с Министерством образования Республики Беларусь для молодых ученых «БРФФИ–Минобразования М-2016»;

конкурс совместных научных проектов с Российским фондом фундаментальных исследований «БРФФИ–РФФИ-2016»;

конкурс совместных научных проектов с Российским гуманитарным научным фондом «БРФФИ–РГНФ-2016»;

совместный конкурс с Российским гуманитарным научным фондом на соискание грантов для молодых ученых «БРФФИ–РГНФ М-2016»;

совместный двусторонний межрегиональный конкурс в приграничных Витебской, Могилевской, Псковской и Смоленской областях на проведение фундаментальных исследований по приоритетным для Российской Федерации и Республики Беларусь научным проблемам общественно-гуманитарного и экономического профиля «БРФФИ–РГНФ (ПР)-2016»;

конкурс совместных проектов фундаментальных исследований с Государственным фондом фундаментальных исследований Украины «БРФФИ–ГФФИУ-2016»;

конкурс совместных научных проектов с Научно-технологическим фондом Монголии «БРФФИ–НТФМ-2016»;

конкурс совместных научных проектов с Румынской академией «БРФФИ–РА-2016»;

2 конкурса совместных научных проектов с Национальным исследовательским фондом Кореи «БРФФИ–НИФК-2016» и «БРФФИ–НИФК(2)-2016»;

2 конкурса совместных научных проектов с Вьетнамской академией наук и технологий «БРФФИ–ВАНТ-2016» и «БРФФИ–ВАНТ(2)-2016»;

совместный тематический конкурс исследовательских проектов с Объединенным институтом ядерных исследований «БРФФИ–ОИЯИ-2016».

В соответствии с постановлениями Бюро Президиума НАН Беларуси от 2 февраля 2015 г. № 36 и от 17 сентября 2015 г. № 402 проведены совместный конкурс проектов фундаментальных исследований НАН Беларуси и Совета по научно-технологическим исследованиям Турции «НАНБ (БРФФИ)–ТЮБИТАК-2016» и конкурс совместных научных проектов НАН Беларуси и Китайской академии общественных наук «НАНБ (БРФФИ)–КАОН-2016».

По заданиям и из средств Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь (ГКНТ) в 2016 году Фонд начал финансирование 14 международных научно-технических проектов по результатам конкурсов «ГКНТ–Вьетнам», «ГКНТ–Китай», «ГКНТ–Сербия».

Всего на конкурсы 2016 года было подано 817 заявок, в том числе 176 заявок по двум конкурсам для молодых ученых; принято к финансированию 368 проектов (45,0 %), в том числе 76 проектов (43,2 %) молодых ученых (рис. 2).

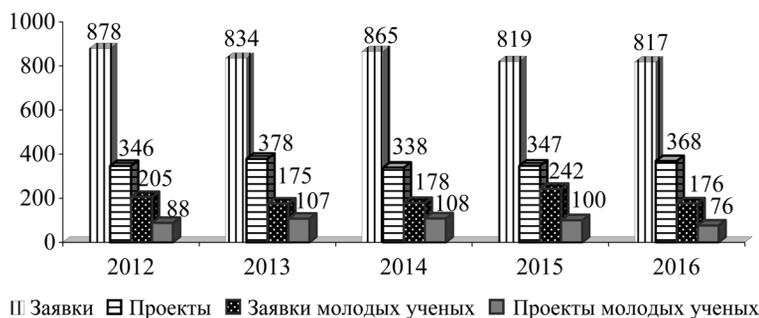


Рис. 2. Количество поданных заявок и принятых к финансированию проектов: 2012–2016 гг.

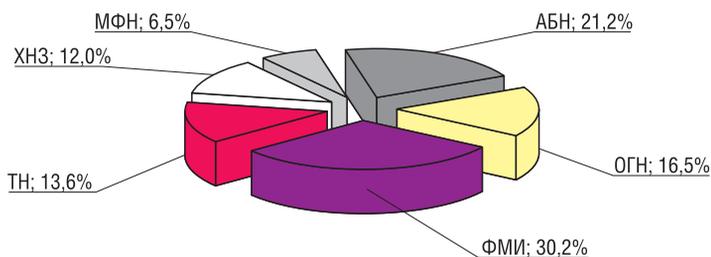


Рис. 3. Распределение принятых к финансированию в 2016 г. проектов по научным направлениям: ФМИ – физика, математика, информатика; ТН – технические науки; ХНЗ – химия и науки о Земле; МФН – медико-фармацевтические науки; АБН – аграрно-биологические науки; ОГН – общественные и гуманитарные науки

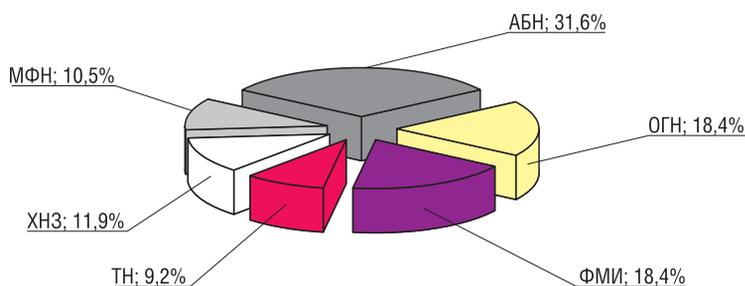


Рис. 4. Распределение принятых к финансированию в 2016 г. проектов молодых ученых по научным направлениям

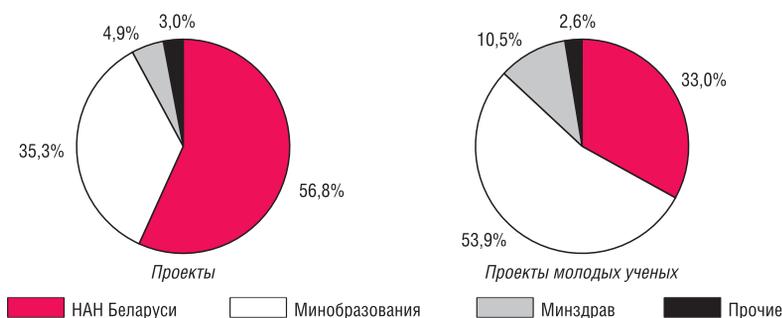


Рис. 5. Распределение принятых к финансированию проектов по министерствам и ведомствам

Из общего количества финансируемых проектов 21,5 % составляют проекты из регионов Республики Беларусь. Распределение всех принятых проектов по научным направлениям приведено на рис. 3, проектов молодых ученых – на рис. 4, распределение по министерствам и ведомствам – на рис. 5.

Активно участвуют в проектах молодых ученых по грантам Фонда научные сотрудники из регионов Беларуси – 39,5 % проектов, наиболее активны ученые Брестской области (13,2 % от общего количества проектов молодых ученых).

С учетом переходящих и принятых к финансированию в 2016 г. всего в отчетном году Фонд финансировал 1045 проектов из 113 организаций Республики Беларусь, в том числе 284 проекта молодых ученых из 70 организаций (рис. 6).

Всего в выполнении проектов в 2016 году участвовал 4441 научный сотрудник, в том числе 690 докторов наук, 1582 кандидата наук и 2169 исследователей без ученой степени. Из этого количества в выполнении молодежных проектов участвовали 848 человек, из них 168 – со степенью кандидата наук.

Распределение финансировавшихся в 2016 году проектов по научным направлениям приведено на рис. 7, по министерствам и ведомствам – на рис. 8. Из регионов финансировалось 21,4 % проектов. Наибольшее количество проектов молодых ученых приходилось на организации Министерства образования – 51,1 %, НАН Беларуси – 31,7 %, Минздрава – 10,6 %.

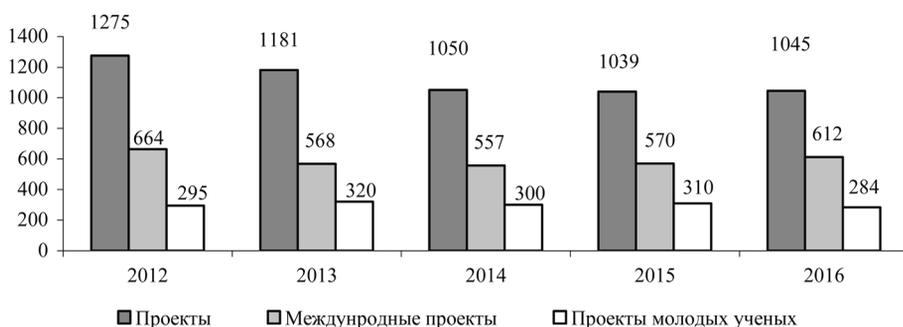


Рис. 6. Количество финансируемых БРФФИ проектов: 2012–2016 гг.

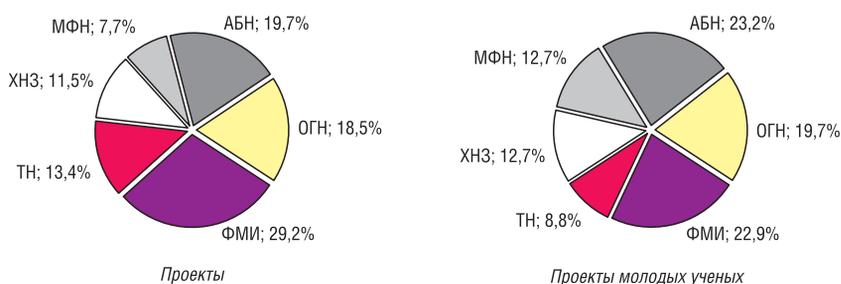


Рис. 7. Распределение финансируемых в 2016 г. проектов, в т. ч. проектов молодых ученых, по научным направлениям

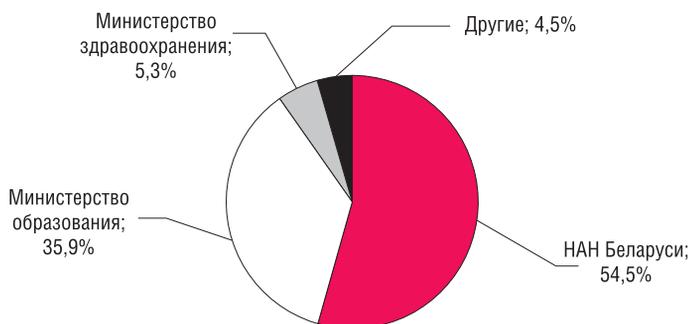


Рис. 8. Распределение финансируемых в 2016 г. проектов по министерствам и ведомствам

Из 1045 финансируемых в 2016 г. проектов 612, или 58,6 %, выполнялись совместно с учеными из зарубежных стран (рис. 6). Наибольшее их количество выполнялось по физике, математике и информатике – 35,6 %, наименьшее – по медико-фармацевтическим наукам – 3,1 % (рис. 9).

Всего в рамках проектов БРФФИ в 2016 г. белорусские ученые из 91 организации сотрудничали с зарубежными коллегами из 32 стран (таблица). Распределение международных проектов по министерствам и ведомствам составило: НАН Беларуси – 63,2 %, Минобробразования – 33,3 %, другие – 3,5 %. Основное коли-



Окончание табл.

Страна	Министерство, организация (кол-во организаций-исполнителей)											Итого	
	НАН Беларуси (47)	Минобразования (27)	Администрация Президента (1)	Орг. при Президенте (1)	Минздрав (6)	Минкультуры (1)	Минприроды (1)	Минсвязи (1)	Минсельхозпрод (3)	Минэкономики (1)	МЧС (1)		Белкоопсоюз (1)
Турция	3												3
Узбекистан		1											1
Украина	40	6	1			1		1					49
Финляндия	1												1
Франция	3	3											6
Чехия	1	1											2
Швейцария		1											1
ИТОГО	387	204	1	3	7	1	1	1	3	1	2	1	612

чество проектов выполнялось со странами СНГ – 70,4 %, и среди них – с Российской Федерацией – 55,6 %, Украиной – 8,0 %. Наиболее активно со странами СНГ осуществлялось сотрудничество по секциям физики, математики и информатики, общественных и гуманитарных наук, аграрно-биологических наук. Активно участвовали в совместных проектах также ученые из Румынии, Литвы, Польши, Сербии, Вьетнама, Китая, Монголии, Индии, Кореи, Латвии, Германии, Франции.

**Практическое использование результатов научных исследований.** В отчетном году завершено выполнение 360 проектов. По результатам их выполнения опубликовано 83 монографии, 1124 статьи в рецензируемых научных журналах, в том числе 483 в зарубежных изданиях, 1196 статей в сборниках научных трудов, сборниках докладов конференций (в том числе 462 в зарубежных изданиях), 913 тезисов докладов (в том числе 627 за рубежом), направлено в печать 655 научных трудов (рис. 10). Число научных публикаций в расчете на один проект (с учетом монографий, опубликованных статей, тезисов докладов, патентов) составило 9,2, а по научным статьям – 6,4.

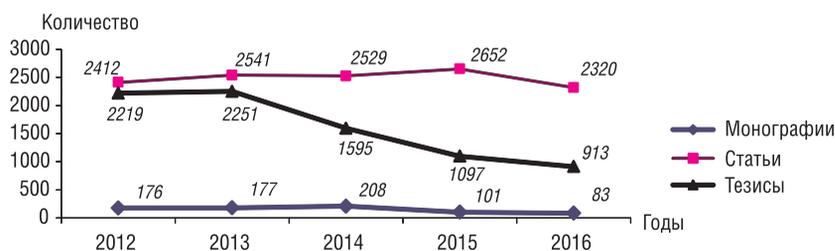


Рис. 10. Динамика научных публикаций по завершённым проектам: 2012–2016 гг.

Издано также 68 других изданий (научно-популярных, производственно-практических, справочных, учебных), препринтов, брошюр, методических разработок, рекомендаций, технических условий и др. Получено 25 патентов на изобретения и полезные модели, подано 16 заявок на них.

Научные результаты, полученные в рамках завершенных в 2016 г. проектов, вносят весомый вклад в развитие современных научных знаний о природе, человеке и обществе, способствуют повышению международного авторитета отечественной науки, служат интересам инновационного развития страны и уже нашли применение в дальнейших научных исследованиях, научно-технических разработках и социально-производственной практике.

Исполнительной дирекцией БРФФИ подведены итоги практической реализации завершенных проектов в виде экспериментальных и опытных образцов и партий, в заданиях государственных научно-технических программ и программ Союзного государства Беларуси и России, в сфере образования, в зарубежных контрактах, патентах и в материалах для государственных органов республики. Из 360 завершенных в 2016 г. научных проектов практическую реализацию получили 260, или 72,2 %. Из 106 завершенных проектов молодых ученых процент проектов с практической реализацией составил 76,1 %. Распределение завершенных проектов по областям практического использования представлено на рис. 11.

Основное количество проектов, результаты которых нашли практическое применение, приходится на использование результатов исследований в образовании – в виде учебных пособий, лекционных, практических и лабораторных материалов. Результаты каждого четвертого завершеного проекта проверены или прошли

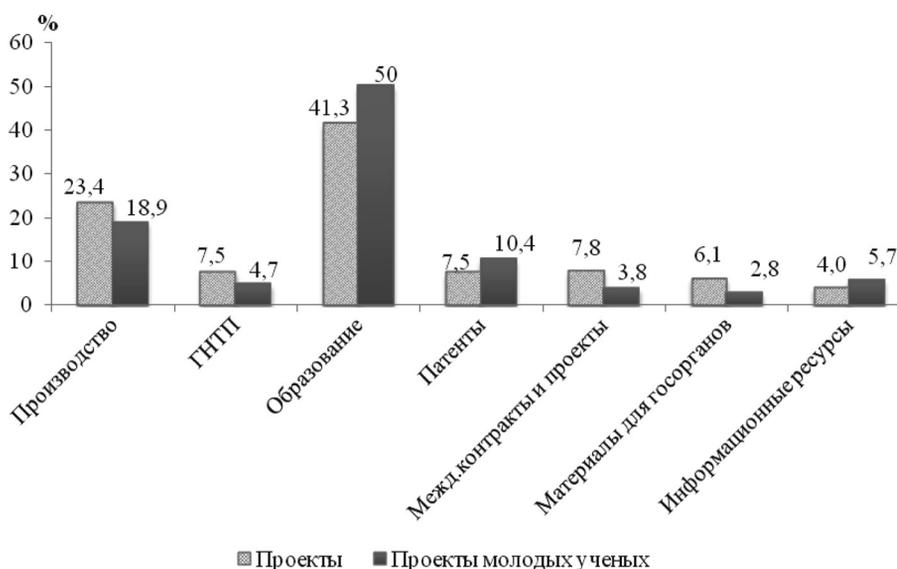


Рис. 11. Распределение завершенных в 2016 г. проектов по областям практического использования полученных результатов (в процентах)

апробацию в производственных или близких к ним условиях, находят применение в производстве, лечебной практике.

Высок процент использования результатов в сфере образования у исполнителей из Министерства образования – 57,1 %. Из завершенных проектов из организаций Министерства здравоохранения полученные результаты используются в лечебной практике – 33,3 %, в образовании – 30,0 %, патентовании – 26,7 %. Более половины завершенных проектов НАН Беларуси нашли практическую реализацию в производстве, образовании; в ГНТП и программах Союзного государства используется 16,1 %.

С использованием результатов завершенных проектов Фонда их исполнителями заключено с предприятиями и организациями республики хозяйственных договоров на сумму 905573 руб. Выполнялось или выполняется международных проектов и контрактов на сумму 209,8 тыс. долл. США, 121,1 тыс. евро, 2270,0 тыс. рос. руб. Объемы заключенных исполнителями проектов международных контрактов и выполняемых ими международных проектов распределились между НАН Беларуси и Министерством образования. По объему привлеченных средств (заключенные контракты и международные проекты) лидируют проекты в области физики, математики и информатики, технических наук. Отсутствуют контракты и международные проекты в области медико-фармацевтических наук, химии и наук о Земле.

Исполнительной дирекцией БРФФИ проведена систематизация результатов практической реализации по отраслям народного хозяйства и перечни проектов, имеющих инновационную направленность, разосланы 21 министерству и ведомству Республики Беларусь. По проектам, к которым проявлена заинтересованность, оказано содействие в установлении контактов с их исполнителями. Информированию потенциальных пользователей о полученных по проектам Фонда научных результатах служат также изданные в 2016 г. очередные выпуски сборников «Основные результаты фундаментальных исследований и предложения по перспективам их использования» и «Main Results of Fundamental Research and Search Scientific Works», в которые включены аннотации 337 завершенных научно-исследовательских работ, выполнявшихся по итогам конкурсов 2014 года.

Помимо отмеченных выше областей практической реализации, результаты почти половины (47,5 %) завершенных проектов БРФФИ находят дальнейшее развитие в государственных программах научных исследований.

**Международное научное сотрудничество.** В отчетный период Фонд продолжал развивать международное научное сотрудничество.

В связи с реорганизацией Научно-технологического фонда Монголии (НТФМ) на протяжении года БРФФИ предприняты шаги по налаживанию новых контактов с монгольскими организациями, в частности, с Министерством образования, культуры и науки Монголии с целью возможного заключения договора о сотрудничестве и организации конкурсов совместных исследований белорусских и монгольских ученых.

19–21 мая 2016 г. в мероприятиях, посвященных 25-летию юбилею БРФФИ, приняли участие Председатель Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) В. Я. Панченко, начальник управления внешних связей РФФИ И. В. Куриленко, директор Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики (ФРНА) Э. С. Бабаев, вице-президент НАН Азербайджана И. С. Гулиев, директор Института физики НАН Азербайджана Н. Т. Мамедов, вице-президент Академии искусств Украины В. Д. Сидоренко, заведующий отделом Государственного фонда фундаментальных исследований Украины (ГФФИУ) В. Б. Андрущенко. На встречах с представителями организаций – партнеров БРФФИ состоялись обмен опытом, обсуждение состояния сотрудничества и перспектив его развития. Были подписаны протоколы договоренности между: БРФФИ и РФФИ о проведении второго конкурса проектов фундаментальных научных исследований для молодых ученых, БРФФИ и ФРНА о проведении очередного конкурса совместных белорусско-азербайджанских научных проектов (рис. 12, 13).

3 июня 2016 г. в БРФФИ состоялась встреча с представителями РФФИ, прибывшими в Минск для участия в 3-м Форуме регионов Беларуси и России. Были обсуждены конкретные шаги по проведению совместного конкурса для молодых ученых и организационные вопросы, касающиеся создания Евразийской ассоциации поддержки научных исследований (ЕАПИ).

1 июля 2016 г. председатель Научного совета БРФФИ посетил в Москве РФФИ для подписания Меморандума о создании Евразийской ассоциации поддержки



Рис. 12. Подписание протокола договоренности между БРФФИ и РФФИ о проведении конкурса проектов фундаментальных научных исследований для молодых ученых (20 мая 2016 г.)



Рис. 13. После подписания протокола договоренности о проведении конкурса совместных белорусско-азербайджанских научных проектов (19 мая 2016 г.)

научных исследований. На встрече обсуждались ключевые вопросы будущего взаимодействия участников ЕАПИ, организации совместных конкурсов многосторонних исследовательских проектов, выполняемых учеными при поддержке ЕАПИ. Также состоялся обмен мнениями по актуальным вопросам двустороннего сотрудничества РФФИ и БРФФИ, в том числе с учетом включения Российского гуманитарного научного фонда (РГНФ) в состав РФФИ.

14 сентября 2016 г. с участием представителей БРФФИ состоялась веб-конференция ЕАПИ, на которой обсуждались предложенный секретариатом ЕАПИ формат и порядок проведения, тематика и сроки проведения первого конкурса многосторонних исследовательских проектов.

20–25 сентября 2016 г. в Исламабаде с участием представителей БРФФИ прошло 2-е заседание Совместной белорусско-пакистанской комиссии по сотрудничеству в области науки и технологий. Стороны сочли важным и целесообразным заключение соглашения между БРФФИ и Пакистанским научным фондом о проведении совместных конкурсов научных проектов и финансовой поддержки исследований белорусских и пакистанских ученых. Проект такого соглашения планируется рассмотреть в 1-м полугодии 2017 г. на рабочей встрече в Минске представителей академий двух стран.

26 сентября 2016 г. в Минске проведены переговоры БРФФИ с представителями Государственного фонда фундаментальных исследований Украины (ГФФИУ) по подведению итогов конкурса совместных проектов фундаментальных исследований «БРФФИ–ГФФИУ-2016» и принятию решения о финансировании отобранных



Рис. 14. Подведение итогов конкурса совместных проектов фундаментальных исследований БРФФИ и ГФФИУ (26 сентября 2016 г.)

проектов. Были намечены перспективы дальнейшего взаимодействия двух фондов (рис. 14).

В отчетный период БРФФИ в качестве ассоциированного члена участвовал деятельности Международной ассоциации академий наук (МААН), принимал участие в обсуждении и согласовании проектов постановлений МААН. 28 сентября 2016 г. председатель Научного совета БРФФИ принял участие в заседании Совета МААН в рамках работы Международной научно-практической конференции «25 лет Содружеству Независимых Государств: итоги, перспективы».

В сентябре 2016 г. БРФФИ предприняты шаги по возобновлению активного сотрудничества с Национальным фондом естественных наук Китая (НФЕНК). Президенту НФЕНК направлено предложение рассмотреть возможность организации совместных конкурсов научных проектов в рамках заключенного ранее соглашения о сотрудничестве.

14–15 ноября 2016 г. в Баку на первом заседании Совместной белорусско-азербайджанской рабочей группы по научно-техническому сотрудничеству (с участием представителя БРФФИ) предложено изучить возможность объявления нового конкурса научных проектов с ФРНА. Достигнута предварительная договоренность об объявлении совместного конкурса в 1-м квартале 2017 г.

В рамках реализации Плана мероприятий развития сотрудничества между Правительством Республики Беларусь и Правительством Республики Казахстан БРФФИ в ноябре 2016 г. вновь предложил АО «Фонд науки» Министерства образования и науки Республики Казахстан рассмотреть возможность проведения

совместных конкурсов в рамках действующего соглашения и подписать необходимые дополнительные договоры. Поскольку в настоящее время АО «Фонд науки» не обладает полномочиями по проведению казахстанско-белорусских конкурсов, БРФФИ намерен предпринимать шаги по рассмотрению возможностей реализации других форм сотрудничества.

В декабре 2016 г. в рамках визита в Анкару председателя Научного совета БРФФИ проработаны вопросы заключения соглашения о сотрудничестве с Советом по научно-технологическим исследованиям Турции (ТЮБИТАК) и возможностях проведения совместных конкурсов проектов фундаментальных исследований.

В отчетном году в рамках конкурса на соискание грантов финансовой поддержки организации республиканских и международных научных мероприятий Фондом оказана поддержка в проведении 16 международных научных мероприятий. Выделено также 10 грантов для участия исполнителей проектов БРФФИ в работе международных научных мероприятий, прошедших в Болгарии, Германии, Греции, Грузии, Италии, Литве, Польше, США, Чехии.

**Конкурсы проектов фундаментальных исследований 2017 года.** В 2016 г. БРФФИ объявил следующие конкурсы на 2017 год:

республиканский конкурс проектов фундаментальных научных исследований «Наука-2017»;

конкурс на соискание грантов для молодых ученых «Наука М-2017»;

конкурс на соискание грантов развития «Ученый-2017»;

конкурс выполняемых в контакте с зарубежными учеными проектов фундаментальных исследований «Наука МС-2017»;

совместный конкурс научных проектов с Российским фондом фундаментальных исследований для молодых ученых «БРФФИ–РФФИ М-2017»;

конкурс совместных научных проектов с Российским гуманитарным научным фондом «БРФФИ–РГНФ-2017»;

совместный конкурс с Российским гуманитарным научным фондом на соискание грантов для молодых ученых «БРФФИ–РГНФ М-2017»;

конкурс совместных научных проектов с Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Армении «БРФФИ–ГКНАрм-2017»;

совместный тематический конкурс исследовательских проектов с Объединенным институтом ядерных исследований «БРФФИ–ОИЯИ-2017».

На 2016–2017 гг. также объявлены конкурсы финансовой поддержки республиканских и международных научных мероприятий, участия исполнителей проектов БРФФИ в зарубежных научных мероприятиях.

Всего в 2016 г. по конкурсам, объявленным БРФФИ на 2017 год, в Фонд поступило 680 заявок, из них число заявок молодых ученых составило 297, или 43,7 %. Всего по республиканским конкурсам подано 365 заявок (или 53,7 % от общего количества поданных), по международным – 315 (46,3 %). По научным направлениям заявки распределились следующим образом: ФМИ – 133 (19,6 %), ТН –

65 (9,5 %), ХНЗ – 82 (12,1 %), МФН – 66 (9,7 %), АБН – 138 (20,3 %), ОГН – 196 (28,8 %); по министерствам и ведомствам следующим образом: НАН Беларуси – 265 (39,0 %), Минобразования – 309 (45,4 %), Минздрав – 55 (8,1 %), другие – 51 (7,5 %). Из регионов Республики Беларусь подано 32,0 % от общего количества заявок.

\* \* \*

В целом в 2016 году БРФФИ работал стабильно. В отчетном году активно развивалось международное научное сотрудничество Фонда. Проводилась работа по расширению регионального сотрудничества Фонда с областями Беларуси, с приграничными областями Беларуси и России. В частности, велась работа с Витебским областным исполнительным комитетом по организации проведения совместного конкурса по решению актуальных региональных проблем.

На основании сложившейся практики проведения государственной научной экспертизы проектов БРФФИ согласно действующему порядку функционирования единой системы государственной научной и государственной научно-технической экспертиз, а также в целях дальнейшего совершенствования порядка функционирования единой системы государственных экспертиз и экспертной деятельности БРФФИ в Исполнительной дирекции разработаны предложения по внесению изменений и дополнений в Положение о порядке функционирования единой системы государственной научной и государственной научно-технической экспертиз, утвержденное постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 мая 2015 г. № 431, и в постановление Кабинета Министров Республики Беларусь от 3 апреля 1996 г. № 236 «Аб пераўтварэнні Фонду фундаментальных даследаванняў Рэспублікі Беларусь у Беларускі рэспубліканскі фонд фундаментальных даследаванняў», которые в апреле 2016 г. направлены в Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь и использованы им при подготовке соответствующего проекта постановления Правительства Республики Беларусь.

Велась работа по обновлению и актуализации информации, содержащейся в базе «Эксперты», ввод данных по новым экспертам, привлеченным для рецензирования поступивших на конкурсы заявок. На сегодняшний день в этой базе имеются данные о 3559 экспертах. Продолжали пополняться информационно-поисковые базы проектов и грантов финансовой поддержки, а также электронная библиотека отчетов, куда были занесены заключительные отчеты завершенных в 2016 году проектов. В настоящее время база данных БРФФИ содержит информацию по более чем 18390 заявкам и около 7930 принятым проектам.

В отчетном году продолжена модернизация автоматизированной информационной системы Фонда, частично обновлена материально-техническая база Исполнительной дирекции БРФФИ.

# ***ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК***

Совет Международной ассоциации академий наук

## **ПОСТАНОВЛЕНИЕ**

28 сентября 2016 г.

№ 259

г. Минск

### **Об основных итогах деятельности МААН в 2011–2016 гг.**

Заслушав доклад президента Международной ассоциации академий наук (далее – МААН, Ассоциация) академика НАН Украины Б. Е. Патона «Об основных итогах деятельности МААН в 2011–2016 гг.», выступления руководителей делегаций, в частности о трансформации науки и образования в постсоветских странах, совершенствовании работы Ассоциации, Совет МААН отмечает следующее.

В 2011–2016 гг. Ассоциация внесла весомый вклад в укрепление и развитие научных связей между учеными стран СНГ, Грузии и Вьетнама.

Продолжали плодотворно осуществлять свою деятельность научные советы и иные общественные структуры, созданные МААН. Среди них: Научный совет по новым материалам, Объединенный научный совет по фундаментальным географическим исследованиям, Научный совет по проблемам функциональных материалов для электронной техники, Совет директоров научных библиотек и информационных центров национальных академий наук, Совет по книгоизданию, Совет ботанических садов стран СНГ, Международная ассоциация институтов истории стран СНГ, Союз физиологических обществ стран СНГ. Возобновлена работа Консультативного совета по вопросам охраны интеллектуальной собственности и передачи технологий (теперь уже на базе НАН Беларуси). По предложениям академий наук Азербайджана, Армении и Молдовы создано пять новых советов, для которых указанные академии наук являются базовыми. Плодотворно функционирует под эгидой МААН международный научный общественно-политический журнал «Общество и экономика».

Продолжалось сотрудничество ученых по реализации проектов по международным программам в области астрономии и в области радиобиологии. Успешно завершена программа «Астрономия в Приэльбрусье. 2010–2014 гг.», сформирована и выполняется новая программа «Астрономия в Приэльбрусье. 2015–2019 гг.».

Международная программа стран СНГ «Современные проблемы радиобиологии: наука и практика» объединяет радиобиологические исследования, проводимые в академиях наук и университетах Азербайджана, Армении, Беларуси, Грузии, Казахстана, Кыргызстана, России и Украины.

В 2012–2016 гг. Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, Российский гуманитарный научный фонд, Российский фонд фундаментальных исследований проводили двусторонние конкурсы с академиями наук и организациями, входящими в МААН, по отбору лучших совместных научно-исследовательских проектов ученых Армении, Беларуси, Вьетнама, Кыргызстана, России и Украины и оказывали им финансовую поддержку на паритетной основе.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова и Московский физико-технический институт (государственный университет) осуществляли для ряда стран СНГ целевую подготовку кадров высокой квалификации.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» совместно с Институтом кристаллографии имени А. В. Шубникова РАН и в сотрудничестве с Объединенным институтом ядерных исследований провели в 2012 г. V Высшие курсы стран СНГ для молодых ученых, аспирантов и студентов старших курсов по современным методам наносистем и материалов.

Объединенный институт ядерных исследований широко и торжественно отметил в этом году свое 60-летие. В связи с этим в 2015–2016 гг. им были проведены Дни Объединенного института ядерных исследований в Грузии, Украине, Молдове и Казахстане, в которых приняла участие делегация этого Института.

МААН оказала поддержку ряду академий наук в их непростых взаимоотношениях с властными структурами. За отчетный период соответствующие обращения Ассоциации направлялись в адрес руководителей Молдовы и России. Вместе с тем в СНГ продолжают процессы структурной реорганизации академий наук, в частности, лишения их научных учреждений. Вслед за Российской академией наук уже в 2016 году такой реорганизации подверглась Академия наук Республики Узбекистан, ряд научных учреждений которой выводятся из состава Академии и передаются, в основном, университетам.

МААН успешно взаимодействовала с ЮНЕСКО. Важным событием стало получение Ассоциацией в 2012 г. консультативного статуса в отношениях с ЮНЕСКО. В Киеве в 2013 и 2015 гг. при финансовой поддержке ЮНЕСКО были проведены два крупных международных научных симпозиума.

За отчетный период состоялось четыре заседания Совета МААН: два в Киеве и по одному в Москве и Ашгабаде. Базовыми организациями выступили академии наук Украины, Туркменистана и Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». Заседание в Ашгабаде было проведено в 2012 г. совместно с Советом Евразийской ассоциации университетов.

В центре внимания МААН также находились вопросы интеграции науки и образования, безвалютный обмен книжно-журнальной продукцией, организация

и проведение летних школ молодых ученых, повышение научного просвещения общественности, издательская деятельность.

Вместе с тем деятельность МААН не лишена недостатков. Далеко не все, что намечается Ассоциацией, удастся реализовать. Не растет число членов Ассоциации. Целесообразно расширить сферу деятельности МААН и привлечь к работе в ней организации других стран мира. Требуется решения вопрос регистрации Ассоциации со статусом юридического лица.

Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Принять к сведению доклад президента МААН академика НАН Украины Б. Е. Патона «Об основных итогах деятельности МААН в 2011–2016 гг.».

2. Одобрить итоги работы МААН в 2011–2016 гг.

Отметить весомый вклад Ассоциации за прошедшее пятилетие в реализации таких проблем и направлений: успешное выполнение международных научных программ в области астрономии и радиобиологии; плодотворную работу научных советов МААН, значительное расширение их сети, а также числа академий наук, выполняющих для научных советов роль базовых академий; конструктивное взаимодействие организаций – ассоциированных членов МААН с академиями наук; реализацию ряда важных масштабных мероприятий по подготовке кадров высокой квалификации и поддержке молодых ученых; продолжающееся на постоянной основе тесное сотрудничество с ЮНЕСКО, которая предоставила МААН консультативный статус, оказывала финансовую поддержку крупным международным симпозиумам, проведенным под эгидой МААН в Киеве.

3. Считать целесообразным:

– продолжать предпринимать необходимые меры по проведению диалога с властными структурами стран, академии наук которых входят в Ассоциацию, с целью защиты интересов науки и ученых, эффективного использования научного потенциала для модернизации национальных экономик;

– развивать партнерские отношения с Евразийской ассоциацией университетов (ЕАУ) (президент – академик РАН В. А. Садовничий), в частности, проработать с этой целью вопрос проведения совместного заседания Совета МААН и Совета ЕАУ;

– разработать комплекс мер и мероприятий, направленных на повышение эффективности деятельности Ассоциации, осуществления ее модернизации и адаптации к современным условиям. Просить академии наук и организации – ассоциированные члены направить свои предложения в аппарат Совета МААН;

– подготовить и издать бюллетени МААН, содержащие уставы академий наук, а также основные законы и нормативные акты, регламентирующие функционирование сферы науки, взаимодействие науки и образования.

4. С целью информирования широких кругов общественности о МААН, истории ее создания и деятельности рекомендовать академиям наук опубликовать в средствах массовой информации и академических изданиях на националь-

ных языках статьи президента МААН академика НАН Украины Б. Е. Патона «Межакадемическое сотрудничество: как это было» (Независимая газета от 24.06.2015 г.) и «Международная ассоциация академий наук: два десятилетия консолидации ученых на постсоветском пространстве» (журнал «Вопросы истории естествознания и техники», 2015 г., т. 36, № 3).

5. Довести данное решение Совета МААН до сведения научной общественности стран, академии наук которых входят в Ассоциацию.

Заместитель Председателя  
Президиума Национальной  
академии наук Беларуси

С. Я. Килин

Совет Международной ассоциации академий наук

## ПОСТАНОВЛЕНИЕ

28 сентября 2016 г.

№ 260

г. Минск

### О Научном совете по геодезии и геофизике

Постановлением Совета МААН от 20.10.2015 № 253 принято решение о создании ряда новых советов при МААН, в том числе поддержано предложение Национальной академии наук Азербайджана о создании Научного совета по геодезии и геофизике (далее – Научный совет).

С целью оперативной организации работы Научного совета его состав 20 апреля 2016 г. был в рабочем порядке утвержден президентом МААН академиком НАН Украины Б. Е. Патонем.

Принимая во внимание результаты работы, проведенной за прошедший период, по уточнению состава Научного совета и с целью создания условий для обеспечения его деятельности, Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить состав Научного совета по геодезии и геофизике при МААН (прилагается).

2. Председателю Научного совета академику НАН Азербайджана Ф. А. Кадирову в месячный срок представить в аппарат Совета МААН на утверждение Положение о Научном совете по геодезии и геофизике при МААН.

3. Просить НАН Азербайджана осуществлять организационно-техническое обеспечение работы Научного совета.

Заместитель Председателя Президиума  
Национальной академии наук Беларуси

С. Я. Килин

Приложение  
к постановлению Совета МААН  
от 28 сентября 2016 г. № 260

### СОСТАВ

#### Научного совета по геодезии и геофизике при МААН

КАДИРОВ  
Фахраддин  
Абульфат оглы

– академик-секретарь Отделения наук о Земле НАН Азербайджана, академик НАН Азербайджана, тел.: (+994 50) 3405850; (+994 12) 4920679; (+994 12) 5392193, e-mail: kadirovf@gmail.com, fakhraddin.kadirov@science.az **председатель Научного совета**

АГАЕВА  
Солмаз Тофик  
гызы – ведущий научный сотрудник Института геологии и геофизики, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, тел.: (+994 50) 3492568; (+994 12) 5100141 (256), e-mail: dr.solmaz.agayeva@gmail.com, **ученый секретарь Научного совета**

#### Члены Научного совета:

##### *От Национальной академии наук Азербайджана*

БАБАЕВ  
Гулам Рустам оглы – Президиум НАН Азербайджана, ведущий научный сотрудник, доктор философии по геолого-минералогическим наукам, доцент, тел.: (+994 50) 3904075; (+994 12) 5100141 (256), e-mail: babayev74@gmail.ru, dir@science.az

МАМЕДОВ  
Самир Касум оглы – ведущий научный сотрудник Института геологии и геофизики НАН Азербайджана, кандидат геолого-минералогических наук, тел.: (+994 50) 3123258; (+994 12) 5372291, e-mail: samirmammadov70@gmail.com

САФАРОВ  
Рафик Тофиг оглы – ведущий научный сотрудник Института геологии и геофизики НАН Азербайджана, доктор философии по наукам о Земле, тел.: (+994 50) 678368; (+994 12) 4975283, e-mail: rafiqsafarov@gmail.com

ГАДИРОВ  
Азер Гамид оглы – ведущий научный сотрудник Института геологии и геофизики НАН Азербайджана, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, тел.: (+994 50) 4652039; (+994 12) 5105619, e-mail: azer.kadirov@gmail.com

КАЗЫМОВ  
Ильяс Эльдар оглы – ведущий научный сотрудник Института геологии и геофизики НАН Азербайджана, доктор философии по наукам о Земле, тел.: (+994 50) 2260296; (+994 12) 5105360, e-mail: ilyask.kinometrics@gmail.com

ШИХАЛИЕВ  
Юсиф – главный геофизик, заместитель начальника Управления геологии и геофизики Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики, доктор физико-математических наук, тел.: (+994 50) 2162886; (+994 12) 5210404, e-mail: yusif.shikhaliyev@socar.az

АЛИЕВ  
Чингиз Саид оглы – руководитель отдела Института геологии и геофизики НАН Азербайджана, член-корреспондент НАН Азербайджана, профессор, тел.: (+994 50) 6434777; (+994 12) 5393481, e-mail: radiometry@gia.ab.az

МУХТАРОВ  
Абдулвахаб  
Шариф оглы – руководитель отдела «Геотермия» Института геологии и геофизики НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, тел.: (+994 55) 8183518; (+994 12) 5100141 (152), e-mail: azabdulvahab.mukhtarov@gmail.com

**От Национальной академии наук Беларуси**

СЕРОГЛАЗОВ – заместитель директора государственного учреждения  
Рустям Рызванович «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси», кандидат физико-математических наук, тел. (+375 17) 3698859, e-mail: centr@cgm.org.by

**От Академии наук Молдовы**

АЛКАЗ – директор Института геологии и сейсмологии АН Молдовы, доктор хабилитат физико-математических наук, тел. (+373 22) 723608, факс (+373 22) 739729, e-mail: alcazv@gmail.com

**От Российской академии наук**

ГВИШИАНИ – директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Геофизического центра РАН, академик РАН, доктор физико-математических наук, тел. (+7 495) 9300546, факс (+7 495) 9300506; e-mail: gvi@gcras.ru

СОЛОМИНА – директор ФГБУН Института географии РАН, член-корреспондент РАН, доктор географических наук; тел. (+7 405) 9590032, факс (+7 495) 9590033, e-mail: olgasolomina@vandex.ru

КАФТАН – главный научный сотрудник ФГБУН Геофизического центра РАН, доктор технических наук; тел. (+7 495) 9305509; факс (+7 495) 9300506; e-mail: v.kaftan@gcras.ru; kaftan@geod.ru

ДЗЕБОЕВ – старший научный сотрудник ФГБУН Геофизического центра РАН, кандидат физико-математических наук, тел. (+7 495) 9300546, факс (+7 495) 9300506, e-mail: b.dzeboev@gcras.ru

МЕДВЕДЕВ – заведующий лабораторией ФГБУН Института географии РАН, кандидат географических наук, тел. (+7 495) 9593849, факс (+7 495) 9590033, e-mail: a.a.medvedeff@gmail.com

**От Академии наук Республики Таджикистан**

КАРИМОВ – заведующий лабораторией комплексных геофизических исследований Института геологии, сейсмического строительства и сейсмологии АН РТ, доктор физико-математических наук, профессор

САЛОМОВ – ведущий научный сотрудник лаборатории комплексных исследований Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ, кандидат физико-математических наук

**От Национальной академии наук Украины**

СТАРОСТЕНКО – директор Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, академик НАН Украины, доктор физико-математических наук, профессор, тел/факс (+380 44) 4502520, e-mail: vstar@igph.kiev.ua

Совет Международной ассоциации академий наук

## ПОСТАНОВЛЕНИЕ

28 сентября 2016 г.

№ 261

г. Минск

### **О Научном совете по проблемам геологических опасностей**

Постановлением Совета МААН от 20.10.2015 № 253 принято решение о создании ряда новых советов при МААН, в том числе поддержано предложение Национальной академии наук Азербайджана о создании Научного совета по проблемам геологических опасностей (далее – Научный совет).

С целью оперативной организации работы Научного совета его состав 20 апреля 2016 г. был в рабочем порядке утвержден президентом МААН академиком НАН Украины Б. Е. Патонем.

Принимая во внимание результаты работы, проведенной за прошедший период по уточнению состава Научного совета и с целью создания условий для обеспечения его деятельности, Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить состав Научного совета по проблемам геологических опасностей при МААН (прилагается).
2. Председателю Научного совета члену-корреспонденту НАН Азербайджана Г. Д. Етирмишли в месячный срок представить в аппарат Совета МААН на утверждение Положение о Научном совете по проблемам геологических опасностей при МААН.
3. Просить НАН Азербайджана осуществлять организационно-техническое обеспечение работы Научного совета.

Заместитель Председателя Президиума  
Национальной академии наук Беларуси

С. Я. Килин

Приложение  
к постановлению Совета МААН  
от 28 сентября 2016 г. № 261

## СОСТАВ

### **Научного совета по проблемам геологических опасностей при МААН**

ЕТИРМИШЛИ – генеральный директор Республиканского центра сейсмологической службы НАН Азербайджана, член-корреспондент НАН Азербайджана, тел.: (+994 50) 2230688; (+994 12) 4923437, e-mail: gyetirmishli@gmail.com, **председатель Научного совета**

АБДУЛЛАЕВА – заведующая отделом Республиканского центра сейсмологической службы НАН Азербайджана, **ученый секретарь Научного совета**  
Расима Рашид гызы

#### **Члены Научного совета:**

##### ***От Национальной академии наук Азербайджана***

РЗАЕВ – заместитель генерального директора по научной работе Республиканского центра сейсмологической службы НАН Азербайджана, кандидат физико-математических наук, тел.: (+994 50) 2230686, (+994 12) 4923165, e-mail: azay\_r@yahoo.com  
Азай Гурбат оглы

МАММАДЛИ – Республиканский центр сейсмологической службы НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук  
Тахиб Яхья оглы  
КЕРАМОВА – Республиканский центр сейсмологической службы НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, тел.: (+994 50) 2230684; (+994 12) 4471946, e-mail: keramovar@mail.ru  
Рамида Агадаш гызы

КАЗЫМОВ – Республиканский центр сейсмологической службы НАН Азербайджана, доктор философии по наукам о Земле, тел.: (+994 50) 2260296, (+994 12) 5105360, e-mail: ilyask.kinometrics@gmail.com  
Ильяс Эльдар оглы

##### ***От Национальной академии наук Беларуси***

КАРАБАНОВ – директор государственного научного учреждения «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», академик НАН Беларуси, тел. (+375 17) 2672632, e-mail: nature@ecology.basnet.by  
Александр Кириллович

АРОНОВА – заведующая отделом государственного учреждения «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси», кандидат геолого-минералогических наук, тел. (+375 17) 3698859, e-mail: tatyana@cgm.org.by  
Татьяна Ивановна

##### ***От Академии наук Молдовы***

НИКОАРА – заместитель директора Института геологии и сейсмологии АН Молдовы, доктор геолого-минералогических наук, тел. (+373 22) 739081, факс (+373 22) 739729, e-mail: nicoara-igor@gmail.com  
Игорь Николаевич

##### ***От Российской академии наук***

БОРТНИКОВ – научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, тел. (+7 499) 2308424, факс (+7 495) 9511587; e-mail: bns@igem.ru  
Николай Стефанович

- МАЛОВИЧКО  
Алексей  
Александрович – директор ФГБУН Геофизическая служба РАН, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, тел. (+7 495) 9126872, факс (+7 484) 3956366, e-mail: amal@gsras.ru
- СОЛОВЬЕВ  
Александр  
Анатольевич – директор ФГБУН Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, член-корреспондент РАН, тел. (+7 495) 3334513; факс (+7 495) 3334124, e-mail: soloviev@mitp.ru
- ГОРДЕЕВ  
Евгений Ильич – директор ФГБУН Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, тел. (+7 4152) 298408; факс (+7 415) 2297717; e-mail: gordeev@ksnet.ru

***От Академии наук Республики Таджикистан***

- ОДИНАЕВ  
Саид Одинаевич – вице-президент Академии наук Республики Таджикистан, председатель Отделения физико-математических, химических, геологических и технических наук АН РТ, академик АН Республики Таджикистан, доктор физико-математических наук, тел.: (+992 37) 2216991, (+992 91) 8196604, e-mail: odsb42@mail.ru
- БАБАЕВ  
Али Максумович – ведущий научный сотрудник лаборатории региональной сейсмологии Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ, кандидат геолого-минералогических наук
- ИЩУК  
Анатолий  
Ростиславович – заведующий лабораторией оценки сейсмической опасности и геоэкологии Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ, кандидат геолого-минералогических наук
- ШВАРЦ  
Александр  
Васильевич – старший научный сотрудник лаборатории оценки сейсмической опасности и геоэкологии Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ, кандидат геолого-минералогических наук

***От Национальной академии наук Украины***

- КЕНДЗЕРА  
Александр  
Владимирович – заместитель директора Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, член-корреспондент НАН Украины, доктор физико-математических наук, профессор, тел/факс (+380 44) 4238143, e-mail: kendzera@igph.kiev.ua

Совет Международной ассоциации академий наук

## ПОСТАНОВЛЕНИЕ

28 сентября 2016 г.

№ 262

г. Минск

### **О Международном совете по биотехнологии и биоразнообразию**

Постановлением Совета МААН от 20.10.2015 № 253 принято решение о создании ряда новых советов при МААН, в том числе поддержано предложение Национальной академии наук Республики Армения о создании Международного совета по биотехнологии и биоразнообразию (далее – Международный совет).

С целью оперативной организации работы Международного совета его состав 20 апреля 2016 г. был в рабочем порядке утвержден президентом МААН академиком НАН Украины Б. Е. Патонем.

Принимая во внимание результаты работы, проведенной за прошедший период по уточнению состава Международного совета и с целью создания условий для обеспечения его деятельности, Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить состав Международного совета по биотехнологии и биоразнообразию при МААН (прилагается).
2. Председателю Международного совета члену-корреспонденту НАН Республики Армения Э. С. Геворкяну в месячный срок представить в аппарат Совета МААН на утверждение Положение о Международном совете по биотехнологии и биоразнообразию при МААН.
3. Просить НАН Республики Армения осуществлять организационно-техническое обеспечение работы Международного совета.

Заместитель Председателя  
Президиума Национальной  
академии наук Беларуси

С. Я. Килин

Приложение  
к постановлению Совета МААН  
от 28 сентября 2016 г. № 262

## СОСТАВ

### Международного совета по биотехнологии и биоразнообразию при МААН

- ГЕВОРКЯН – декан факультета биологии Ереванского государственного университета, главный редактор Биологического журнала Армении, член-корреспондент НАН Республики Армения, доктор биологических наук, профессор, тел.: (+374 60) 710503, 714503, e-mail: biology@ysu.am, **председатель Международного совета**
- Эмиль Сосович
- ОГАНЕСЯН – заведующая лабораторией Научно-производственного центра «Армбиотехнология» НАН Республики Армения, кандидат биологических наук, тел. (+374 10) 654180, e-mail: nelliog@yahoo.fr, **ученый секретарь Международного совета**
- Нелли  
Александровна

#### Члены Международного совета:

##### *От Национальной академии наук Республики Армения*

- АРЗУМАНЯН – руководитель департамента международного научно-технического сотрудничества НАН Республики Армения, тел. (+374 10) 525432, e-mail: tarznip@sci.am
- Тигран
- ОГАНЕСЯН – заведующий лабораторией Научно-производственного центра «Армбиотехнология» НАН Республики Армения, доктор биологических наук, профессор, тел. (+374 10) 654180, e-mail: hhov@sci.am
- Грачья  
Гарегинович

##### *От Национальной академии наук Беларуси*

- КИЛЬЧЕВСКИЙ – главный ученый секретарь Национальной академии наук Беларуси, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, тел. (+375 17) 2841777, e-mail: kilchev@presidium.bas-net.by
- Александр  
Владимирович
- БУДЕВИЧ – начальник Республиканского центра по биотехнологии в животноводстве республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», кандидат сельскохозяйственных наук, тел. (+375 175) 22184, e-mail: budevich7388100@mail.ru
- Александр  
Иванович
- КОЛОМИЕЦ – генеральный директор государственного научно-производственного объединения «Химический синтез и биотехнологии» – директор государственного научного учреждения «Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси», член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, тел. (+375 17) 2659946, e-mail: kolomiets@mbio.bas-net.by
- Эмилия  
Ивановна

**От Национальной академии наук Кыргызской Республики**

- ТОКТОРАЛИЕВ – вице-президент НАН Кыргызской Республики, председатель Южного отделения НАН Кыргызской Республики, академик Баймырза Айтиевич НАН КР, тел. (+996 312) 392046, e-mail: interdep\_nas@mail.ru, temirkulkyzy91@mail.ru
- ЖУНУШОВ – директор Института биотехнологии НАН КР, член-корреспондент НАН КР, доктор ветеринарных наук, профессор, тел.: Асанкадыр Темирбекович (+996 312) 392014, (+996 312) 641955, e-mail: junusho@mail.ru
- ДЖЕНБАЕВ – директор Биолого-почвенного института НАН КР, доктор биологических наук, профессор, тел.: Бекмамат Мурзакматович (+996 312) 392068, (+996 312) 391947, e-mail: bekmanat2002@mail.ru

**От Академии наук Молдовы**

- ДУКА – ректор Университета АН Молдовы, академик АН Молдовы, Мария доктор хабилитат, профессор, тел. (+373 22) 738016, e-mail: Васильевна mduca2000@yahoo.com
- РУДИК – директор Института микробиологии и биотехнологии Валерий Филиппович АН Молдовы, академик АН Молдовы, доктор хабилитат, тел.: (+373 22) 739878, (+373 69) 406368, e-mail: acadrudic@yahoo.com

**От Российской академии наук**

- ТИХОНОВИЧ – директор ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии», академик РАН, доктор биологических наук, Игорь Анатольевич тел. (+7 812) 4762801, факс (+7 812) 4704362, e-mail: arriam2008@yandex.ru
- ХАРЧЕНКО – директор ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии», академик РАН, доктор биологических наук, Петр Николаевич тел. (+7 495) 9766544, факс (+7 495) 9770947, e-mail: kharchenko@iab.ac.ru
- ЗИНОВЬЕВА – директор ФГБНУ «ВНИИ животноводства им. Л. К. Эрнста», Наталья Анатольевна академик РАН, доктор биологических наук, тел. (+7 4967) 651163, факс (+7 4967) 651101, e-mail: n\_zinovieva@mail.ru
- БОРОНИН – директор Федерального государственного учреждения науки Института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина РАН, член-корреспондент РАН, тел.: Александр Михайлович (+7 495) 9563370, (+7 4967) 732677, e-mail: boronin@ibpm.pushchino.ru
- ВАСИЛЬЕВ – директор Федерального государственного учреждения науки Института биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН, доктор Андрей Валентинович биологических наук, тел. (+7 499) 1353322, e-mail: 113162@bk.ru
- ГАЛЬЧЕНКО – научный руководитель направления ФГУ «Федеральный Валерий Федорович исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, член-корреспондент РАН, тел. (+7 499) 1352139, e-mail: valgalch@inmi.host.ru

- КАРПОВ** – заместитель директора Федерального государственного учреждения науки Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, доктор технических наук, тел.: (+7 499) 1357473, (+7 916) 6938852, e-mail: wtc-karpov@rambler.ru  
Валерий  
Анатольевич
- КИРПИЧНИКОВ** – декан биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, академик РАН, тел. (+7 495) 9392776, e-mail: kirpichnikov@inbox.ru  
Михаил  
Петрович
- КОСТРОВ** – директор Федерального государственного учреждения науки Института молекулярной генетики РАН, член-корреспондент РАН, тел. (+7 499) 1960000, e-mail: kostrov@img.ras.ru  
Сергей  
Викторович
- КУЗНЕЦОВ** – директор Федерального государственного учреждения науки Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, член-корреспондент РАН, тел. (+7 499) 9779400, e-mail: vlkuzn@ippras.ru  
Владимир  
Васильевич
- КУЛИКОВ** – заместитель директора Федерального государственного учреждения науки Института биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН, доктор биологических наук, тел. (+7 916) 7591744, e-mail: amkulikov@gmail.com  
Андрей  
Михайлович
- МИРОШНИКОВ** – заместитель директора Федерального государственного учреждения науки Института биоорганической химии им. академиком М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН, академик РАН, тел. (+7 495) 3305874, e-mail: aiv@ibch.ru  
Анатолий  
Иванович
- МОВСЕСЯН** – главный научный сотрудник Федерального государственного учреждения науки Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, академик НАН Республики Армения, тел. (+7 495) 9544971, e-mail: movsesyan@list.ru  
Сергей  
Оганесович
- ПОПОВ** – директор ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, член-корреспондент РАН, тел. (+7 495) 9523441, e-mail: vpopov@inbi.ras.ru  
Владимир  
Олегович
- СКРЯБИН** – научный руководитель ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, академик РАН, тел. (+7 499) 1353050, e-mail: biengi@biengi.ac.ru  
Константин  
Георгиевич
- УШАКОВА** – заведующая лабораторией инновационных технологий Федерального государственного учреждения науки Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, доктор биологических наук, тел. (+7 495) 6330820, e-mail: naushakova@gmail.com  
Нина  
Александровна

***От Академии наук Республики Таджикистан***

- ХИСОРИЕВ** – директор Института ботаники, физиологии и генетики растений АН Республики Таджикистан, академик АН Республики Таджикистан, доктор биологических наук, тел.: (+992 37) 2244357, (+992 935) 0550235, e-mail: hhikmat@mail.ru  
Хикмат  
Хисориевич

**От Академии наук Республики Узбекистан**

АБДУРАХМОНОВ – директор Центра геномики и биоинформатики АН Республики Узбекистан, доктор биологических наук, профессор, Юлчиевич тел. (+998 71) 2605170, факс (+998 71) 2605170; e-mail: genomics@uzsci.net

ТОЖИБАЕВ – директор Института генофонда растительного и животного Комилжон го мира АН Республики Узбекистан, доктор биологических Шаробитдинович наук, тел. (+998 71) 2890465; факс (+998 71) 2627938, e-mail: botany@uzsci.net

**От Национальной академии наук Украины**

КОМИСАРЕНКО – академик-секретарь Отделения биохимии, физиологии и молекулярной биологии НАН Украины, директор Института биохимии им. А. В. Палладина НАН Украины, академик НАН Украины, академик Национальной академии медицинских наук Украины, тел.: (+380 44) 2344799, 2345974, e-mail: svk@biochem.kiev.ua

ЕЛЬСКАЯ – директор Института молекулярной биологии и генетики Анна НАН Украины, академик НАН Украины, тел. (+380 44) 5261169, Валентиновна e-mail: elskaya@imbg.org.ua

ПОДГОРСКИЙ – директор Института микробиологии и вирусологии Валентин им. Д. К. Заболотного НАН Украины, академик НАН Украины, Степанович тел. (+380 44) 5261179, e-mail: Podgorsky@serv.imv.kiev.ua

БЛЮМ – директор Государственного учреждения «Институт пищевой Ярослав биотехнологии и геномики НАН Украины», академик НАН Борисович Украины, тел. (+380 44) 4343777, e-mail: office.ifbg@nas.gov.ua

СИБИРНЫЙ – директор Института биологии клетки НАН Украины, академик Андрей НАН Украины, тел. (+380 32) 2612148, e-mail: sibirny@cellbiol.lviv.ua Андреевич

КУЧУК – директор Института клеточной биологии и генетической Николай инженерии НАН Украины, член-корреспондент НАН Украины, Викторович тел. (+380 44) 5221786, e-mail: nkuchuk@icbge.org.ua

Совет Международной ассоциации академий наук

## ПОСТАНОВЛЕНИЕ

28 сентября 2016 г.

№ 263

г. Минск

### **О Научном совете по изучению национального и культурного наследия и развития общества**

Постановлением Совета МААН от 20.10.2015 № 253 принято решение о создании ряда новых советов при МААН, в том числе поддержано предложение Академии наук Молдовы о создании Научного совета по изучению национального и культурного наследия и развития общества (далее – Научный совет).

С целью оперативной организации работы Научного совета его состав 20 апреля 2016 г. был в рабочем порядке утвержден президентом МААН академиком НАН Украины Б. Е. Патонем.

Принимая во внимание результаты работы, проведенной за прошедший период по уточнению состава Научного совета и с целью создания условий для обеспечения его деятельности, Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить состав Научного совета по изучению национального и культурного наследия и развития общества при МААН (прилагается).
2. Сопредседателям Научного совета Т. Зайковской и В. Гилашу в месячный срок представить в аппарат Совета МААН на утверждение Положение о Научном совете по изучению национального и культурного наследия и развития общества при МААН.
3. Просить АН Молдовы осуществлять организационно-техническое обеспечение работы Научного совета.

Заместитель Председателя  
Президиума Национальной  
академии наук Беларуси

С. Я. Килин

Приложение  
к постановлению Совета МААН  
от 28 сентября 2016 г. № 263

### СОСТАВ

#### Научного совета по изучению национального и культурного наследия и развития общества при МААН

- ДЭНИЛЭ** – ведущий научный сотрудник отделения аудиовизуальных искусств Института культурного наследия АН Молдовы, Председатель Союза музыкантов РМ, доктор хабилитат искусствоведения, тел.: (+373 22) 270048, (+373 22) 270602, e-mail: aurelian@gmail.com, **сопредседатель Научного совета**
- ЗАЙКОВСКАЯ** – заведующая отделом этнологии русских Центра этнологии Института культурного наследия АН Молдовы, доктор филологических наук, тел.: (+373 22) 271353, (+373 794) 52987, e-mail: tanzai57@mail.ru, **сопредседатель Научного совета**
- КОНДРАТИКОВА** – ученый секретарь Института культурного наследия АН Молдовы, доктор искусствоведения, тел.: (+373 22) 270602, (+373 699) 65832, e-mail: liliana.condrativova@mail.ru, patrimoniul.cultural.asm@gmail.com, **ученый секретарь Научного совета**

#### Члены Научного совета:

##### *От Национальной академии наук Беларуси*

- ЛОКОТКО** – директор государственного научного учреждения «Центр исследований белорусской культуры, языка и литературы Национальной академии наук Беларуси», академик НАН Беларуси, доктор исторических наук, доктор искусствоведения, тел. (+375 17) 2842921, e-mail: bel-centre@bas-net.by
- ЛАЗАРЕВИЧ** – директор государственного научного учреждения «Институт философии Национальной академии наук Беларуси», кандидат философских наук, тел. (+375 17) 2840718, e-mail: institute.philosophy@outlook.com

##### *От Национальной академии наук Кыргызской Республики*

- АКМАТАЛИЕВ** – вице-президент НАН КР, академик НАН Кыргызской Республики, тел. (+996 312) 392023, e-mail: interdep\_nas@mail.ru

##### *От Академии наук Молдовы*

- ГИЛАШ** – директор Института культурного наследия АН Молдовы, доктор хабилитат искусствоведения, тел.: (+373 22) 260957, (+373 699) 27186, e-mail: ghilasvictor@yahoo.com

- ЦВИРКУН Виктор – координатор отделения гуманитарных наук АН Молдовы, доктор хабилитат педагогических наук, тел. (+373 79) 700400, e-mail: tvircun\_victor@yahoo.com
- БУЗИЛЭ Варвара – ученый секретарь Национального музея этнографии и естественной истории Министерства культуры Республики Молдова, доктор наук, тел.: (+373 22) 245409, (+373 696) 42755, e-mail: buzila.varvara@gmail.com
- ВОРНИК Владимир – старший научный сотрудник Института культурного наследия АН Молдовы, директор Национального агентства по археологии, доктор исторических наук, тел.: (+373 22) 225426, (+373 685) 76999, e-mail: vornic.vlad@yahoo.com

**От Российской академии наук**

- БАГНО Всеволод Евгеньевич – директор Института русской литературы (Пушкинский Дом) РАН, член-корреспондент РАН, доктор филологических наук, тел. (+7 812) 3281140, e-mail: irliran@mail.ru
- ИВАНЧИК Аскольд Игоревич – научный руководитель отдела сравнительного изучения древних цивилизаций Института всеобщей истории РАН, член-корреспондент РАН, доктор исторических наук, тел. (+7 495) 9381912, e-mail: ivantchik@u-bordeaux3.fr
- ПОПОВА Ирина Фёдоровна – директор Института восточных рукописей РАН, доктор исторических наук, тел. (+7 812) 3158728, e-mail: popova@mail.ru

**От Академии наук Республики Таджикистан**

- ОЛИМОВ Караматулло Олимович – вице-президент Академии наук Республики Таджикистан, председатель Отделения общественных наук АН РТ, академик АН Республики Таджикистан, доктор философских наук, тел.: (+992 37) 2275480, (+992 90) 7702115, e-mail: olimovk\_2007@mail.ru

**От Национальной академии наук Украины**

- БОРИСЕНКО Валентина Кирилловна – заведующая Архивными научными фондами рукописей и фонозаписей Института искусствоведения, фольклористики и этнологии им. М. Ф. Рильского НАН Украины, доктор исторических наук, тел.: (+980 44) 2781290, (+380 50) 2760269, e-mail: valbor45@ukr.net
- МОЦЯ Александр Петрович – заведующий отделом древнерусской и средневековой археологии Института археологии НАН Украины, доктор исторических наук, профессор, член-корреспондент НАН Украины, тел. (+380 50) 3581905

Совет Международной ассоциации академий наук

## ПОСТАНОВЛЕНИЕ

28 сентября 2016 г.

№ 264

г. Минск

### **О Научном совете по энергоэффективности и использованию возобновляемых источников энергии**

Постановлением Совета МААН от 20.10.2015 № 253 принято решение о создании ряда новых советов при МААН, в том числе поддержано предложение Академии наук Молдовы о создании Научного совета по энергоэффективности и использованию возобновляемых источников энергии (далее – Научный совет).

С целью оперативной организации работы Научного совета его состав 20 апреля 2016 г. был в рабочем порядке утвержден президентом МААН академиком НАН Украины Б. Е. Патонем.

Принимая во внимание результаты работы, проведенной за прошедший период по уточнению состава Научного совета и с целью создания условий для обеспечения его деятельности, Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Утвердить состав Научного совета по энергоэффективности и использованию возобновляемых источников энергии при МААН (прилагается).
2. Сопредседателям Научного совета В. П. Берзану и М. С. Тыршу в месячный срок представить в аппарат Совета МААН на утверждение Положение о Научном совете по энергоэффективности и использованию возобновляемых источников энергии при МААН.
3. Просить АН Молдовы осуществлять организационно-техническое обеспечение работы Научного совета.

Заместитель Председателя  
Президиума Национальной  
Академии наук Беларуси

С. Я. Килин

Приложение  
к постановлению Совета МААН  
от 28 сентября 2016 г. № 264

## СОСТАВ

### Научного совета по энергоэффективности и использованию возобновляемых источников энергии при МААН

- БЕРЗАН Владимир Петрович – заместитель директора по науке Института энергетики АН Молдовы, доктор хабилитат технических наук, тел. (+373 22) 735384, e-mail: berzan@ie.mail.ru, **сопредседатель Научного совета**
- ТЫРШУ Михаил Степанович – директор Института энергетики АН Молдовы, доктор хабилитат технических наук, тел. (+373 22) 735386, e-mail: mtirsu@gmail.com, **сопредседатель Научного совета**
- БЫКОВА Елена Витальевна – ведущий научный сотрудник Института энергетики АН Молдовы, доктор технических наук, тел. (+373 22) 735386, e-mail: elena-bicova@mail.ru, **ученый секретарь Научного совета**

#### Члены Научного совета:

##### *От Национальной академии наук Беларуси*

- КАПУСТИН Николай Федорович – заведующий лабораторией использования топливно-энергетических ресурсов республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», кандидат технических наук, тел. (+375 44) 7142954, e-mail: npcter@yandex.ru
- ВАСИЛЕВИЧ Сергей Владимирович – заведующий лабораторией «Возобновляемая энергетика» республиканского научно-производственного унитарного предприятия «Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси», кандидат технических наук, тел. (+375 29) 5023083, e-mail: svasilevich@yandex.ru
- ЦИЛИБИНА Валентина Михайловна – заведующая сектором эффективности использования минерально-сырьевых ресурсов государственного научного учреждения «Институт экономики Национальной академии наук Беларуси», кандидат технических наук, тел. (+375 17) 2840921, e-mail: minres@economics.basnet.by

##### *От Национальной академии наук Кыргызской Республики*

- ЖУМАЛИЕВ Кубанычбек Мырзабекович – директор Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР, академик НАН КР, тел. (+996 312) 391926, e-mail: physics.kg@gmail.com

**От Академии наук Молдовы**

- ДУЛГЕРУ Валерий – заведующий кафедрой основы проектирования машин Технического университета Молдовы, доктор хабилитат технических наук, тел. (+373 22) 509939, e-mail: dulgheru@mail.utm.ru
- КАНЦЕР Валерий Георгиевич – председатель Национального совета по аккредитации и аттестации Республики Молдова, доктор хабилитат, академик АН Молдовы, тел. (+373 22) 296271, e-mail: canter@cnaa.md
- ПОГОРА Виктор – декан факультета энергетики и электроинженеринга Технического университета Молдовы, доктор технических наук, тел. (+373 22) 234187, e-mail: pogora.victor@mail.utm.md
- ПОЙСИК Михаил Федорович – ведущий научный сотрудник Национального института экономических исследований АН Молдовы, тел. (+373 79) 136961, e-mail: poisic@rambler.ru
- БЕРЗАН Владимир Петрович – заместитель директора по науке Института энергетики АН Молдовы, доктор хабилитат технических наук, тел. (+373 22) 735384, e-mail: berzan@ie.mail.ru
- СТРАТАН Михаил – директор Агентства по энергетической эффективности при Министерстве экономики Республики Молдова, тел. (+373 22) 310332, e-mail: mihail.stratan@aee.md

**От Российской академии наук**

- ПОПЕЛЬ Олег Сергеевич – заместитель директора Объединенного института высоких температур Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, тел. (+7 495) 4842374, e-mail: O\_popel@oivtran.ru

**От Академии наук Республики Таджикистан**

- АХМЕДОВ Хаким Мунавварович – заместитель директора по научной работе Центра инновационного развития науки и научных технологий Академии наук Республики Таджикистан, академик АН Республики Таджикистан, доктор химических наук, тел.: (+992 37) 2213567, (+992 93) 5873329, e-mail: khakim48@mail.ru

**От Академии наук Республики Узбекистан**

- ЗАХИДОВ Ромэн Абдуллаевич – заведующий лабораторией Института энергетики и автоматизации АН Республики Узбекистан, академик АН РУз, доктор технических наук, профессор, тел. (+998 71) 2620921; факс (+998 71) 2620919, e-mail: rzakhidov@mail.ru

**От Национальной академии наук Украины**

- КУДРЯ Степан Александрович – директор Института возобновляемой энергетики НАН Украины, доктор технических наук, тел/факс (+380 44) 2062809, e-mail: kudrya@ive.org.ua, renewable@ukr.net
- ВАСЬКО Петр Федосеевич – ведущий научный сотрудник Института возобновляемой энергетики НАН Украины, доктор технических наук, тел/факс (+380 44) 2062809, e-mail: hydro@ive.org.ua, renewable@ukr.net

Совет Международной ассоциации академий наук

## ПОСТАНОВЛЕНИЕ

28 сентября 2016 г.

№ 265

г. Минск

### **О поддержке деятельности журнала «Общество и экономика»**

Совет Международной ассоциации академий наук рассмотрев информацию о работе журнала «Общество и экономика» (далее – журнал) за пятилетний период, отмечает, что в журнале получают освещение вопросы развития социально-экономических систем стран, академии наук которых входят в МААН, результаты и перспективы совершенствования экономик этих стран, проблемы трансформации форм их взаимодействия и повышения его эффективности, а также другие аспекты исследований ученых по стратегическим направлениям развития и текущей практике указанных стран.

Журнал успешно содействует обмену опытом ученых академий наук – членов МААН по актуальным теоретическим и практическим проблемам современного этапа социально-экономического развития стран.

Весомый вклад вносит Российская академия наук в обеспечение успешной деятельности журнала «Общество и экономика».

Совет МААН отмечает существенное значение журнала для научного сотрудничества стран, представленных в его редколлегии, его роль в информировании научной общественности о результатах соответствующих научных исследований, привлечении внимания к опыту этих стран, в инициировании новых научных постановок дискуссионного характера.

Совет Международной ассоциации академий наук постановляет:

1. Одобрить деятельность международной редколлегии и редакции журнала «Общество и экономика», которые осуществляют весомый вклад в развитие и укрепление международного научного сотрудничества ученых-экономистов.

2. Считать целесообразным продолжить выпуск журнала «Общество и экономика» с учетом накопленного опыта.

3. Просить Российскую академию наук продолжать поддерживать издание «Общество и экономика».

Заместитель Председателя  
Президиума Национальной  
академии наук Беларуси

С. Я. Килин

## **МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ**

*Е. Т. ТИТОВА*

### **СОТРУДНИЧЕСТВУ БЕЛОРУССКИХ И АРМЯНСКИХ УЧЕНЫХ – НОВЫЙ ИМПУЛЬС**

*Исполнительная дирекция БРФФИ*

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ) в своей деятельности уделяет первостепенное внимание международному сотрудничеству и реализует его во многих направлениях. Одним из них является доказавшее свою плодотворность и эффективность сотрудничество с Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения (ГКНА). Значительные преимущества тесного взаимодействия с зарубежными коллегами очевидны. Фонд стремится создавать максимально благоприятные условия для этого, а значит, для активной интеграции белорусских ученых в международное научное сообщество.

Сотрудничество с армянскими коллегами имеет богатые традиции (как и в целом с учеными стран СНГ) и в рамках конкурсов БРФФИ начало развиваться со второй половины 2010 г. 28 сентября в Ереване был подписан протокол восьмого заседания Межправительственной Армяно-Белорусской комиссии по торгово-экономическому сотрудничеству. По пункту «О сотрудничестве в области науки и инновационной деятельности» комиссия приняла важное решение: подписать до конца года Соглашение о научно-техническом сотрудничестве между БРФФИ и ГКНА. Такое Соглашение было заключено 4 ноября 2010 г. Одновременно были подписаны 2 документа:

Порядок проведения конкурсов научных проектов в рамках Соглашения, регламентирующий процедуру объявления конкурса научных проектов и экспертизы поданных заявок, а также механизм отбора проектов для финансирования и порядок их финансирования.

Протокол договоренности о сроках проведения конкурса проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно коллективами армянских и белорусских ученых в 2011–2013 гг.

1 декабря 2010 г. был объявлен первый совместный конкурс «БРФФИ–ГКНА-2011», вызвавший большой интерес у белорусских и армянских ученых: на конкурс поступило 29 заявок. Из них: 6 – по биологическим, медицинским и аграрным наукам; 3 – по гуманитарным наукам; 1 – по техническим; 14 – по физико-математиче-

ским наукам и 5 – по химическим наукам и наукам о Земле. Конкурс охватил широкий круг научных направлений, что дало возможность наиболее полно выявить взаимный интерес в предполагаемых исследованиях и их актуальность. К этим направлениям относятся следующие:

- математика, механика и информатика;
- физика и астрономия;
- химия;
- биология и медицинская наука;
- науки о человеке и обществе;
- науки о Земле;
- информационные технологии и вычислительные системы;
- фундаментальные основы инженерных наук.

Проекты отличались многоплановостью и были хорошо обоснованы по целеобразности выполнения совместных работ, демонстрировали высокую взаимодополняемость. Вне рамок конкурса обсуждался вопрос и проводились мероприятия по созданию Международной научной лаборатории на озере Севан (координаторы: с белорусской стороны – Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, с армянской – Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН Армении). Ученые этого профиля активно участвовали в конкурсе «БРФФИ–ГКНА-2011».

По результатам экспертизы принято совместное решение по отбору проектов на финансирование, которое было начато 1 июля 2011 г. Поддержку получили 17 проектов. Из них: 3 – по биологическим, медицинским и аграрным наукам; 2 – по гуманитарным наукам; 9 – по физико-математическим наукам и 3 – по химическим наукам и наукам о Земле.

В марте 2014 г. все проекты были успешно завершены. Анализ результатов исследований по закончившимся проектам показал их высокую научную и практическую значимость. Среди них можно отметить следующие.

Изучена генетическая гетерогенность и таксономический статус труднодифференцируемых групп экспансивных насекомых-фитофагов на фоне рецессивных изменений климата. Обнаружена высокая пластичность морфометрических признаков, что может являться предпосылкой для эффективного осуществления инвазий насекомых-вредителей (проект Б11АРМ-015, Белорусский государственный университет совместно с Научным центром зоологии и гидроэкологии НАН Армении).

Выполнен анализ теоретико-методологических основ интернационализации субъектов рынка Беларуси и Армении по привлечению, адаптации и внедрению новых технологий в экономические системы двух стран (проект Г11АРМ-003, Институт экономики НАН Беларуси совместно с Институтом экономики имени М. Котаняна НАН Армении).

В перспективном направлении научного обоснования фотодинамической терапии изучены молекулярные зонды на основе новых водорастворимых порфиринов: исследованы их фотофизические свойства и специфические взаимодействия с белками и нуклеиновыми кислотами (проект Ф11АРМ-017, Институт

физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси совместно с Институтом биохимии им. Г. Бунятына НАН Армении).

Исследованы фотовольтаические параметры многослойных наноструктур, используемых для разработки солнечных элементов третьего поколения. Получены действующие образцы солнечных элементов на разработанной в Армении дешевой перлитовой подложке (проект Ф11АРМ-025, Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси совместно с Институтом радиофизики и электроники НАН Армении).

Изучена роль низкомолекулярных антиоксидантов экстрактов и эфирных масел в формировании и функционировании защитной системы растений. Наибольшая антиоксидантная активность выявлена в экстрактах из листьев полыни обыкновенной (Армения) и листьев клевера (Беларусь) в условиях модельной системы (проект Х11АРМ-001, Институт химии новых материалов НАН Беларуси совместно с Горисским государственным университетом).

В феврале 2013 г. между сторонами был подписан протокол договоренности о проведении второго совместного конкурса «БРФФИ–ГКНА-2014». Конкурс был объявлен с окончательным сроком приема заявок 15 октября 2013 г. На него было подано 36 заявок и отобрано для финансирования 17 проектов. Из них по аграрно-биологическим наукам поступило 9, профинансировано 5; по гуманитарным наукам – 4/1; по техническим – 4/3; по физико-математическим наукам – 11/5; по химическим наукам и наукам о Земле – 6/3 и по медико-фармацевтическим наукам – 2 (обе отклонены). В марте 2016 г. все выполнявшиеся проекты были успешно завершены.

В качестве примеров высокой значимости достигнутых результатов можно привести следующие.

Научно обоснована возможность применения пролинсодержащих нейропептидов гипоталамуса и атриопептидов предсердий с целью контроля ноцицептивных реакций в норме и их коррекции при патологических состояниях (проект Б14АРМ-013, Институт физиологии НАН Беларуси совместно с Институтом биохимии им. Г. Бунятына НАН Армении).

Оценены продукционные возможности и ресурсный потенциал длиннопалого рака водоемов Беларуси и Армении. Предложены методы сохранения популяций данного вида (проект Б14АРМ-002, Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам совместно с Институтом гидроэкологии и ихтиологии Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН Армении).

На примере Беларуси и Армении изучены теоретико-методологические основы расширения Таможенного союза как фактор повышения экономической конкурентоспособности стран-участниц (проект Г14АРМ-007, Белорусский национальный технический университет совместно с Армянским государственным экономическим университетом).

Для получения композиционных материалов инструментального назначения исследованы механизмы межфазового взаимодействия «алмаз (кубический

нитрид бора)–оксидный расплав» и разработаны новые варианты технологических процессов (проект T14APM-009, Физико-технический институт НАН Беларуси совместно с Институтом общей и неорганической химии НАН Армении).

Осуществлен синтез различных образцов нанокompозитов металл–углерод с суперпарамагнитными, однодоменными и многодоменными ферромагнитными наночастицами. Изучены структура и магнитные свойства полученных нанокompозитов (проект Ф14АРМ-020, Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению совместно с Институтом физических исследований НАН Армении).

Разработаны методы оптимизации функциональных и структурных описаний логических КМОП схем с целью снижения энергопотребления цифровых СБИС (проект Ф14АРМ-005, Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси совместно с Государственным инженерным университетом Армении (Политехник)).

Разработаны способы получения биологически активных веществ, обладающих антимикробными свойствами, для борьбы с инфекционными заболеваниями сельскохозяйственных животных и домашней птицы (проект X14АРМ-025, Институт физико-органической химии НАН Беларуси совместно с Научно-производственным центром «Армбиотехнология» НАН Армении).

Высокую научно-практическую значимость завершенных белорусско-армянских проектов убедительно иллюстрирует тот факт, что их значительная часть получила развитие в государственных программах научных исследований и государственных научно-технических программах, в межгосударственных целевых программах, программах Союзного государства. Это инициировало появление новых многообещающих научных направлений. Разработки ученых используются также в хозяйственных, внедрены в образовательный процесс. Подготовленные по ряду проектов методические рекомендации предложены заинтересованным организациям и ведомствам.

Осенью 2016 года был проведен третий совместный конкурс с окончательным приемом заявок 14 ноября. Конкурс собрал 59 заявок, подтверждая растущий интерес ученых обеих стран к тесному научному сотрудничеству. Из них по аграрно-биологическим наукам поступило 15 проектов, по гуманитарным и общественным наукам – 14; по техническим – 7; по физико-математическим наукам – 15; по химическим наукам и наукам о Земле – 6 и по медико-фармацевтическим наукам – 2. В январе 2017 г. прошедшие предварительный отбор проекты направлены на государственную научную экспертизу.

Следует отметить, что во всех трех конкурсах наиболее активное участие приняли следующие организации: Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Белорусский государственный университет, Институт экономики НАН Беларуси, Белорусский государственный экономический университет, Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Институт химии новых

материалов НАН Беларуси, Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Институт энергетики НАН Беларуси. А по выполнявшимся проектам отмечалась высокая интенсивность взаимных визитов партнеров с целью проведения совместных исследований, обсуждения полученных результатов, обмена опытом.

Потенциал развития сотрудничества БРФФИ с Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения значителен, взаимодействие ученых весьма продуктивно, что неоднократно отмечалось сторонами на официальном уровне. Можно прогнозировать возрастание масштабности сотрудничества и создание новых направлений и форм деятельности, что сделает совместные фундаментальные исследования и инновационный процесс в проектах белорусских ученых и их армянских партнеров еще более плодотворными и результативными, в том числе в рамках созданной в июле 2016 г. Евразийской ассоциации поддержки научных исследований (ЕАПИ). Среди ее учредителей значатся БРФФИ, Государственный комитет по науке Министерства образования и науки Республики Армения, а также Национальная академия наук Республики Армения. Участие белорусских и армянских ученых в международных многосторонних проектах ЕАПИ, учитывая накопленный опыт, весьма перспективно как в плане получения новых научных знаний, так и в плане их практической реализации.

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 614.843.27

А. Н. КАМЛЮК, А. В. ГРАЧУЛИН

### ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРОРЕЗИНЕННЫХ РУКАВНЫХ ЛИНИЙ ПЕНОГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

(Поступила в редакцию 20.02.2017)

*В результате анализа экспериментальных данных выявлена эмпирическая зависимость для определения приведенного коэффициента гидравлического трения от значения газосодержания в практически значимом диапазоне от 0 до 0,9. Предложена инженерная методика гидравлического расчета прорезиненных рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом, в основу которой положена квазигомогенная модель движения газожидкостных смесей. Корректность методики проверена посредством сопоставления результатов экспериментальных и расчетных данных.*

**Введение.** Как известно, основным огнетушащим веществом является вода. Однако она обладает низкой смачивающей способностью, вследствие чего быстро стекает с горящих объектов, и значительная ее часть не участвует в процессе тушения. Повысить эффективность применения воды для тушения пожаров можно путем добавления пенообразователя (ПО), что позволяет из раствора получить воздушно-механическую пену низкой кратности. Она широко используется при тушении пожаров на промышленных предприятиях, складах нефти и нефтепродуктов, а также при дорожно-транспортных происшествиях.

Для получения воздушно-механической пены низкой кратности используют воздушно-пенные стволы, комбинированные стволы с пенными насадками, проточные пеногенераторы, а в автоматических установках пожаротушения – пенные оросители. Для этого к данным устройствам по рукавным линиям или трубопроводам подводят раствор воды и ПО, а генерирование пены происходит непосредственно в устройствах.

Альтернативным средством получения пены низкой кратности являются пеногенерирующие системы со сжатым воздухом (ПССВ), которые состоят из трех основных элементов: пожарного насоса, воздушного компрессора и системы

дозирования ПО. Главным отличием ПССВ является то, что вода, воздух и ПО смешиваются непосредственно в рукавной линии, и по ней к очагу пожара подается не жидкий раствор воды и ПО, а компрессионная пена [1].

Среди основных тактико-технических характеристик насосных установок выделяют предельную дальность и высоту подачи огнетушащих веществ. Данные параметры определяются посредством гидравлического расчета рукавных линий, в результате которого находят потери давления по формуле

$$\Delta p = \Delta p_{уд} l, \quad (1)$$

где  $\Delta p_{уд}$  – удельные потери давления в рукавной линии;  $l$  – длина рассматриваемой рукавной линии.

Причем в практике расчетов используют известные значения удельного сопротивления напорных пожарных рукавов, определенные эмпирически для случая движения по ним воды. Однако в составе компрессионной пены присутствует воздух, сжимаемость которого приводит к изменению плотности и скорости потока по длине рукавной линии, в то время, как в случае движения воды они принимаются постоянными. Это обстоятельство указывает на невозможность использования существующей методики гидравлического расчета рукавных линий для случая движения по ним компрессионной пены.

**Модель движения газожидкостной смеси.** Очевидно, что движение компрессионной пены по рукавным линиям является двухфазным газожидкостным потоком. Простейшей моделью газожидкостного потока в трубах является квазигомогенная, введенная Г. Лоренцем [2]. Сущность модели заключается в том, что смесь компонентов считается гомогенной средой, в которой скорости фаз равны, причем в приводимых далее выражениях параметры с нижним индексом 1 относятся к воздуху, 2 – раствору воды и ПО. С учетом этого допущения уравнения неразрывности и движения принимают вид, аналогичный однофазному потоку, а его характеристики определяются с учетом газосодержания:

уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho U) = 0, \quad (2)$$

уравнение движения

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} = -g\rho \sin \alpha - \frac{\partial p}{\partial x} - \tau_{ст} \frac{\Pi}{S}, \quad (3)$$

уравнение состояния

$$\frac{p}{\rho_1} = RT, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность газожидкостной смеси;  $t$  – время;  $x$  – продольная координата;  $U$  – скорость потока;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha$  – угол наклона продольной оси канала к горизонтали;  $p$  – давление в канале;  $\tau_{ст}$  – касательное напря-

жение сил трения на внутренней поверхности канала;  $\Pi$  – периметр канала;  $S$  – площадь поперечного сечения канала;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура газа.

Характеристики гомогенной среды определяются следующими зависимостями [3]:

газосодержание

$$\varphi_1 = \frac{S_1}{S} = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}, \quad (5)$$

плотность

$$\rho = \rho_1\varphi_1 + \rho_2\varphi_2, \quad (6)$$

динамическая вязкость

$$\mu = \mu_1\varphi_1 + \mu_2\varphi_2, \quad (7)$$

скорость

$$U = \frac{G_1 + G_2}{S\rho}, \quad (8)$$

где  $S_1, S_2$  – части площади поперечного сечения канала, занятые газом и жидкостью соответственно (так как  $S = S_1 + S_2$ , то  $\varphi_2 = 1 - \varphi_1$ );  $Q_1, Q_2$  – объемные расходы газа и жидкости соответственно;  $G_1, G_2$  – массовые расходы газа и жидкости соответственно, причем

$$G_1 = \rho_1 Q_1, \quad (9)$$

$$G_2 = \rho_2 Q_2. \quad (10)$$

Помимо этого, характер движения газожидкостных смесей определяется следующими критериями [4]:

числом Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu}, \quad (11)$$

числом Фруда

$$Fr = \frac{U^2}{gD}, \quad (12)$$

приведенной плотностью

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1}{\rho_2}. \quad (13)$$

где  $D$  – диаметр канала.

Для замыкания уравнений (2)–(4) необходимо определить касательное напряжение сил трения на внутренней поверхности канала. По аналогии с однофазным потоком его выражают через коэффициент гидравлического трения газожидкостной смеси

$$\tau_{\text{ст}} = \frac{\lambda_{\text{см}}}{8} \rho U^2, \quad (14)$$

где  $\lambda_{\text{см}}$  – коэффициент гидравлического трения газожидкостной смеси, значение которого определяют по известным эмпирическим зависимостям от числа Рейнольдса и относительной шероховатости [2–4].

**Анализ экспериментальных данных.** С целью определения возможности применения квазигомогенной модели для разработки методики гидравлического расчета прорезиненной рукавной линии ПССВ проведены экспериментальные исследования движения компрессионной пены в ней [5; 6]. Рукавная линия состояла из 6 напорных рукавов с внутренним диаметром 51 мм и была проложена линейно на горизонтальной поверхности. Между рукавами для фиксации характера изменения давления были установлены 6 рукавных вставок с преобразователями давления. Такое количество рукавных вставок связано с предположением, что падение давления по длине рукавной линии не будет линейным, как при движении воды, в меру изменения плотности и скорости движения потока. Таким образом, исследовался линейный горизонтальный участок рукавной линии, заключенный между рукавными вставками, длиной около 100 м. Эксперименты проводились при различных расходах раствора воды и ПО из диапазона от 1 до 4 л/с, постоянном массовом расходе воздуха (20 л/с при атмосферном давлении), диаметрах насадка пожарного ствола 13, 19 и 24 мм, а также с использованием трех различных марок ПО: ОПС-0.4, Синтек, Барьер-пленкообразующий.

В результате экспериментальных исследований были определены зависимости удельных потерь давления в рукавной линии при движении по ним компрессионной пены от объемного расхода раствора воды и ПО (рис. 1) для различных значений диаметров насадка пожарного ствола.

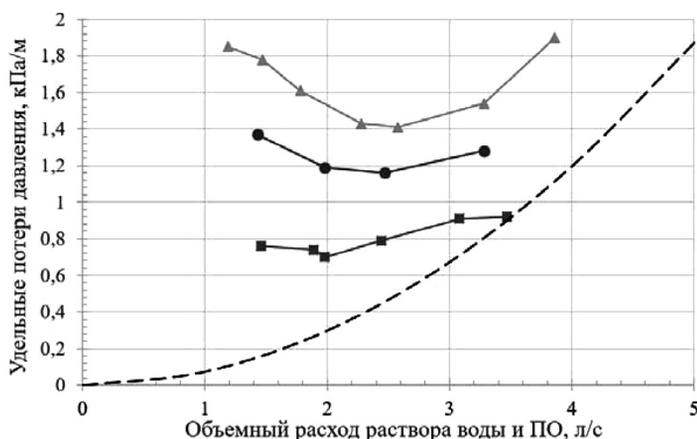


Рис. 1. Зависимость удельных потерь давления от объемного расхода воды и ПО для рукавной линии с внутренним диаметром 51 мм. Диаметр насадка: □ – 13 мм; ○ – 19 мм; △ – 24 мм; – – – – – зависимость, соответствующая движению воды

Как видно на рис. 1, значение удельных потерь давления выше в случае движения по рукавной линии компрессионной пены, чем в случае движения воды. При равных объемных частях жидкости в обоих случаях поток компрессионной пены будет занимать больший объем, так как в нем еще присутствует воздух. При равенстве внутреннего диаметра канала это обуславливает увеличение скорости потока компрессионной пены и, как следствие, в соответствии с выражением (14) рост значения потерь энергии на трение и удельных потерь давления.

Сопоставление графиков для случая движения компрессионной пены (рис. 1) при использовании насадков с различными диаметрами указывает на то, что значение удельных потерь давления при одинаковом объемном расходе раствора воды и ПО растет с увеличением диаметра насадка. Это может являться следствием изменения структуры потока [4]. Увеличение диаметра насадка пожарного ствола приводит к уменьшению его местного сопротивления, что обуславливает падение давления во всей рукавной линии и, как следствие, уменьшение степени сжатия воздуха. Расширение воздуха в канале сокращает живое сечение потока раствора воды и ПО и увеличивает газосодержание в двухкомпонентной смеси. При условии постоянства объемного расхода раствора воды и ПО это обуславливает ускорение потока компрессионной пены и увеличение удельных потерь давления.

По полученным значениям избыточного давления в рукавной линии, а также известным значениям расходов компонентов компрессионной пены с использованием уравнений (2)–(13) определены основные характеристики потока. В табл. 1 приведены результаты для одной серии эксперимента.

Исходя из значений характеристик потока компрессионной пены по диаграммам структур газожидкостных потоков [4] определено, что поток компрессионной пены в рукавной линии имеет вспененную структуру.

Т а б л и ц а 1. Основные характеристики потока компрессионной пены при объемном расходе раствора воды и ПО 1,47 л/с и диаметре насадка пожарного ствола 13 мм

Характеристика потока	№ рукавной вставки					
	1	2	3	4	5	6
Массовый расход смеси $G_{см}$ , кг/с	1,49					
Объемный расход воздуха в канале $Q_1$ , л/с	5	5,19	5,4	5,62	5,85	6,12
Плотность воздуха в канале $\rho_{возд}$ , кг/м <sup>3</sup>	4,8	4,62	4,45	4,27	4,1	3,92
Объемный расход раствора воды и ПО $Q_2$ , л/с	1,47					
Объемный расход смеси $Q_{см}$ , л/с	6,47	6,66	6,87	7,09	7,32	7,59
Средняя скорость смеси $U$ , м/с	3,17	3,26	3,36	3,47	3,59	3,72
Газосодержание $\varphi$	0,77	0,78	0,79	0,79	0,8	0,81
Плотность смеси $\rho_{см}$ , кг/м <sup>3</sup>	230,29	223,72	216,89	210,16	203,55	196,31
Динамическая вязкость смеси $\mu_{см}$ , 10 <sup>-3</sup> Па·с	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,2
Число Рейнольдса Re	155129	161720	168938	169055	177467	186220
Число Фруда Fr	20,1	21,2	22,6	24,1	25,8	27,7
Приведенная плотность	0,0048	0,0046	0,0045	0,0043	0,0041	0,0039

Для определения коэффициента гидравлического трения, соответствующего результатам экспериментальных исследований, уравнение движения (3) преобразовано к виду

$$\Delta p = \frac{4}{D} \tau_{\text{ст}} l.$$

С учетом уравнений (1) и (14) определяется искомый коэффициент гидравлического трения  $\lambda_{\text{эксп}}$

$$\lambda_{\text{эксп}} = \Delta p_{\text{уд}} \frac{2D}{\rho U^2}. \quad (15)$$

Эти значения коэффициента сопоставлены с рассчитанными по формуле Альтшуля (табл. 2)

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{D} \right)^{0,25}, \quad (16)$$

так как значения числа Рейнольдса для всех серий эксперимента находятся в диапазоне 120000–270000. В уравнении (16) использовано обозначение  $\Delta$  – эквивалентная шероховатость внутренней поверхности канала.

Т а б л и ц а 2. Сопоставление коэффициентов гидравлического трения при объемном расходе раствора воды и ПО 1,47 л/с и диаметре насадка пожарного ствола 13 мм

Наименование параметра	№ рукавной вставки					
	1	2	3	4	5	6
Коэффициент по Альтшулю	0,0197	0,0196	0,0195	0,0195	0,0194	0,0193
Экспериментальный коэффициент	0,0326	0,0317	0,0308	0,0298	0,0288	0,0278
Отличие, %	65	62	58	53	48	44

Отличия экспериментально определенных коэффициентов с рассчитанными по формуле Альтшуля достигают 350 %, т. е. использование классических зависимостей расчета коэффициента гидравлического трения по числу Рейнольдса и относительной шероховатости неприемлемо. В связи с этим необходимо определить эмпирическую зависимость коэффициента гидравлического трения от одной или нескольких характеристик потока компрессионной пены в рукавной линии.

**Определение приведенного коэффициента гидравлического трения.** Из уравнения (15) выражена величина удельных потерь давления и проведены преобразования с учетом уравнений (6), (8)–(10):

$$\Delta p_{\text{уд}} = \lambda \frac{\rho U^2}{2D} = \lambda \frac{\rho_1 \varphi + \rho_2 (1 - \varphi)}{2D} \left( \frac{4Q_2}{\pi D^2 (1 - \varphi)} \right)^2 = \frac{8\rho_2}{\pi^2 D^5} \frac{\lambda}{(1 - \varphi)} Q_2^2. \quad (17)$$

В уравнении (17)  $\rho_1 \varphi \ll \rho_2 (1 - \varphi)$ , что позволяет пренебречь этим членом.

По аналогии с классической методикой гидравлического расчета рукавных линий в уравнении (17) множитель перед объемным расходом раствора воды и ПО является удельным сопротивлением рукавной линии, которое запишется как

$$A = \frac{8\rho_2}{\pi^2 D^5} \frac{\lambda}{(1-\varphi)}. \quad (18)$$

Отношение коэффициента гидравлического трения к газосодержанию в уравнениях (17) и (18) можно обозначить как приведенный коэффициент гидравлического трения газожидкостной смеси

$$\lambda_{\text{прив}} = \frac{\lambda}{(1-\varphi)}.$$

На рис. 2 приведены его зависимости от определяющих факторов газожидкостного потока [4]: числа Рейнольдса, числа Фруда, приведенной плотности и газосодержания. Каждая кривая представляет собой результаты анализа отдельно взятых серий эксперимента на длине рукавной линии 100 м с различными объемными расходами раствора воды и ПО при разных диаметрах насадка пожарного ствола.

При анализе графиков рис. 2 не выявлены зависимости приведенного коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса, числа Фруда и приведенной плотности, так как линии, соответствующие каждой серии измерений, в своем большинстве выстраиваются по вертикали друг над другом, причем в широких диапазонах значений определяющих факторов. Это приводит к тому, что при одном значении числа Рейнольдса или Фруда, а также приведенной плотности существует множество значений приведенного коэффициента гидравлического трения.

Однако очевидной является зависимость приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания. Для ее определения использованы минимальные значения газосодержания для каждой серии измерений. Это связано с дальнейшим применением расчетного метода для определения тактико-технических характеристик ПССВ, которые по схеме боевого развертывания всегда располагаются в начале рукавной линии, что соответствует минимальному значению газосодержания в ней (рис. 3).

На рис. 3 показана зависимость приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания, которую можно аппроксимировать степенной функцией или полиномом 2-го порядка. Стоит отметить, что ПССВ предназначены для генерирования пены низкой кратности (до 20), в связи чем на практике газосодержание компрессионной пены в рукавной линии принимает значение из диапазона 0–0,9. Исходя из этого необходимо определить значение приведенного коэффициента гидравлического трения при газосодержании равном нулю, т. е. в случае движения по рукавной линии воды. Для этого с учетом известного значения

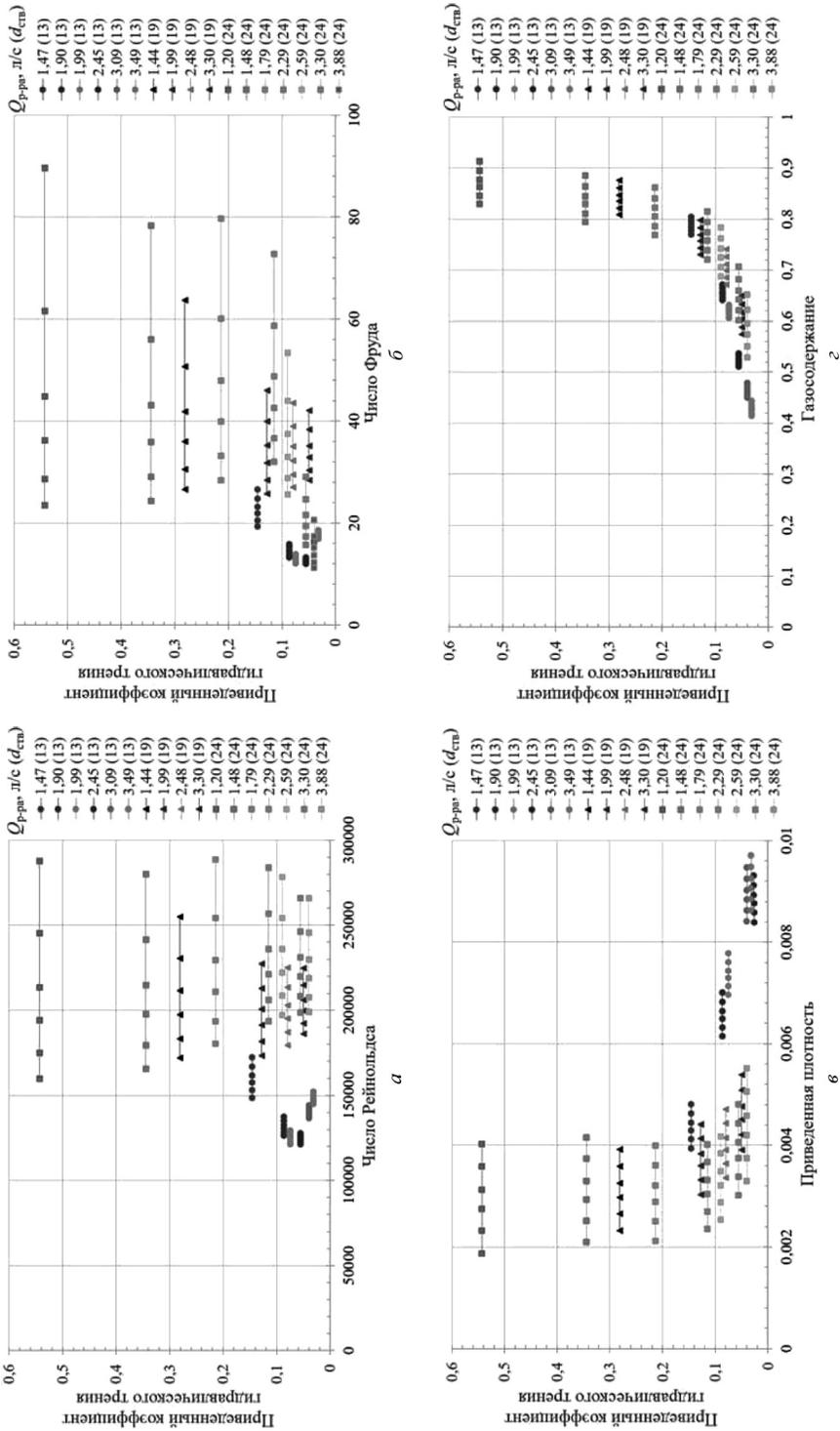


Рис. 2. Зависимость приведенного коэффициента гидравлического трения от определяющих факторов: а – числа Рейнольдса; б – числа Фруда; в – приведенной плотности; г – газосодержания

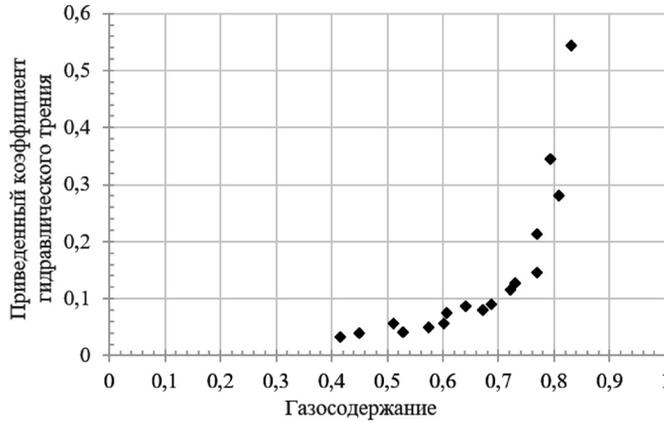


Рис. 3. Зависимость приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания

сопротивления прорезиненного пожарного рукава длиной 20 м с внутренним диаметром 51 мм ( $0,0015 \text{ МПа}\cdot\text{с}^2/\text{л}^2$  [7]) рассчитано удельное сопротивление рукавной линии

$$A = \frac{0,0015}{20} = 75 \cdot 10^{-6} \frac{\text{МПа}\cdot\text{с}^2}{\text{л}^2 \cdot \text{м}} = 75 \cdot 10^{-6} \frac{10^6 \text{Па}\cdot\text{с}^2}{10^{-6} \text{м}^2 \cdot \text{м}} = 75 \cdot 10^6 \frac{\text{Па}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^7}.$$

В соответствии с выражением (18) определен коэффициент гидравлического трения при движении по рукавной линии воды

$$\lambda = \frac{A\pi^2 D^5}{8\rho} = \frac{75 \cdot 10^6 \cdot 3,14^2 \cdot 0,051^5}{8 \cdot 998,2} = 0,032. \tag{19}$$

С учетом полученного в выражении (19) значения  $\lambda$  аппроксимирована зависимость приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания в практически значимом диапазоне 0–0,9 (рис. 4).

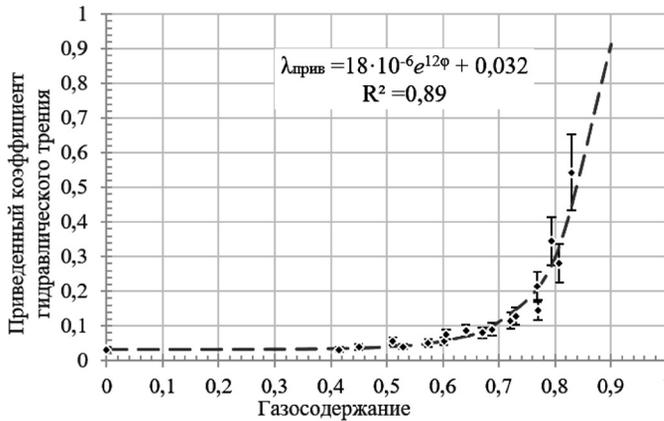


Рис. 4. Зависимость приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания

В результате аппроксимации экспериментальных данных получено выражение для определения приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания

$$\lambda_{\text{прив}} = 18 \cdot 10^{-6} e^{12\varphi} + 0,032.$$

**Инженерная методика гидравлического расчета прорезиненных рукавных линий ПССВ.** Учитывая результаты анализа экспериментальных исследований, разработана инженерная методика гидравлического расчета прорезиненных рукавных линий ПССВ, которая предназначена для оценки избыточного давления в рукавной линии по ее длине.

Исходными данными по методике являются:

- объемный расход воздуха при атмосферном давлении –  $Q_{\text{возд}}$ , м<sup>3</sup>/с;
- объемный расход раствора воды и ПО –  $Q_2$ , м<sup>3</sup>/с;
- диаметр рукавной линии –  $D$ , м;
- длина рукавной линии –  $l$ , м;
- плотность раствора воды и ПО –  $\rho_2$ , кг/м<sup>3</sup>;
- избыточное давление на входе в рукавную линию –  $p_{\text{изб}}$ , Па;
- атмосферное давление –  $p_{\text{атм}}$ , Па.

Для определения избыточного давления в противоположном сечении рассматриваемого участка рукавной линии длиной  $l$  необходимо провести расчеты в следующей последовательности.

1. Определить газосодержание компрессионной пены в начале рукавной линии

$$\varphi = \frac{Q_{\text{возд}} p_{\text{атм}}}{Q_{\text{возд}} p_{\text{атм}} + Q_2 (p_{\text{атм}} + p_{\text{изб}})}.$$

2. Определить приведенный коэффициент гидравлического трения

$$\lambda_{\text{прив}} = 18 \cdot 10^{-6} e^{12\varphi} + 0,032.$$

3. Определить удельные потери давления в рукавной линии

$$\Delta p_{\text{уд}} = \frac{8\rho_2}{\pi^2 D^5} \lambda_{\text{прив}} Q_2^2.$$

4. Определить потери давления на рассматриваемом участке рукавной линии

$$\Delta p = \Delta p_{\text{уд}} l.$$

5. Определить избыточное давление в противоположном сечении рассматриваемого участка рукавной линии

$$p_{\text{изб}}^l = p_{\text{изб}} - \Delta p.$$

Для проверки методики проведены экспериментальные исследования движения компрессионной пены в рукавной линии с внутренним диаметром 38 мм

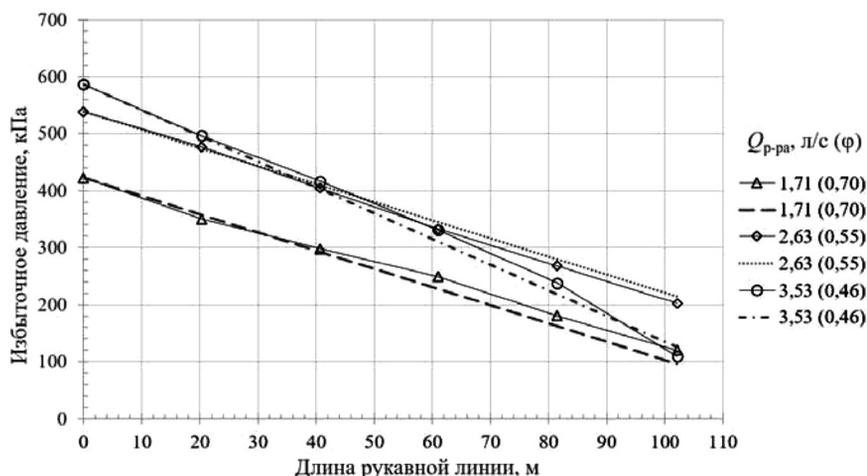


Рис. 5. Экспериментальные и расчетные значения избыточного давления по длине рукавной линии с внутренним диаметром 38 мм при диаметре насадка 24 мм. Δ, ◊, ○, – экспериментальные данные; ---, ·····, -·-·-· расчетные данные

(рис. 5). Далее проведено сравнение значений удельных потерь давления в рукавных линиях, полученных по результатам экспериментальных исследований и результатам расчета с использованием разработанной методики (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Сравнение экспериментальных и расчетных значений удельных потерь давления

Наименование параметра	Значение параметра					
	13 мм			24 мм		
Диаметр насадка ручного пожарного ствола, мм	13 мм			24 мм		
Газосодержание смеси на входе в рукавную линию	0,69	0,58	0,46	0,70	0,55	0,46
Экспериментальное значение удельных потерь давления, кПа/м	1,62	1,68	1,79	2,90	3,33	4,55
Расчетное значение удельных потерь давления, кПа/м	1,92	1,94	2,13	3,19	3,17	4,52
Отличие, %	19	15	19	10	5	1

Из данных табл. 3 видно, что отличие расчетных и экспериментальных значений удельных потерь давления в рукавной линии при движении по ней компрессионной пены составило не более 19 %. Таким образом, разработанная инженерная методика может быть использована для гидравлического расчета рукавных линий ПССВ при движении по ним компрессионной пены, что позволит определять тактико-технические возможности ПССВ.

**Заключение.** Для описания движения компрессионной пены по рукавным линиям использована квазигомогенная модель. Коэффициенты гидравлического трения в диапазоне значений числа Рейнольдса 120000–275000, определенные по формуле Альтшуля, отличаются от значений, соответствующих экспериментальным данным, до 350 %. В следствии этого использование классических за-

висимостей коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса и относительной шероховатости неприемлемо.

Разработана инженерная методика гидравлического расчета прорезиненных рукавных линий ПССВ, в основу которой положена квазигомогенная модель движения газожидкостных смесей и эмпирическая зависимость для определения приведенного коэффициента гидравлического трения от значения газосодержания в практически значимом диапазоне от 0 до 0,9, полученная в ходе анализа экспериментальных данных для рукавной линии с внутренним диаметром 51 мм. Корректность методики проверена посредством сопоставления результатов экспериментальных исследований для рукавной линии с внутренним диаметром 38 мм и разработанной инженерной методики. Отличие составило не более 19 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Ф13М-006).

### Литература

1. *Colletti D. J.* // Fire Engineering, 149. 1996, July. P. 50–52.
2. *Кутателадзе С. С., Стырикович М. А.* Гидродинамика газожидкостных систем. М.: Энергия, 1976. – 296 с.
3. *Островский Г. М.* и др. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. 1. СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 848 с.
4. *Мамаев В. А.* и др. Гидродинамика газожидкостных смесей в трубах. М.: Недра, 1969. – 208 с.
5. *Пармон В. В.* и др. // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2015. № 1 (21). С. 47–53.
6. *Камлюк А. Н., Ширко А. В., Грачулин А. В.* // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2016. № 3. С. 53–59.
7. *Тарасов-Агалаков Н. А.* Практическая гидравлика в пожарном деле. М.: Министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1959. – 264 с.

*A. N. KAMLUK, A. V. GRACHULIN*

### ENGINEERING METHOD OF HYDRAULIC CALCULATION OF RUBBER HOSE LINES OF COMPRESSED AIR FOAM SYSTEM

#### Summary

As a result of analysis of experimental data revealed empirical relationship for determining the reduced coefficient of hydraulic friction on the value of gas content in the practical importance of the range of 0 to 0.9. Proposed engineering method of hydraulic calculation of rubber hose lines of compressed air foam system, which is based on a quasi-homogeneous model of the motion of gas-liquid mixtures. The correctness of the method is checked by comparing the results of experimental and theoretical data.

УДК 636.2.034: 637.116

В. О. КИТИКОВ

## ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ РАБОЧЕГО ВАКУУМНОГО КОНТУРА ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК С УЧЕТОМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЖИВОТНЫХ

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

(Поступила в редакцию 27.01.2017)

*Приведены результаты исследований по созданию нового рабочего вакуумного контура доильных установок, который отличается высокой стабильностью давления в трубопроводах и обеспечивает бесстрессовый режим молоковыведения, что является одним из необходимых условий для физиологически щадящего процесса машинного доения коров, позволяющего увеличить продуктивное долголетие животных и их молочную продуктивность, а также снизить уровень удельных затрат при производстве молока. Повышенная стабильность давления достигнута разработкой специальных принципов проектирования пространственной структуры рабочего вакуумного контура (симметричность, закольцованность, увеличение объема ресиверов, существенное увеличение количества управляемых воздушных клапанов) и построением балансной математической модели массообменных процессов, связанных с движением воздушных и жидкостных потоков, позволившей разработать программное обеспечение для автоматизированного управления величиной давления в рабочем вакуумном контуре.*

**Введение.** Республика Беларусь в силу благоприятных природно-производственных условий является страной с развитой молочной отраслью, обеспечивающей не только собственную продовольственную безопасность, но и устойчивый экспорт молочных продуктов.

Научные исследования конца XX в. и первого десятилетия XXI в., направленные на модернизацию технологий содержания и доения коров, способствовали развитию механизации процесса машинного доения, а также освоению производства отдельных элементов доильного оборудования. В том числе благодаря этому годовой объем производства молока по сравнению с 2000 г. увеличился вдвое, достигнув 6,7 млн т/год, а экспорт молочных продуктов увеличился в 8 раз, превысив 2,5 млрд долл. США/год, что, безусловно, является выдающимся достижением на фоне общей динамики роста мирового молочно-товарного производ-

ства (4-е место в мире по производству молока на душу населения, 16-е место – по темпам роста производства) [1; 2].

Однако несмотря на достаточно высокие количественные результаты, отечественная молочная отрасль характеризуется относительно высоким уровнем затрат основных ресурсов на тонну молока базового качества (в 2–3 раза выше, чем в ЕС) [3]. Кроме того, существует общая для нас и зарубежных производителей проблема – избыточно травмирующий процесс машинного доения, характеризуемый высоким уровнем заболеваемости коров маститом – до 30 %, снижающий молочную продуктивность (количество и качество молочного сырья) животных и их продуктивное долголетие, что не позволяет реализовать генетический потенциал породы [4].

Анализ состояния дел в молочной отрасли позволил сделать вывод, что совершенствование процесса машинного доения в результате простой модернизации невозможно. Эта важнейшая проблема в настоящее время может быть решена только путем инновационной модернизации. В данной работе инновационную модернизацию процесса машинного доения предложено осуществить за счет привлечения новейших знаний из молекулярной биологии и генетики, которые послужили базой для создания физиологически щадящего процесса машинного доения.

Важнейшим условием для организации высокопроизводительного физиологически щадящего процесса машинного доения является бесстрессовый характер этого процесса – отсутствие в крови животных гормона адреналина, блокирующего гормон окситоцина, который обеспечивает комфортное и полное альвеолярное выдаивание. Одним из главных стресспровоцирующих факторов является низкая стабильность давления, особенно в подсосковом пространстве [5; 6]. Нестабильность давления в процессе доения в результате механического и гидродинамического воздействия на вымя вызывает болевое ощущение у животного и сопровождается выделением адреналина со всеми вытекающими отсюда последствиями.

К факторам, вызывающим нестабильность давления, относятся натекание воздуха через негерметичные уплотнения соединений различных узлов контура, резкие скачки давления, возникающие при надевании-съеме доильных стаканов, натекание воздуха через калиброванные отверстия в коллекторе доильного аппарата, позволяющее облегчить транспортировку молока. Кроме того, пульсация давления в рабочем вакуумном контуре вызывает болевое травмирующее воздействие на животных в процессе доения, что приводит к снижению удоя молока, ухудшению его качества (снижение жирности, увеличение числа соматических клеток), увеличению заболеваний маститом и снижению продуктивного долголетия животных, что значительно повышает удельные затраты на производство молочного сырья [7].

Таким образом, анализ литературных данных и собственные многолетние исследования позволяют сделать вывод о том, что важнейшим необходимым условием физиологически щадящего процесса машинного доения является со-

здание рабочего вакуумного контура, характеризуемого высокой стабильностью давления, обеспечивающего бесстрессовый характер машинного доения.

**Материалы и методы исследований.** Рабочий вакуумный контур выполняет две ключевые функции в процессе машинного доения – выведение молока из вымени в коллектор и транспортирование его к месту охлаждения и временного хранения. Рабочий контур представляет собой гидравлическую систему, содержащую несколько типов гидравлических трактов, отличающихся по своим характеристикам. К гидравлическим трактам относятся трубопроводы с однофазным воздушным потоком и трубопроводы, по которым движется двухфазный поток молоковоздушной смеси (молокопроводы); молокосорбники, где, благодаря значительному объему внутреннего пространства, скорость потока стремится к нулю, в связи с чем происходит разделение жидкой и газообразной фаз (молока и воздуха); и доильные стаканы, в которых осуществляется смена тактов сосания и сжатия при молоковыведении.

Важнейшим параметром рабочего вакуумного контура является стабильность давления, определяемая четырьмя характеристиками: градиентом давления по длине трубопроводов (Па/м); временной нестабильностью (Па); амплитудой пульсаций давления, вызываемой надеванием-снятием доильных стаканов (Па) и коэффициентом релаксации этих пульсаций (Па·с).

В настоящее время для большинства белорусских молочных ферм характерно применение доильного оборудования, разработанного в 1960–1970-х годах, которое на сегодняшний день является морально устаревшим. Рабочий вакуумный контур этого оборудования содержит в себе следующие элементы: доильные аппараты, вакуумную систему, систему воздушно-вакуумных и молочно-вакуумных трубопроводов, молокоприемник с системой отделения молока от воздуха и молочным насосом, один ресивер с одним воздушным клапаном мембранного или пружинного принципа действия (рис. 1), необходимым для стабилизации давления в контуре [8–11].

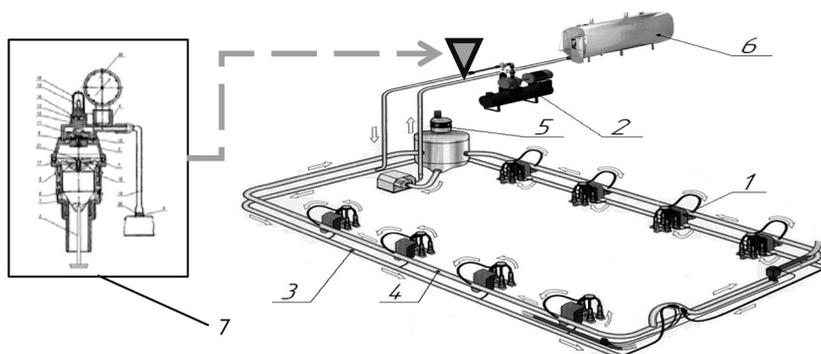


Рис. 1. Схема известного рабочего вакуумного контура: 1 – доильный аппарат; 2 – вакуумный насос; 3 – молокопровод; 4 – вакуумпровод; 5 – молокоприемник с системой отделения молока от воздуха; 6 – ресивер; 7 – воздушный клапан

Известный рабочий контур характеризуется относительно жестким режимом машинного доения. Это является основной причиной сравнительно низких количественных и качественных параметров молока (средний удой по стране  $\approx 4,7$  т/год, жирность 3,2–3,6 %, продуктивное долголетие  $\approx 3$  года), и, самое главное, высокой долей животных, болеющих маститом, – до 30 % и выше, что предопределяет высокие удельные затраты в молочном животноводстве.

Экспериментальные исследования показали, что стабильность давления в известном рабочем вакуумном контуре находится на уровне, не способном обеспечить бесстрессовый характер процесса машинного доения, так как градиент давления составляет 0,1 кПа/м (рис. 2, а), временная нестабильность  $\pm 2$  кПа, величина пульсаций давления 25–45 кПа (рис. 2, б), коэффициент релаксации пульсации давления 16–26 кПа·с (оценка требуемого уровня стабильности показывает, что физиологически щадящий процесс машинного доения реализуется при величине параметров менее 0,03 кПа/м,  $\pm 1$  кПа, 10 кПа, 10 кПа·с соответственно) [12].

Анализ приведенных экспериментальных данных, полученных в результате тестирования известного рабочего вакуумного контура, позволил сделать вывод о том, что стабильность давления в контуре является недостаточной, что приводит к возникновению стресса животных в процессе машинного доения. В частности, градиент давления в контуре приводит к тому, что треть коров в группе выдаивается при давлении разрежения  $\approx 44$  кПа, треть – при  $\approx 46$  кПа, а еще одна треть – при  $\approx 48$  кПа. Так как коровы занимают доильные места случайным образом, то при каждой дойке они выдаиваются при разных значениях давления разрежения. Низкая стабильность давления при машинном доении не позволяет сформировать у животных устойчивый условный рефлекс молоковыведения.

Однако более существенным недостатком известного контура является недопустимо высокая амплитуда пульсации давления до 45 кПа, вызываемая случайным характером начала и окончания доения коров на соседних доильных местах (рис. 2, б). Травмирование вымени животного в результате гидродинамического удара, при котором давление в подсосковом пространстве изменяется от 50 до 95 кПа,

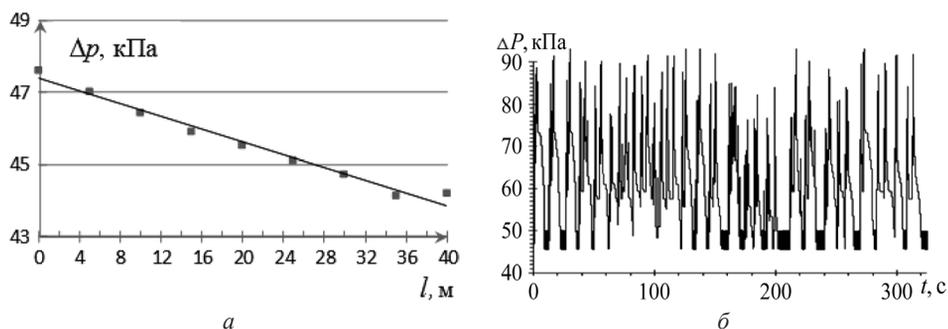


Рис. 2. Динамика изменения давления разрежения в рабочем вакуумном контуре: а – зависимость давления разрежения в трубопроводе от его длины; б – зависимость амплитуды пульсации давления от времени доения

вызывает выброс адреналина, блокирующего комфортный процесс доения, и, как следствие, – снижение удоев и качества молока, неоправданно высокую выбраковку животных из-за мастита.

Одним из мероприятий, направленных на повышение стабильности давления в рабочем вакуумном контуре, является его пространственная структурная организация: симметричность, закольцованность, увеличение объема ресиверов, существенное увеличение количества управляемых воздушных клапанов [12].

Принцип симметричности заключается в расположении двух пар «ресивер–молокоприемник» симметрично относительно центра доильного зала. Симметричность предопределяет равенство давлений в контуре вдоль оси симметрии контура.

Принцип закольцованности позволяет создать замкнутый контур, что дополнительно обеспечивает повышение однородности давления.

Наличие большого числа воздушных клапанов (один на каждое доильное место) позволяет оперативно стабилизировать давление при различных вариантах изменения его величины, например, при окончании доения на соседнем доильном месте, и не допускает скачков давления на других доильных местах. Вместе с тем стабилизация давления в такой системе при большом количестве управляемых факторов становится чрезвычайно сложной и может быть реализована только при наличии автоматизированного управления на основе применения информационной управляющей системы, которая для своего функционирования требует фундаментального изучения массообменных процессов в рабочем контуре.

С учетом описанных выше принципов был разработан новый рабочий вакуумный контур (рис. 3), включающий в себя доильные аппараты, два симметрично расположенных молокоприемных узла с системой отделения молока от воздуха и молочными насосами, вакуумную систему, вакуумпроводы, два симметрично расположенных ресивера, контроллер децентрализованной системы полноконтурного параметрического контроля, обеспечивающий непрерывный контроль и стабилизацию давления в контуре. Система включает в себя  $n$ -е количество воздушных электромагнитных клапанов и датчиков давления, а также систему управления, реализованную в виде отдельного контроллера, взаимодействующего с датчиками, персональный компьютер (ПК) и исполнительные механизмы [12].

Воздушные клапаны рабочего вакуумного контура представляют собой управляемые электромагнитные устройства (напряжение 12 или 24 В) для стабилизации давления в контуре путем управляемого натекания воздуха.

Эти устройства обеспечивают стабильность давления в процессе машинного доения в режиме автоматизированного управления за счет работы их в противофазе с неуправляемым натеканием, что является важнейшим преимуществом предложенного контура.

Полноконтурный децентрализованный параметрический контроль параметров рабочего вакуумного контура предполагает наличие  $n$ -го количества воздушных электромагнитных клапанов и датчиков давления (количество клапанов

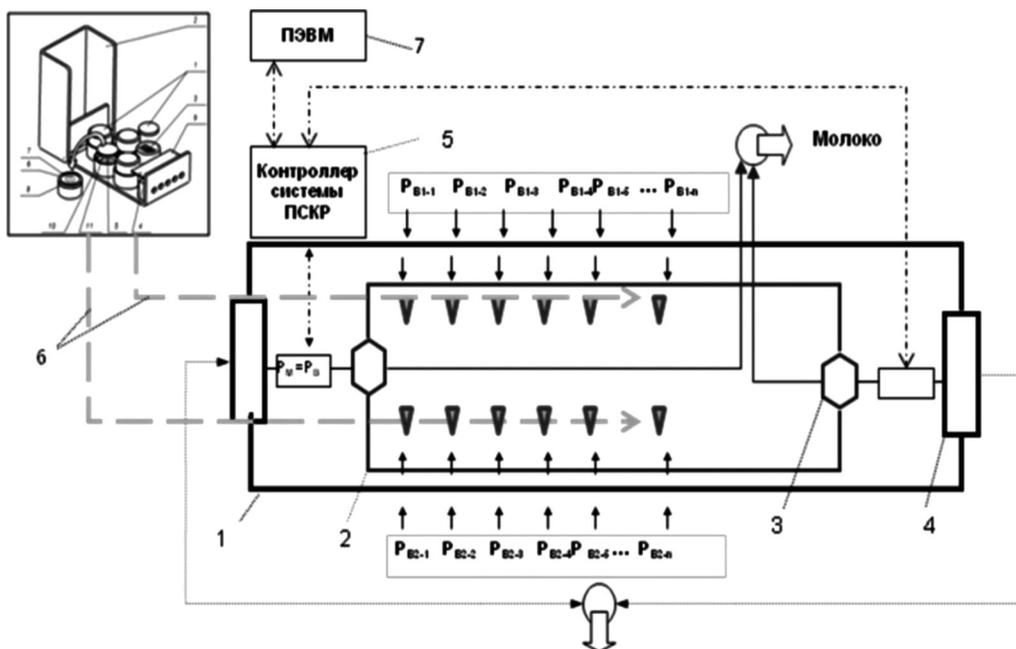


Рис. 3. Схема рабочего вакуумного контура с повышенной стабильностью давления: 1 – вакуумпровод; 2 – молокопровод; 3 – молокоприемник; 4 – ресивер; 5 – контроллер; 6 – система воздушных клапанов; 7 – ПК

превышает число доильных мест, например, для доильного зала  $2 \times 12$  это 24 основных и 1 вспомогательный клапан), которые обеспечивают децентрализацию контроля и управления давлением в контуре (рис. 3).

Важной составной частью рабочего контура, с точки зрения повышения стабильности давления, являются ресиверы, представляющие собой «буферные» емкости между магистральными и линейными участками вакуумпроводов. Объем их рассчитывается, исходя из требования значения коэффициента релаксации пульсаций давления менее 20 кПа·с и геометрических характеристик рабочего вакуумного контура. Объем ресиверов, который обеспечит релаксацию пульсаций давления за время  $t$ , можно найти по формуле

$$V_0 = \frac{Q_H t}{\ln \frac{p_1}{\Delta p}}, \quad (1)$$

где  $V_0$  – объем ресиверов, м<sup>3</sup>;  $t$  – время релаксации давления в ресивере, с;  $p_1$  – давление в ресивере, Па;  $\Delta p$  – флуктуация давления в ресивере в момент времени  $t = 0$ , Па.

Если производительность вакуумной системы  $Q_H = 180$  м<sup>3</sup>/ч (0,05 м<sup>3</sup>/с), давление в контуре  $p_1 = 5,0 \cdot 10^4$  Па, то при возникновении пульсации давления в контуре до  $\Delta p = 3,0 \cdot 10^4$  Па время релаксации этого давления должно составлять  $t \approx 1$  с. Из уравнения (1) следует, что объем ресиверов в этом случае должен составлять

$V_0 \approx 0,1 \text{ м}^3$ . Таким образом, применение в рабочем контуре двух ресиверов с общим объемом  $\approx 0,1 \text{ м}^3$ , каждый из которых заблокирован с молокоприемным узлом (рис. 3) и расположен симметрично в противоположных концах доильного зала, создает благоприятные условия снижения коэффициента релаксации пульсации давления в результате нерегулируемого натекания в рабочем вакуумном контуре.

Таким образом, рабочий вакуумный контур, имеющий двуединую технологическую функцию (выведение и транспортирование молока), отличительными особенностями которого являются новая элементная база (система электромагнитных воздушных клапанов и система управления), а также новая симметричная закольцованная пространственная структура с двумя парами «ресивер–молокоприемник», способствует повышению стабильности давления в процессе машинного доения.

Вместе с тем разработка программы эффективного функционирования рабочего вакуумного контура требует теоретического изучения закономерностей массообменных процессов, протекающих в контуре при машинном доении.

**Результаты и их обсуждение.** Следует отметить одну важную особенность разработанного контура (рис. 3). Все потоки воздуха, натекаемого в контур, можно разделить на управляемые и неуправляемые. Неуправляемое натекание воздуха в рабочий вакуумный контур происходит через негерметичные уплотнения соединений узлов контура, за счет натекания воздуха, возникающего при надевании–съеме доильных стаканов, натекания через калиброванные отверстия в коллекторе, расхода воздуха на привод доильных аппаратов (пульсаторы). Управляемое натекание воздуха происходит через воздушные клапаны. Для управления и стабилизации давления в рабочем вакуумном контуре на фиксированном уровне максимальная скорость управляемого натекания всегда должна превышать максимальную скорость неуправляемого.

Поскольку эти потоки достаточно нестабильны, а вакуумная система, создающая разрежение в контуре, работает в квазистационарном режиме, то для стабилизации давления применяется система воздушных клапанов, создающих управляемое натекание воздуха. Для управления воздушными клапанами необходима специальная программа, создание которой, в свою очередь, требует составления балансной модели массообменных процессов в контуре.

Давление в рабочем вакуумном контуре должно характеризоваться стабильностью, которая обеспечивается соотношением неуправляемых и управляемых потоков воздуха с работой вакуумной станции:

$$Q_H = Q_{BA} + Q_{BX} + Q_P, \quad (2)$$

где  $Q_{BA} = q_B N$  – объемный расход воздуха, расходуемого на привод  $N$  доильных аппаратов,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{BX} = k_X Q_{BA}$  – объемный расход воздуха, натекающего в рабочий вакуумный контур через негерметичные уплотнения,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_P = k_P Q_{BA}$  – объемный расход воздуха, натекающего в рабочий вакуумный контур через управляемые воздушные клапаны,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Объемные расходы воздуха приведены к н. у.

Установлено, что на практике коэффициенты  $k_x$  и  $k_p$  в среднем имеют значения  $k_x \approx 0,15$  и  $k_p \approx 1,2$ , а объемный расход воздуха на привод одного доильного аппарата составляет  $q_B = 8,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Стационарное уравнение баланса воздуха (2) может строго выполняться лишь в исключительных случаях. Как правило, все потоки воздуха не стационарны, и для анализа процессов необходимо применять нестационарные уравнения. Это обусловлено в первую очередь тем, что вакуумная система не обладает фиксированной производительностью, а имеет линейную расходно-напорную характеристику. Производительность вакуумной системы на рабочем участке обратно пропорциональна разности давления в контуре и атмосфере. Расходно-напорную характеристику вакуумной насосной станции в линейном приближении можно представить в виде

$$Q_H(p) = \begin{cases} 0, & p < p_{\min}; \\ C - B(p_0 - p), & p_{\min} < p < p_{\max}; \\ Q_{H \max}, & p > p_{\max}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $p_{\min} = 1,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ;  $p_{\max} = 7,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ;  $Q_{H \max} = 4,17 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с}$ ;

$$C = Q_{H \max} \frac{p_0 - p_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}}, \text{ кг/с}; \quad B = \frac{Q_{H \max}}{p_{\max} - p_{\min}}, \text{ кг/(с}\cdot\text{Па)}.$$

Натекание воздуха через негерметичные уплотнения узлов в контуре, калиброванные отверстия в коллекторе и воздушные клапаны также зависит от разности давлений. Удельный массовый расход воздуха  $dm / dt$  (кг/(м<sup>2</sup>·с)), натекающего в рабочий вакуумный контур, определяется соотношением [13]

$$\frac{dm}{dt} = \begin{cases} \left( \frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \sqrt{k \rho_0 p_0} \sqrt{\left( \frac{k+1}{k-1} \right) \left( \frac{1+k}{2} \right)^{\frac{2}{k-1}} \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, & p \geq p_0 \left( \frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k}{k-1}} \\ \left( \frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \sqrt{k \rho_0 p_0}, & p < p_0 \left( \frac{2}{1+k} \right)^{\frac{k}{k-1}} \end{cases}, \quad (4)$$

где  $k$  – показатель адиабаты,  $k = 1,4$ ;  $\rho_0$  – плотность воздуха при н. у. и 100 %-ной относительной влажности,  $\rho_0 = 1,192 \text{ кг/м}^3$  (для справки: при 0 %-ной относительной влажности  $\rho_0 = 1,202 \text{ кг/м}^3$ ).

Две ветви этой функции соответствуют двум режимам натекания воздуха в рабочий вакуумный контур: верхняя – дозвуковому, нижняя – звуковому, сопровождаемому известным явлением запаривания потока.

С учетом того, что для воздуха показатель адиабаты  $k = 1,4$ , уравнение (4) принимает следующий вид:

$$\frac{dm}{dt} = \begin{cases} 2,647 \sqrt{\rho_0 p_0} \left( \frac{p}{p_0} \right)^{0,7143} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{0,1429} \right] & p \geq 0,5283 p_0, \\ 0,6847 \sqrt{\rho_0 p_0}, & p < 0,5283 p_0. \end{cases} \quad (5)$$

Из (5) следует очень важный вывод: переход из дозвукового режима натекания в звуковой, который осуществляется при критическом давлении  $p_{кр} = 0,5283 p_0 = 53,530$  кПа (что соответствует давлению разрежения  $\Delta p = p_0 - p = 101,325 - 53,530 = 47,795 \approx 47,8$  кПа), сопровождается автоколебаниями с высокой амплитудой давления (эффект Гартмана) [14]. Это явление вызывает болевое ощущение (травмирование вымени) при машинном доении, что, в свою очередь, провоцирует стресс у животных с соответствующим снижением молокоотдачи. Для проверки этого факта были проведены натурные испытания на трех группах коров при машинном доении с уровнем давления разрежения 42–45 кПа и 48–50 кПа. Установлено, что более жесткий режим доения при повышенном давлении разрежения приводит к нервному поведению животных (визуально отмечено, что коровы проявляют беспокойство, чувствуют себя менее комфортно), при этом продуктивность снижалась [15–17].

Поэтому для бесстрессового дозвукового режима натекания воздуха давление в рабочем вакуумном контуре должно быть больше критического  $p > 53,5$  кПа, что соответствует давлению разрежения  $\Delta p = p_0 - p < 47,8$  кПа. По-видимому, этим можно объяснить тот факт, что на практике еще с начала XX в. был установлен безопасный интервал давления разрежения при машинном доении, равный 38–50 кПа [11; 18; 19]. Верхняя граница давления разрежения была определена эмпирически, и, по-видимому, недостаточно точно. После изучения характера натекания атмосферного воздуха в рабочий вакуумный контур по уравнению (5) можно утверждать, что давление разрежения не должно превышать 47,8 кПа.

Массовый расход воздуха через отверстие с поперечным сечением  $A$  равен

$$G(p, A) = A \frac{dm}{dt}. \quad (6)$$

На основе уравнения (6) можно рассчитать все натекающие через различные отверстия в рабочий вакуумный контур потоки воздуха. Так, расход воздуха через воздушный клапан  $G_x(p, A_{пер})$  (кг/с) определяется по формуле

$$G(p, A_{пер}) = \begin{cases} 0, & \text{если клапан закрыт;} \\ G(p, A_{пер}), & \text{если клапан открыт,} \end{cases} \quad (7)$$

где  $A_{пер}$  – регулируемая суммарная площадь сечения воздушных клапанов, м<sup>2</sup>.

Для изменения состояния клапана используются следующие условия: если  $p \geq p_{ном} + \delta p$ , то клапан закрыт, если  $p < p_{ном} - \delta p$ , то клапан открыт. Здесь  $\delta p$  – полуширина интервала срабатывания воздушного клапана.

$A_{пер}$  определяется по номинальным параметрам клапанов из условия

$$A_{пер} = \frac{\rho(p(t))Q_{кл}}{\frac{dm(p_0, p)}{dt}}. \quad (8)$$

При  $p_{\text{ном}} = 5,63 \cdot 10^4$  Па ( $\Delta p = 4,8 \cdot 10^4$  Па),  $\rho(p_{\text{ном}}) = 0,663$  кг/м<sup>3</sup>, пропускной способности клапана  $Q_{\text{кл}} = 0,00167$  м<sup>3</sup>/с и  $\frac{dm(p_0, p_{\text{ном}})}{dt} = 237,6$  кг/м<sup>2</sup>·с (уравнение (4)) площадь проходного сечения одного воздушного клапана равна  $A_{\text{рег}} = 4,65 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup> (4,65 мм<sup>2</sup>).

Для тестирования балансной математической модели, описывающей динамику изменения давления газа в рабочем вакуумном контуре, создан программный модуль *Vacuum\_Stability* [12], который читает данные для математической модели из текстовых файлов *Diagram.txt* и *InitData.txt* из директории входных данных.

Для вычислительного эксперимента по моделированию изменения давления воздуха в рабочем вакуумном контуре с 24 доильными аппаратами были выбраны следующие ее характеристики: объем рабочего вакуумного контура  $V = 0,908$  м<sup>3</sup>, затраты воздуха на привод одного пульсатора  $q_B = 8,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с, площадь сечения молочной трубки стакана доильного аппарата  $S_{\text{ст}} = 7,9 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>, номинальное давление в системе  $p_{\text{ном}} = 5,63 \cdot 10^4$  Па. Учитывалось натекание воздуха в систему при надевании стаканов доильного аппарата.

Анализ полученных данных показывает, что увеличение производительности вакуумной системы до 180 м<sup>3</sup>/ч приводит к снижению величины амплитуды пульсаций менее 10 кПа (для сравнения: амплитуда пульсаций в известном рабочем вакуумном контуре составляет 45 кПа (рис. 2, б)).

Вместе с тем дальнейшее повышение производительности до 240 м<sup>3</sup>/ч не приводит к существенному снижению амплитуды пульсаций давления. Кроме того, электрическая мощность вакуумной системы возрастает на 25 % [20].

На рис. 4 приведена зависимость амплитуды пульсаций давления от производительности вакуумного насоса. Анализ экспериментальных данных, приведенных на данном рисунке, показывает, что оптимальная производительность вакуумной системы составляет 180 м<sup>3</sup>/ч, при этом амплитуда пульсаций уменьшилась в 4,5 раза.

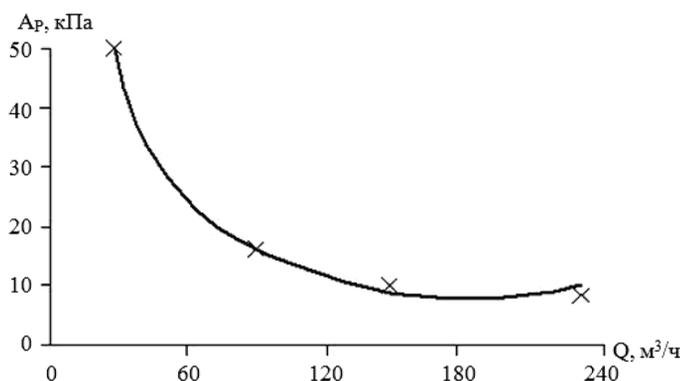


Рис. 4. График зависимости амплитуды пульсации давления разрежения в рабочем вакуумном контуре от производительности вакуумного насоса (доильных мест – 24)

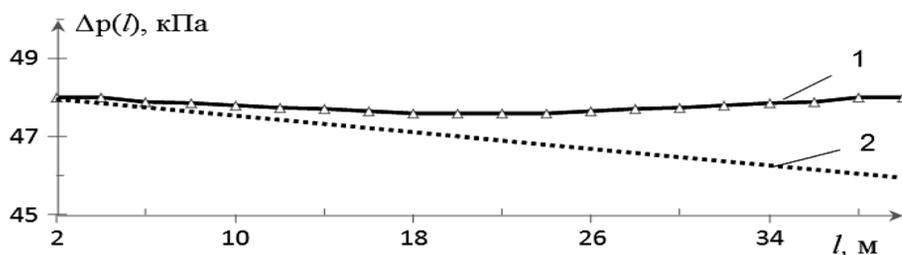


Рис. 5. Графики зависимости давления разрежения в рабочем вакуумном контуре от его длины: 1 – рабочий вакуумный контур с повышенной стабильностью давления; 2 – известный рабочий вакуумный контур

На рис. 5 приведены данные измерения зависимости давления разрежения в рабочем вакуумном контуре от его длины. Анализ экспериментальных данных показал, что на каждом доильном месте градиент давления не превышает величину 0,01 кПа/м, что обусловлено симметричностью и закольцованностью пространственной структуры рабочего вакуумного контура. Другие параметры стабильности давления разрежения в разработанном контуре следующие: временная нестабильность  $\pm 0,3$  кПа, амплитуда пульсаций при надевании–съеме доильных аппаратов не более 6 кПа, коэффициент релаксации давления 6 кПа·с. Для сравнения в известном вакуумном контуре соответствующие величины равны: 0,1 кПа/м (в 10 раз больше);  $\pm 2$  кПа (в 7 раз больше); 45 кПа (в 7,5 раза больше); 26 кПа·с (в 4,5 раза больше). Как будет показано ниже, полученная стабильность давления разрежения в рабочем вакуумном контуре обеспечивает бесстрессовый характер машинного доения, способствует формированию условного рефлекса молоковыведения и создает условия для разработки физиологически щадящего процесса машинного доения [7].

### Выводы

1. Разработка рабочего вакуумного контура доильных установок с повышенной стабильностью давления является базовым условием инновационной модернизации процесса машинного доения коров. В предложенном рабочем вакуумном контуре стабильность давления (градиент давления в трубопроводах, временная нестабильность, амплитуда пульсаций и коэффициент релаксации давления) достигается за счет:

разработки специальных принципов проектирования пространственной структуры рабочего вакуумного контура (симметричность контура, закольцованность, увеличение объема ресиверов, существенное увеличение количества управляемых воздушных клапанов);

построения балансной математической модели массообменных процессов, связанных с движением воздушных и жидкостных потоков, позволяющей разработать ПО для автоматизированного управления величиной давления в рабочем вакуумном контуре;

встраивания информационных управляющих систем для автоматизированного управления давлением в рабочем вакуумном контуре, что обеспечило полноконтурный децентрализованный контроль давления, превышение максимальной скорости контролируемого натекания воздуха по сравнению с максимальной скоростью неконтролируемого натекания.

2. В результате теоретического изучения процессов натекания воздуха в рабочий вакуумный контур из атмосферы установлено, что при давлении в контуре  $p_{кр} = 53,5$  кПа (давление разрежения 47,8 кПа) происходит переход натекания атмосферного воздуха из дозвукового режима в звуковой, что сопровождается автоколебаниями с высокой амплитудой давления, травмирующими вымя животного, вызывающими болевое ощущение у коров при машинном доении (стресс), что, в свою очередь, приводит к снижению молокоотдачи. Поэтому верхняя граница давления разрежения при машинном доении не должна превышать 47,8 кПа.

3. Созданная балансная модель и ее экспериментальная проверка показали, что в диапазоне давления разрежения 38–47 кПа стабильность давления в рабочем вакуумном контуре характеризуется следующими величинами: градиент давления в трубопроводе длиной 42 м составляет 0,01 кПа/м, временная нестабильность  $\pm 0,3$  кПа, амплитуда пульсации давления при надевании–съеме доильных стаканов менее 6 кПа, коэффициент релаксации давления менее 6 кПа·с. Для сравнения, в известном рабочем вакуумном контуре аналогичные параметры равны: 0,1 кПа/м,  $\pm 2$  кПа, 45 кПа, 20 кПа·с соответственно.

Обоснованные параметры рабочего вакуумного контура с повышенной стабильностью давления, способствуя бесстрессовому характеру доения, создают предпосылки для реализации физиологически щадящего процесса машинного доения.

## Литература

1. Food Outlook: Glob. Market Analysis / FAO Statistical Yearbook, May 2015. Rome, 2015. – 121 p.
2. Рейтинг стран мира по производству коровьего молока [Электронный ресурс] // Аналитика и статистика. – Режим доступа: <http://www.milknews.ru>. – Дата доступа: 13.01.2017.
3. Беларусь и страны Евросоюза: сб. стат. инф. Минск, 2013. – 235 с.
4. Барановский М. В. и др. // Гл. зоотехник. 2006. № 6. С. 70–71.
5. Велиток И. Г. Молокоотдача при машинном доении коров. М.: Московский рабочий, 1986. – 138 с.
6. Кокорина Э. П. Условные рефлексы и продуктивность животных. М.: Агропромиздат, 1986. – 335 с.
7. Кутиков В. О. // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. 2013. № 4. С. 91–104.
8. Lipiński M., Winnicki S. // Probl. Inz. Rol. 1997. Vol. 1 (15). S. 99–106.
9. Ohnstad I. Effective cleaning of the milking machine // UK Vet: Livestock; 18 (1). Oxford: UK Vet Publications, 2013. P. 28–31.
10. Куряк А. С. Совершенствование технологии машинного доения коров на основе разработки и применения новых биотехнических способов: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.02.04; РУП «Институт животноводства НАН Беларуси». Жодино, 2003. – 44 с.
11. Курczyk A. Doskonalenie warunków doju mechanicznego: rozprawa habilitacyjna. Warszawa, 1999. – 115 s.

12. *Кутиков В. О.* Ресурсоэффективные технологии производства молока. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2011. – 233 с.
13. *Kitikov V. O.* Technical facilities of intensive milk production. Poznań: Industrial Inst. of agriculture Engineering, 2011. P. 160.
14. *Лойцянский А. Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. – 340 с.
15. *Kitikov V., Ternov E.* // Engineering for rural development: proceedings of the 8th International Scientific Conf., Jelgava, Latvia, May 28–29, 2009 / Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering; technical editor Vitālijs Osadčuks. Jelgava, 2009. P. 76–80.
16. *Kauke M., Savary P.* // Agroscope Reckenholz-Tanikon ART. N 720. Tanikon (Ettenhausen), 2010. P. 8.
17. *Larus A.* Erforschung des Einflusses der Hauptparameter des Melkzeuges auf die Funktion desselben. Symp. Leipzig, 1980. P. 53–58.
18. *Blowey R., Edmondson P.* // Mastitis control in dairy herds. Ed. 2. Wallingford: CABI, 2010. P. 60–94.
19. *Stojnović M., Alagić D.* // Aktualni Zadaci Mehanizacije. Zb. Simpoz. Područja Mehanizacije, Hrvatska, 22–25 veljace 2011. Zagreb, 2011. P. 457–462.
20. *Кутиков В. О., Леонов А. Н.* // Вестник ВНИИМЖ. 2016. № 3 (23). Сер. Механизация, автоматизация и машинные технологии в животноводстве. С. 171–177.

*V. O. KITSIKAU*

**INNOVATIVE APPROACH TO CREATING THE VACUUM OPERATING CIRCUIT  
OF THE MILKING MACHINES TAKING INTO ACCOUNT  
THE PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANIMALS**

**Summary**

The results of researches on creation of new vacuum operating circuit of the milking machines, which has a high stability of the pressure in pipelines and ensures a stress-free mode milk-excretion, which is a prerequisite for a physiologically gentle process of machine milking of cows to increase the life-longevity of animals, their milk productivity, and to reduce unit costs in milk production. The increased stability of the pressure achieved by the development of special design for the spatial structure of the working vacuum operating circuit (symmetry, circularity, increasing the volume of the receivers, to significantly increase the number of controlled air valves), and building balanced mathematical model of mass transfer processes associated with the movement of air and liquid flows, enabling the development of software for automated control of the pressure in the vacuum operating circuit.

## НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

УДК 539.12

*В. Ю. ВОЛКОВ<sup>1</sup>, А. П. ВОРОБЬЁВ<sup>2</sup>, Е. С. КОКОУЛИНА<sup>3,4</sup>, А. Я. КУТОВ<sup>5</sup>,  
М. Н. НЕВМЕРЖИЦКИЙ<sup>6</sup>, В. А. НИКИТИН<sup>4</sup>, Г. С. ПОКАТАШКИН<sup>4,6</sup>,  
И. А. РУФАНОВ<sup>4</sup>, В. Н. РЯДОВИКОВ<sup>2</sup>, Р. Г. ШУЛЯКОВСКИЙ<sup>6</sup>*

### **ПОИСК НОВЫХ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОТОННЫХ И ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ НА УСКОРИТЕЛЯХ ОИЯИ И ИФВЭ**

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцина МГУ

<sup>2</sup>Институт физики высоких энергий НИЦ «Курчатовский институт», РФ

<sup>3</sup>Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

<sup>4</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, РФ

<sup>5</sup>Отдел математики Уральское Отделение РАН, Сыктывкар, РФ

<sup>6</sup>Институт прикладной физики НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 14.02.2017)

*В данном обзоре представлены основные результаты экспериментальных и теоретических исследований по поиску новых коллективных явлений в протонных и ядро-ядерных взаимодействиях на ускорительных установках ИФВЭ (г. Протвино) и ОИЯИ (г. Дубна) в Российской Федерации. Эти эксперименты выполнены Сотрудничеством СВД-2, которое состоит из физиков НИИЯФ МГУ, ОИЯИ и ИФВЭ. Основной целью, стоящей перед исследователями, являлось изучение множественного рождения вторичных частиц в области большой множественности. Выполненные экспериментальные исследования в области большой полной множественности подтвердили теоретические предсказания об образовании пионного (Бозе–Эйнштейна) конденсата. В настоящее время эксперимент продолжается на установке  $BM@N$  (барионная материя на Нуклотроне) в Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. Имеются теоретические указания о связи пионного конденсата с повышенным выходом мягких (менее 50 МэВ) фотонов. Планируется выполнение обширной физической программы на установке  $BM@N$  с включением электромагнитного калориметра с низким порогом регистрации.*

**Введение.** Исследование множественных процессов занимает важное место в физике высоких энергий и релятивистской ядерной физике [1; 2]. Эти процессы изучаются на современных ускорителях и в космических лучах. При столкновении двух элементарных частиц или ионов при достаточно высокой энергии (обычно более 1 ГэВ) рождаются вторичные частицы ( $c_i, i = 1, 2, \dots, n$ )

$$a + b \rightarrow c_1 + c_2 + \dots + c_n.$$

Число вторичных частиц  $n$ , называемое множественностью, может быть больше двух, причем от испытания к испытанию это число меняется. Среднее число вторичных частиц в данном взаимодействии при заданной энергии начальных частиц называется средней множественностью,  $\bar{n}(s)$ , где  $\sqrt{s}$  – энергия сталкивающихся частиц в системе центра масс (с. ц. м.). С увеличением этой энергии средняя множественность растет, ее рост описывается логарифмической зависимостью. Известно, что не вся кинетическая энергия сталкивающихся частиц тратится на образование новых вторичных частиц. События с большой множественностью (БМ), когда число вторичных частиц намного больше их среднего значения, являются крайне редкими. Регистрация и изучение событий с БМ были выполнены в проекте «Термализация» Сотрудничеством СВД-2 (Спектрометр с Вершинным Детектором) на ускорителе У-70 в ИФВЭ (г. Протвино, РФ) [3]. В ИФВЭ этот эксперимент проходил под номером SERP-E-190. В области БМ (ОБМ) предсказывается ряд коллективных явлений, которые могут быть обнаружены экспериментально. В проекте «Термализация» предполагалось искать такие явления, как образование пионного (бозе-эйнштейновского) конденсата [4; 5], повышенный выход мягких (менее 50 МэВ) прямых фотонов в адронных и ядерных взаимодействиях [6], появление «кентавров» или «анти-кентавров» в ОБМ [7].

Коллективное поведение вторичных частиц, адронов и лептонов, обусловленное образованием особого состояния материи, называемого кварк-глюонной плазмой (КГП), было обнаружено в экспериментах на ускорительном комплексе RHICa (BNL, США) [8; 9] в Au + Au столкновениях на встречных пучках при 200 ГэВ на нуклон (200А ГэВ). В центральных (головных) столкновениях были обнаружены следующие явления: flow (поток), ridge (гребешок), quenching (тушение задней струи, подавление выхода адронной струи в направлении, противоположном частице, вылетающей из вершины взаимодействия) и др. [10].

Преимущество эксперимента по изучению событий с БМ, выполняемого на установке СВД-2 в ИФВЭ на ускорителе У-70, состояло в том, что кинематический предел, при котором вся кинетическая энергия сталкивающихся протонов идет на образование пи-мезонов, как самых легких адронов, при взаимодействии 50 ГэВ-протонного пучка с водородной мишенью в реакции

$$P + p \rightarrow N + N + \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_n, \tag{1}$$

где  $N$  – нуклон;  $\pi$  – пион, не превышает 59 пи-мезонов. В области, близкой к ОБМ, преимущественно, рождаются пионы (заряженные и нейтральные), что позволяет при энергии У-70 зарегистрировать почти все заряженные частицы и восстановить,

косвенно, нейтральные пионы по их продуктам распада (фотонам). Для экспериментов на Большом адронном коллайдере (БАК) это крайне затруднительно, поскольку число вторичных частиц в кинематическом пределе превышает несколько десятков тысяч пионов. Максимально регистрируемая множественность заряженных частиц на установке ATLAS при энергии несколько ТэВ составляет не более пары сотен частиц [11].

Руководителем проекта «Термализация» в 2004 году был назначен главный научный сотрудник Лаборатории физики частиц (ЛФЧ, в настоящее время Лаборатория физики высоких энергий, ЛФВЭ) Объединенного института ядерных исследований В. А. Никитин. Им была предложена обширная программа физических исследований протонных взаимодействий на ускорителе ИФВЭ У-70. Основная задача проекта состояла в измерении топологических сечений в ОБМ, поиске в этой области коллективных явлений и проверке моделей множественного рождения, дающих различные предсказания поведения множественности [3; 12–15].

Одна из авторов этого обзора (Е. С. Кокоулина) присоединилась к выполнению этого проекта в момент его создания. Ей было предложено разработать модель множественного рождения для предсказания поведения топологических сечений в ОБМ, а также выхода нейтральных частиц. К тому времени ею была создана двухстадийная модель для описания распределений по множественности в  $e^+e^-$  аннигиляции при высоких энергиях, включающая в себя кварк-глюонный каскад и стадию адронизации [12; 13]. Эта модель хорошо описывала данные в широком энергетическом интервале от 10 до двух сотен ГэВ, особенно на «хвостах» БМ и подтвердила фрагментационный механизм адронизации, когда один партон фрагментирует в один адрон, что свидетельствует об адронизации в вакууме.

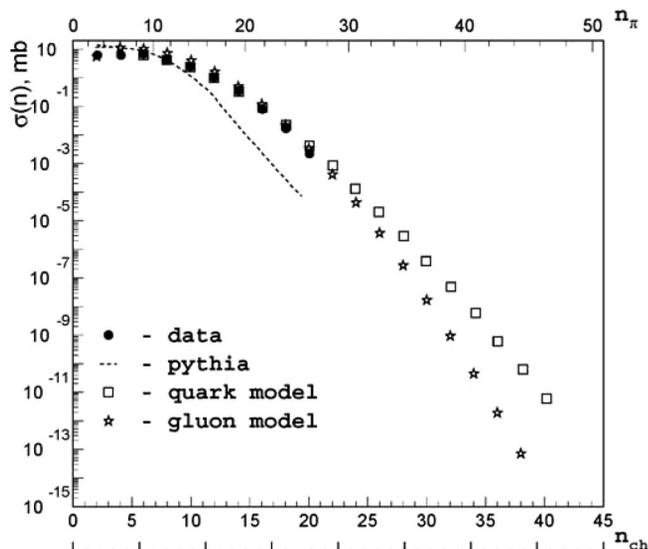


Рис. 1. Сравнение топологических сечений  $\sigma(n_{ch})$ , измеренных Сотрудничеством Mirabelle [16], с кварковой моделью [15], с МГД [12; 13] и МК генератором PYTHIA [17]

Выполненное Сотрудничеством СВД-2 Монте-Карло (МК) моделирование взаимодействия (1) при 70 ГэВ-протоне показало, что в области максимально измененной множественности заряженных частиц,  $n_{ch} = 18$  [16], МК генератор РНУТНІА недооценивает сечение на два порядка, как показано на рис. 1 [3]. На этом рисунке также представлены предсказания двух феноменологических моделей – кварковой [15] и глюонной [12]. Можно убедиться, что в ОБМ наблюдается расхождение в предсказаниях поведения множественности в этих моделях.

**1. Описание установки и реконструкция треков заряженных частиц.** Для решения задач в проекте «Термализация» Сотрудничество выбрало установку СВД-2, подготовленную для измерения выхода очарованных мезонов вблизи их порога образования. Эта установка была дополнена новыми элементами, необходимыми для регистрации событий с БМ. В ЛФЧ ОИЯИ разработали и изготовили уникальную водородную мишень (ВМ), дрейфовый детектор (ДД) и сцинтилляционный годоскоп (триггер на большую множественность, ТБМ).

Схема установки СВД-2 представлена на рис. 2. Основными элементами установки в эксперименте были пучковый телескоп, жидководородная мишень, жидководородная мишень,

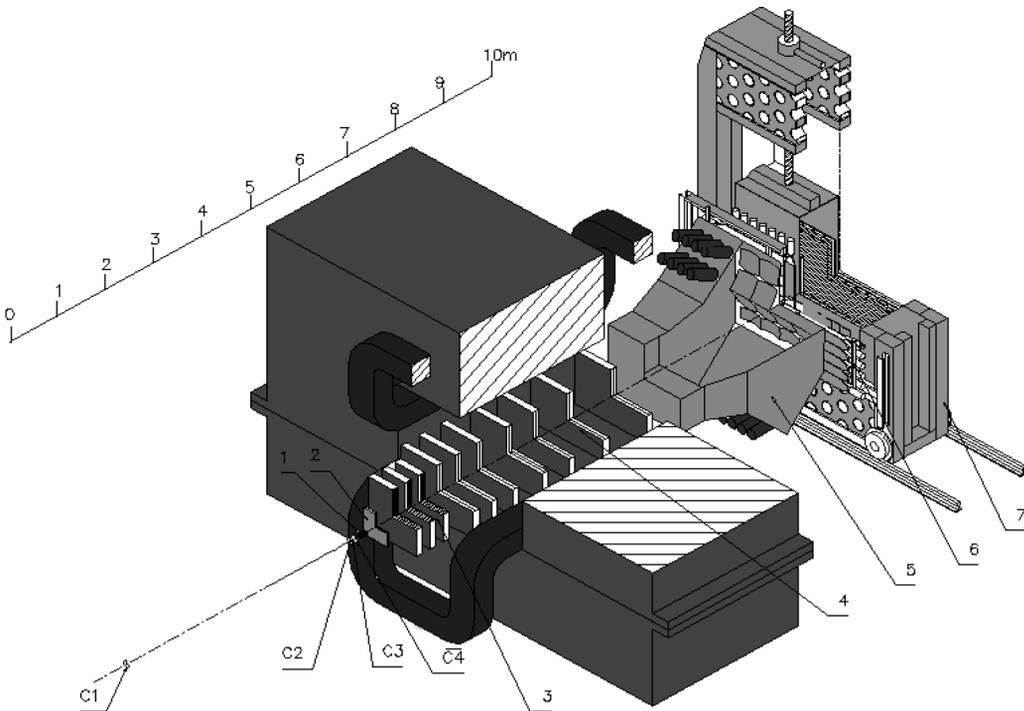


Рис. 2. Схема установки СВД-2: C1, C2 – пучковые станции (кремниевые годоскопы); C3, C4 – мишенные станции; 1 – водородная мишень (ВМ) и вершинный кремниевый детектор (ВД); 2 – сцинтилляционный годоскоп (ТБМ); 3 – трековая система на дрейфовых трубках (ДД); 4 – пропорциональные камеры (ПК) в магнитите (МС); 5 – черенковский счетчик; 6, 7 – электромагнитный калориметр (ЕКал)

вершинный детектор (ВД), триггерный годоскоп (ТБМ), дрейфовый трекер, магнитный спектрометр (МС), состоящий из большого уникального магнита и 18 пропорциональных камер (ПК), и электромагнитный калориметр (ЕКал).

В пучковый телескоп входят сцинтилляционные счетчики С1–С4 и 6 плоскостей микростриповых кремниевых детекторов ( $X$ ,  $Y$ ) размером  $10 \times 10$  мм<sup>2</sup> с шагом стрипов 25 и 50 мкм. Эти детекторы определяют траекторию каждой пучковой частицы. Счетчики С1–С4 вырабатывают триггерный сигнал на пучковую частицу (триггер нулевого уровня), регистрируют интенсивность пучка и его временную растяжку. Счетчик С3 включен со счетчиками С1, С2 и С4 на антисовпадение для подавления гало пучка.

Жидководородная мишень (рис. 3, *а*) представляет собой цилиндрический сосуд с жидким водородом, длина сосуда 70 мм, диаметр – 27 мм. Толщина лавсановых стенок сосуда 100 мкм. ТБМ (рис. 3, *б*) состоит из 19 установленных по окружности сцинтилляционных детекторов, напоминающих лепестки ромашки. Чувствительный объем годоскопа представляет собой диск диаметром 60 мм и толщиной 1,6 мм. Для пропускания пучка диск имеет отверстие диаметром 3,2 мм. Электроника ТБМ подавляет регистрацию событий с малой множественностью и вырабатывает сигнал для регистрации событий с БМ, не ниже заданного уровня триггера,  $l$ . Для получения экспериментальных результатов были выбраны данные с уровнем триггера  $l = 8$ , когда множественность регистрируемых событий не меньше 8.

ВД состоит из 10 микростриповых кремниевых плоскостей. Шаг стрипов 50 мкм.

Дрейфовый трекер состоит из 9 плоскостей, которые определяют координаты частиц с точностью 200 мкм. Их плоскости позволяют уточнить параметры треков, восстанавливаемые в ВД.

В МС используется магнит МС-7, имеющий длину 3 м и апертуру 1,8 м (ширина)  $\times$  1,3 м (высота). При токе 4000 А в центре магнита поле составляет 1,1 Тл. В составе спектрометра находятся 18 ПК размером около  $1 \times 1$  м<sup>2</sup>. Шаг проволо-

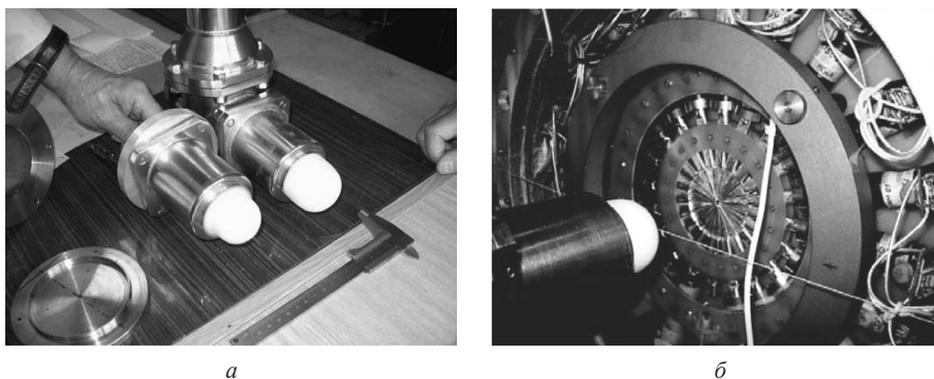


Рис. 3. Дополнения к установке СВД-2, необходимые для регистрации событий с БМ:  
*а* – ВМ; *б* – ВМ и ТБМ

чек 2 мм. Средняя их эффективность – 80 %. Расчетная координатная точность составляет порядка 600 мкм. ПК находятся внутри магнитного поля и позволяют восстановить импульсы заряженных частиц.

ЕКал (или детектор гамма-квантов, ДеГа) состоит из 1536 черенковских счетчиков полного поглощения. Радиаторы из свинцового стекла имеют размер  $38 \times 38 \times 505$  мм<sup>3</sup> и соединены с ФЭУ-84-3. Полная поперечная площадь детектора составляет 1,8 (ширина)  $\times$  1,2 (высота) м<sup>2</sup>. Точность восстановления координаты гамма-кванта  $\sim$ 2 мм.

Для измерения топологических сечений была использована координатная информация о треках заряженных частиц в пучковом телескопе и ВД, полученная в сеансе 2008 года [18; 19]. В этом сеансе на установке СВД-2 было зарегистрировано 5,13 млн неупругих взаимодействий. Из данной статистики отобрано 3,85 млн событий с уровнем триггера  $l = 8$ . Из них 2,1 млн событий было зарегистрировано с точкой взаимодействия в эффективном объеме водородной мишени.

Для окончательного анализа использовано около одного миллиона событий. Эти события отобраны с учетом следующих критериев: а) число пучковых треков, одновременно попадающих в мишень, не превышает 2; б) разность в реконструированных координатах точки взаимодействия по направлению вдоль пучка ( $z$ -координата) на двух проекциях меньше, чем 5 мм. При диаметре колбы с водородом 27 мм область расположения вершин взаимодействий в поперечной плоскости занимает не более 6 мм в ее центре. На рис. 4 показано распределение по  $z$ -координате вершины взаимодействия. Ось  $z$  направлена по пучку.  $z$  – координата взаимодействия в водородной мишени занимает интервал  $1405 < z < 1470$  мм, пики, расположенные справа от мишени, соответствуют взаимодействиям, происходящим в лавсановой пленке, коже мишени и триггерном годоскопе соответственно.

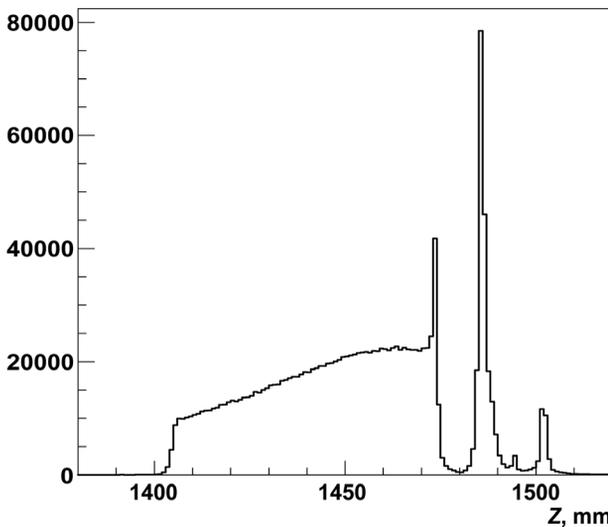


Рис. 4. Распределение  $z$ -координаты (мм) вершины взаимодействия

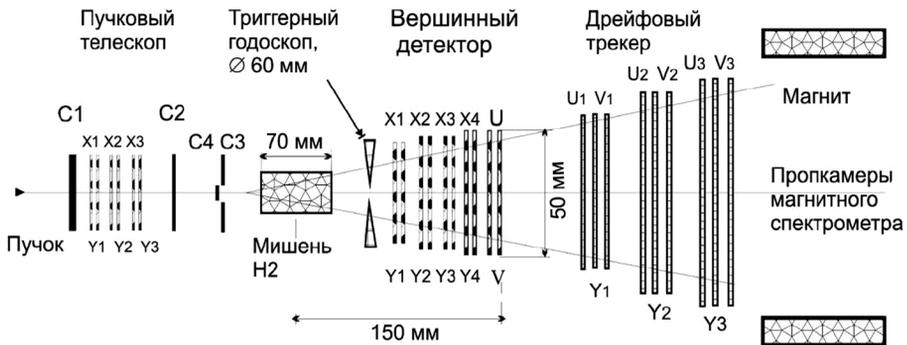


Рис. 5. Схема установки СВД-2 [18; 19]

ВД является важным элементом установки СВД-2. Основные результаты проекта «Термализация» по множественности заряженных частиц были получены по данным ВД, который состоит из четырех пар ( $X$ ,  $Y$ )- и одной пары косых ( $U$ ,  $V$ )-плоскостей (рис. 5).  $X$ ,  $Y$  плоскости чередуются:  $X1$ ,  $Y1$ ,  $X2$ ,  $Y2$  и т. д. Последней парой является пара ( $U$ ,  $V$ )-плоскостей. ВД имеет ~10000 каналов регистрации аналоговой информации (вся установка СВД-2 имеет более 25 тыс. каналов регистрации).

Ориентация плоскостей ВД определяется в системе координат ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), где ось  $Z$  направлена по пучку, ось  $Y$  – по вертикали, а ось  $X$  – по горизонтали, обе плоскости ( $X$  и  $Y$ ) перпендикулярны к оси  $Z$ . Косые плоскости  $U$  и  $V$  расположены относительно вертикальной оси  $Y$  под углами  $10,5^\circ$  и  $-10,5^\circ$  соответственно. С помощью вертикальных (горизонтальных) полос (стрипов) плоскостей  $X$  ( $Y$ ) определяется  $x$ - ( $y$ -)координата частицы. Косые  $U$  и  $V$  плоскости нужны для реконструкции треков в пространстве в событиях с большим числом треков в ВД [18; 19].

Координаты хитов (место прохождения частицы через детектор) в пространстве находятся с учетом одностриповых и многостриповых кластеров. Для определения координаты частицы  $\bar{x}$  в ВД применяется метод центра тяжести кластера  $\bar{x} = \sum A_i x_i / \sum A_i$ , где  $x_i$  – координата стрипа и  $A_i$  – амплитуда  $i$ -го сигнала, суммирование ведется по всем стрипам  $i$  сработавшего кластера. Трек описывается уравнениями прямой линии для  $XOZ$  и  $YOZ$  проекций с 3 или 4 хитами

$$\begin{cases} x = x_0 + t_x z, \\ y = y_0 + t_y z. \end{cases}$$

Для поиска и распознавания треков применяется метод фильтров Калмана [20], который эффективен при повышенном шуме в стриповых плоскостях и большой плотности треков. Для оценки параметров треков и вершин применяется метод наименьших квадратов. Так как в ОБМ наблюдается большая плотность треков, то для повышения эффективности распутывания треков применяется процедура «амплитудного анализа», в которой два близких трека могут проходить через

общие хиты (1–2 хита), если амплитуда сигнала  $A$  со стрипа больше величины двух минимальных ионизационных потерь.

Многokратное рассеяние в веществе вызывает отклонение трека от прямой линии. Это отклонение на последней плоскости ВД не превышает 50 мкм. Вершина взаимодействия определяется методом наименьших квадратов. МК моделирование дает следующие характеристики ВД: разрешение по  $(x, y)$  координатам вершины взаимодействия составляет 30 мкм, по  $z$  координате – 410 мкм. Средняя координатная точность реконструкции треков: 14–15 мкм, что соответствует оценочной координатной точности, исходя из ширины стрипа для ВД, – 15 мкм ( $d / \sqrt{12}$ ,  $d = 50$  мкм – ширина стрипа). Эффективность распознавания треков в области  $2 \leq N_{\text{ch}} \leq 16$  частиц составляет 97–99 %, в области  $16 \leq N_{\text{ch}} \leq 24$  составляет 92–97 %.

В эксперименте средняя координатная точность реконструкции треков ухудшилась в 2 раза: 26–28 мкм. Это обусловлено ошибками, возникающими при реконструкции хитов, и неточными измерениями геометрических характеристик установки, которая решается нахождением параметров выстроенности или юстировки (alignment), из-за ложных хитов. Точность реконструкции вершины по  $Z$  для экспериментальных событий составляет 480 мкм.

При МК моделировании  $pp$ -взаимодействий использовалась модель PYTHIA6 и статистические модели, особенно для событий с БМ заряженных частиц,  $n_{\text{ch}} \geq 10$ . Моделирование прохождения частиц через установку СВД-2 было выполнено с помощью программы GEANT3.14. Полученные события восстанавливались с использованием программного обеспечения, разработанного сотрудничеством СВД для обработки экспериментальных данных.

В сеансе 2008 года было записано около  $1,89 \cdot 10^{10}$  событий. Топологические сечения, определенные по этим данным с учетом эффективностей, согласуются по порядку величины с сечениями для области  $10 \leq N_{\text{ch}} \leq 16$ , измеренными на установке Мирабель. Небольшие отклонения обусловлены недостаточно точным моделированием работы ТБМ на БМ.

Для введения поправок в определение топологических сечений выполнено МК моделирование и построена таблица коэффициентов разброса по реконструированной множественности  $a_{ij} = N_i / N_j$ , где  $a_{ij}$  есть вероятность успешно реконструировать  $i$  заряженных треков в событии с  $j$  заряженными треками;  $N_j$  есть число моделированных событий с  $j$  заряженными треками, из которых  $N_i$  событий были реконструированы как события с  $i$  заряженными треками. Индекс  $i$  принимает все значения от 1 до 24, индекс  $j$  – только четные от 2 до 24.

Таблица коэффициентов рассчитывается с использованием моделированных событий методом МК (GEANT3.14) и дальнейшей их обработкой программами реконструкции при учете триггерных условий, аналогичных критериям триггера в эксперименте. Генерирование событий (GEANT3.21) проведено для заряженных пионов с  $N_{\text{ch}}$  от 2 до 24, отдельно для каждой множественности.

Для получения поправленного распределения числа событий строится переопределенная система линейных уравнений для 12 неизвестных величин  $x_j$ :

$$\sum_{j=2}^{24} a_{ij}x_j = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, 24,$$

где  $b_i$  есть экспериментальное число событий с реконструированной множественностью  $i$ ;  $x_j$  – реальное число событий с множественностью  $j$ . Эту систему можно решать несколькими методами, наиболее эффективным оказался метод обычного фитирования: минимизация линейным функционалом с известными коэффициентами  $a_{ij}$ .

Для уменьшения влияния триггерных условий, которые трудно достоверно воспроизвести при моделировании событий с малой множественностью, находятся решения  $x_j$  для  $j$  только в диапазоне от 10 до 24 частиц с использованием экспериментальных значений  $b_i$  для  $i$  от 8 до 24. В этом случае эффективность триггера близка к единице, и его влияние на коэффициенты незначительно.

Поправленные топологические сечения для  $pp$ -взаимодействий при 50 ГэВ представлены в табл. 1, а в табл. 2 приведены топологические сечения, полученные ранее на камере «Мирабель» [16]. Сотрудничество СВД-2 уточнило данные «Мирабель» для  $N_{\text{ch}}$  от 10 до 16 и добавило четыре новые экспериментальные точки в области от 18 до 24. Сечение в крайней точке  $N_{\text{ch}} = 24$  на три порядка величины меньше, чем измеренное на камере «Мирабель» при  $N_{\text{ch}} = 16$ . Величины сечений, приведенные в табл. 1, получены нормировкой числа событий на данные камеры «Мирабель» при усреднении по  $N_{\text{ch}} = 10, 12, 14$ . Это позволило определить полное неупругое сечение при 50 ГэВ  $\sigma = 31,50 \pm 1,14$  мб.

Т а б л и ц а 1. Топологические сечения для  $pp$ -взаимодействий при 50 ГэВ, проект «Термализация» (Эксперимент SERP-E-190) [18; 19]

$N_{\text{ch}}$	10	12	14	16	18	20	22	24
$\sigma$ , мб	1,685	0,789	0,234	0,0526	0,0104	0,0017	0,00033	0,000054
$\Delta\sigma$ , мб	0,017	0,012	0,006	0,0031	0,0014	0,0006	0,00024	0,000098

Т а б л и ц а 2. Топологические сечения для  $pp$ -взаимодействий при 50 ГэВ, полученные на камере «Мирабель» [16]

$N_{\text{ch}}$	2	4	6	8	10	12	14	16
$\sigma$ , мб	5,97	9,40	7,99	5,02	2,03	0,48	0,20	0,01
$\Delta\sigma$ , мб	0,88	0,47	0,43	0,33	0,20	0,10	0,06	0,02

Определены также средняя множественность заряженных частиц  $\langle N_{\text{ch}} \rangle = 5,45 \pm 0,11$ , дисперсия  $D = 7,21 \pm 0,20$  и второй корреляционный момент  $f_2 = 1,75 \pm 0,26$ , равный разности между дисперсией и средней множественностью. Знак второго корреляционного момента позволяет сравнить распределение по множественности с распределением Пуассона (независимое рождение). В случае отри-

цательного значения это распределение будет уже чем пуассоновское, положительное значение свидетельствует о развитии каскадного (ветвящегося) процесса.

На рис. 6 показаны экспериментальные данные, не поправленные (черные кружки) на угловое разрешение (аксептанс) установки и эффективность регистрации. На этом же рисунке приведены поправленные топологические сечения (сплошная линия и черные квадраты), вместе с сечениями, измеренными на камере «Мирабель». Эти сечения получены нормировкой числа событий на данные камеры «Мирабель» при усреднении по  $N_{ch} = 10, 12, 14$ .

В ОБМ заряженных частиц в угловом распределении были обнаружены два пика, которые можно интерпретировать как аналог излучения Черенкова кварками глюонов.

**2. Модель глюонной доминантности.** После измерения топологических сечений было выполнено сравнение их с моделями. На рис. 7 приведено описание топологических сечений (символ ■) для  $pp$ -взаимодействий тремя моделями. Данные были получены сотрудничествами Mirabelle [16] и СВД-2 [18; 19] при импульсе налетающего протона 50 ГэВ/с. Штриховая линия соответствует модели, предложенной в ИФВЭ [14] и удовлетворяющей скейлингу КНО. Ближко к ней проходит

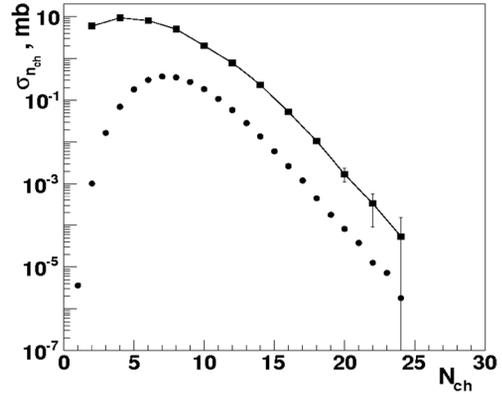


Рис. 6. Измеренные топологические сечения для  $pp$ -взаимодействий при 50 ГэВ (черные квадраты). Для сравнения приведено распределение по реконструированной множественности без поправок (черные кружки) [18; 19]

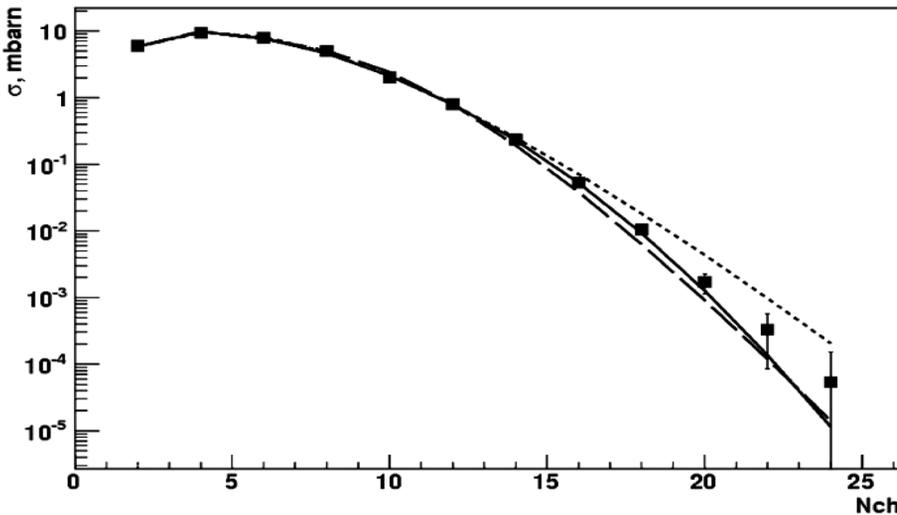


Рис. 7. Измеренные топологические сечения для  $pp$ -соударений при 50 ГэВ в сравнении с моделями

сплошная линия, полученная в модели глюонной доминантности (МГД) [12; 13] без учета деления. В соответствии с этой моделью топологические сечения описываются выражением

$$\sigma_n(s) = \sigma_{in} \sum_{m=1}^{ME} \frac{\bar{m}^m e^{-\bar{m}}}{m!} C_{mN}^{n-2} \left( \frac{\bar{n}^h}{N} \right)^{n-2} \left( 1 - \frac{\bar{n}^h}{N} \right)^{mN-(n-2)} \quad (n > 2),$$

где параметром на глюонной стадии является средняя множественность глюонов  $\bar{m}$ ; на стадии адронизации это  $\bar{n}^h$  ( $N$ ) – среднее (максимальное) число адронов, образующихся из одного глюона при прохождении этой стадии.  $\sigma_{in}$  является нормировочным множителем, суммирование по числу активных (способных к образованию адронов) глюонов ограничивается величиной  $ME$ . Увеличение  $ME$  не изменяет остальных параметров.

Найденные при сравнении параметры МГД имеют следующие значения:  $\bar{m} = 2,34$ ,  $\Omega = 66,41$  при  $ME = 5$  [18; 19]. Как видно на рис. 7, МГД и модель [14] согласуются с данными в ОБМ, но имеют тенденцию к занижению сечения с увеличением множественности. Точечная линия, соответствующая отрицательно-му биномиальному распределению (NBD) [21], хорошо согласуется с данными при малых множественностях и дает заметное превышение в ОБМ.

Включение в МГД деления глюонов позволяет описать топологические сечения при больших множественностях, причем не наблюдается тенденции к заметному отклонению от данных. В работе [22] показано, что с ростом энергии сталкивающихся частиц процессы деления глюонов становятся преобладающими над процессами их тормозного излучения (bremsstrahlung). Такое поведение глюонов может быть источником образования ridges (двугорбой структуры в угловом и быстротном распределении), поскольку испускание глюонов деления с последующей их адронизацией происходит под малыми углами и в широком интервале быстрое. Количественные оценки показывают, что процесс деления может реализовываться в ОБМ уже при энергиях ускорителя У-70.

На рис. 8 представлена суперпозиция двух типов глюонных вкладов по формуле

$$\sigma_n(s) = \alpha_1 \sum_{m_1=1}^{Mg_1} \frac{\bar{m}_1^{m_1} e^{-\bar{m}_1}}{m_1!} C_{m_1 N}^{n-2} \left( \frac{\bar{n}^h}{N} \right)^{n-2} \left( 1 - \frac{\bar{n}^h}{N} \right)^{m_1 N - (n-2)} + \alpha_2 \sum_{m_2=1}^{Mg_2} \frac{\bar{m}_2^{m_2} e^{-\bar{m}_2}}{m_2!} C_{2m_2 N}^{n-2} \left( \frac{\bar{n}^h}{N} \right)^{n-2} \left( 1 - \frac{\bar{n}^h}{N} \right)^{2m_2 N - (n-2)}. \quad (2)$$

Светлая точечная кривая описывает вклад одиночных (single) глюонов, которому соответствует первое слагаемое в правой части (2). Второе слагаемое описывает вклад кластеров (кланов), состоящих из двух глюонов, один из которых возникает при делении (splitting, fission). На рис. 8 этот вклад показан темной точечной линией. Сплошная линия есть суперпозиция этих вкладов. Параметры МГД имеют следующие значения:  $\bar{m}_1 = 2,35 \pm 0,29$ ,  $\bar{m}_2 = 0,76 \pm 0,17$ ,  $N_g = 6,46 \pm 2,01$ ,  $\alpha_1 = 60,45 \pm 2,06$ ,  $M_{g_1} = 5$ ,  $\alpha_2 = 6,81$  (fixed),  $M_{g_2} = 4$  при  $\chi^2 = 1,45$  [23]. Процессы

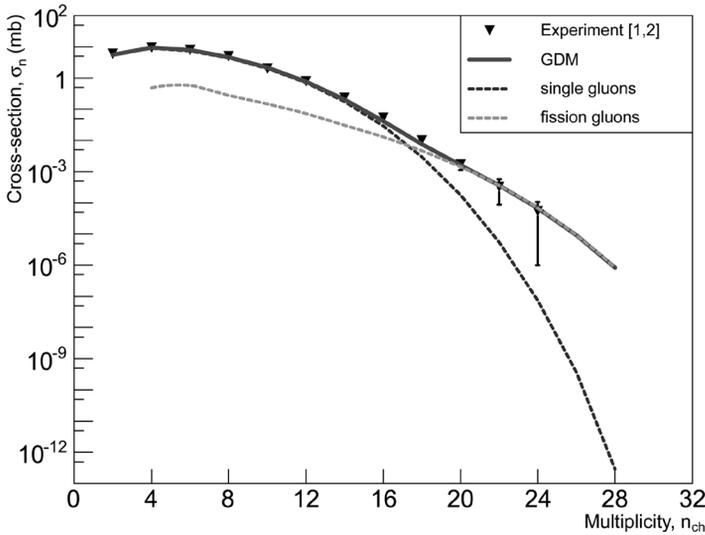


Рис. 8. Топологические сечения  $\sigma_n$  для  $pp$ -соударений при 50 ГэВ с учетом ветвления [23]

с делением глюонов вносят основной вклад в ОБМ и значительно улучшают описание сечений в этой области. Отношение вкладов процессов без деления к процессам с делением равно  $\alpha_1 / \alpha_2 \approx 8,9$ .

МГД была реализована в двух сценариях: с учетом деления глюонов и без него. В первом сценарии, который позволяет им делиться, примерно половина «активных» глюонов превращаются в адроны. Оставшиеся глюоны подхватываются валентными кварками, образуя вторичные адроны, и могут быть источниками повышенного выхода мягких фотонов, рассеиваясь на валентных кварках ( $q + g \rightarrow q + \gamma$ ) или за счет аннигиляции кварков  $q + \bar{q} \rightarrow g + \gamma$ .

Эта модель описывает распределения по множественности заряженных частиц при импульсах налетающего протона 100, 205, 303, 400, 800 ГэВ/с и в области ускорителя ISR (энергии 30–60 ГэВ в с.ц.м.). При этом наблюдается рост параметра адронизации  $\bar{n}^h$  от 1,5 при 50 ГэВ/с до 3,3 при энергии в с.ц.м. 60 ГэВ, что свидетельствует о смене механизма адронизации на рекомбинационный (адронизация в кварк-глюонной среде).

Описание в МГД распределения по числу нейтральных пионов позволило сделать предсказание о возможности образования событий с большим числом заряженных при отсутствии нейтральных частиц, называемых «кентаврами» и наоборот («антикентавры»). Эксперимент на СВД-2 подтвердил эти предсказания. В событиях с БМ заряженных частиц практически отсутствуют нейтральные мезоны. В области средней множественности заряженных пионов наблюдается значительное количество (более двукратное превышение) нейтральных.

Небольшая модификация МГД введением промежуточных зарядовых топологий валентных кварков в протон-антипротонной аннигиляции при энергии У-70

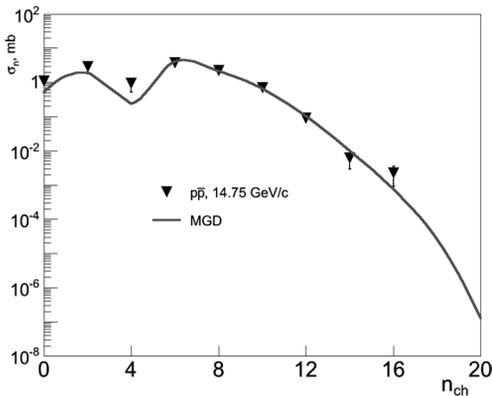


Рис. 9.  $\Delta\sigma_n(p\bar{p} - pp)$  при 14,75 ГэВ/с в МГД (сплошная линия), данные эксперимента (сплошные треугольники) взяты из [24]

позволяет объяснить поведение разности топологических сечений протон-антипротонного и протон-протонного взаимодействий (рис. 9) при одинаковой энергии

$$\Delta\sigma_n(p\bar{p} - pp) = \sigma_n(p\bar{p}) - \sigma_n(pp). \quad (3)$$

В МГД выполнена оценка вклада перезарядки, при которой хотя бы один из начальных протонов превращается в нейтрон. Она согласуется с данными эксперимента и составляет при малой множественности заряженных частиц от полного неупругого сечения около 50 % [23].

**3. Пионный (Бозе–Эйнштейна) конденсат (БЭК).** В 2006 г. М. И. Горенштейн и В. В. Бегун (БИТФ, Киев) предложили измерить на нашей установке нормированную дисперсию числа нейтральных пионов при фиксированной полной множественности [4; 5], определяемой суммой числа заряженных и нейтральных частиц

$$\omega = D / \langle N \rangle = \left( \langle N^2 \rangle - \langle N \rangle^2 \right) / \langle N \rangle. \quad (4)$$

В [4; 5] упоминается, что явление БЭК было предсказано А. Эйнштейном еще в 1925 г. Для его экспериментального подтверждения были приложены огромные усилия. Только в 1995 г. двум экспериментальным группам удалось создать наблюдаемый БЭК в системе атомов, используя новые методы охлаждения и технику ловушек. Руководители этих групп Э. Корнелл, В. Кеттерле и К. Виман в 2001 г. были награждены Нобелевской премией по физике. Поиск условий для наблюдения БЭК продолжается и в настоящее время.

В адронных и ядерных столкновениях при высоких энергиях рождаются сотни и даже тысячи пионов. Это приводит к увеличению их плотности. В этом случае родившиеся пионы могут сработать по принципу лазера [25], т. е. стимулировать рождение новых пионов. Делались также предположения об усилении выхода пионов за счет бозе-эйнштейновской интерференции.

В. В. Бегун и М. И. Горенштейн, в отличие от моделей пионного лазера и подхода в [26], в рамках статистической физики изучили флуктуации числа нейтральных пионов при фиксированной полной множественности пионов [4; 5] и показали, что эти флуктуации могут дать заметный сигнал при приближении к точке БЭК. Их основной вывод состоит в том, что для поиска пионного конденсата следует отбирать события с большой полной множественностью, когда система пионов находится в тепловом, но не в химическом равновесии. Горенштейн подчеркивает, что при полном равновесии химический потенциал равен нулю, а для обра-

зования БЭК необходимо, чтобы этот потенциал приближался к массе пиона, т. е. чтобы он был положительным и довольно большим (требуется уйти от равновесного состояния). Такое состояние системы можно получить, уходя от химического равновесия, отбирая события с большим числом пионов, намного больше средней множественности. Флуктуации числа пионов в этом случае обусловлены динамикой множественного рождения.

Для анализа поведения нормированной дисперсии (4) в [4; 5] выбрана модель нерелятивистского (релятивистского) идеального бозе-газа пионов, где числа заполнения  $n_p$  квантовых состояний с импульсом  $p$  принимают значения  $n_p = 0, 1, \dots, \infty$ . В большом каноническом ансамбле средние значения, флуктуации и корреляции имеют вид [4; 5]

$$\langle n_p \rangle = \frac{1}{\exp\left[\left(\frac{p^2}{2m} - \mu\right)/T\right] - 1},$$

$$\langle (\Delta n_p)^2 \rangle = \langle n_p \rangle (1 + \langle n_p \rangle) \equiv v_p^2, \quad \langle \Delta n_p \Delta n_k \rangle = v_p^2 \delta_{pk},$$

где  $\Delta n_p = n_p - \langle n_p \rangle$ ;  $m$  – масса частицы;  $T$  и  $\mu$  – температура системы и ее химический потенциал соответственно. Скобки  $\langle \dots \rangle$  обозначают усреднение по ансамблю. Среднее число частиц в этом ансамбле вычисляется суммированием по всем состояниям [4; 5]. В термодинамическом пределе (объем  $V \rightarrow \infty$ ) эта сумма превращается в интеграл

$$\langle N \rangle \equiv \bar{N}(V, T, \mu) = \sum_p \langle n_p \rangle = \frac{V}{2\pi^2} \int_0^\infty \frac{p^2 dp}{\exp\left[\left(\frac{p^2}{2m} - \mu\right)/T\right] - 1}. \quad (5)$$

При этом предполагается, что химический потенциал в нерелятивистском бозе-газе отрицателен,  $\mu < 0$  (или  $\mu < m$  в релятивистском пределе). Когда температура системы уменьшается при фиксированной плотности частиц  $\rho = \bar{N}/V$ , химический потенциал растет и становится равным нулю при температуре  $T = T_C$ , называемой температурой БЭК. Из (5) следует, что  $\bar{N}(V, T = T_C, \mu = 0) = V[mT_C / (2\pi)]^{3/2} \zeta(3/2)$ , где  $\zeta(3/2) \cong 2,612$  – дзета-функция Римана. Это позволяет найти  $T_C$ :

$$T_C \cong 3,31 \frac{\rho^{2/3}}{m}. \quad (6)$$

Плотность числа частиц обратно пропорциональна собственному объему,  $\rho \propto r^3$ . В [4; 5] из (6) получено отношение температуры БЭК в атомных газах,  $T_C(A)$ , к температуре в пионном газе,  $T_C(\pi)$ . Так как типичные радиусы атома и пиона  $r_A \cong 10^{-8}$  см,  $r_\pi \approx 10^{-13}$  см соответственно, то это отношение равно  $\frac{T_C(\pi)}{T_C(A)} \approx \frac{m_A}{m} \left(\frac{r_A}{r_\pi}\right)^2 \cong \frac{m_A}{m} 10^{10}$ , т. е.  $T_C(\pi) \gg T_C(A)$ , и наблюдение БЭК в атомных

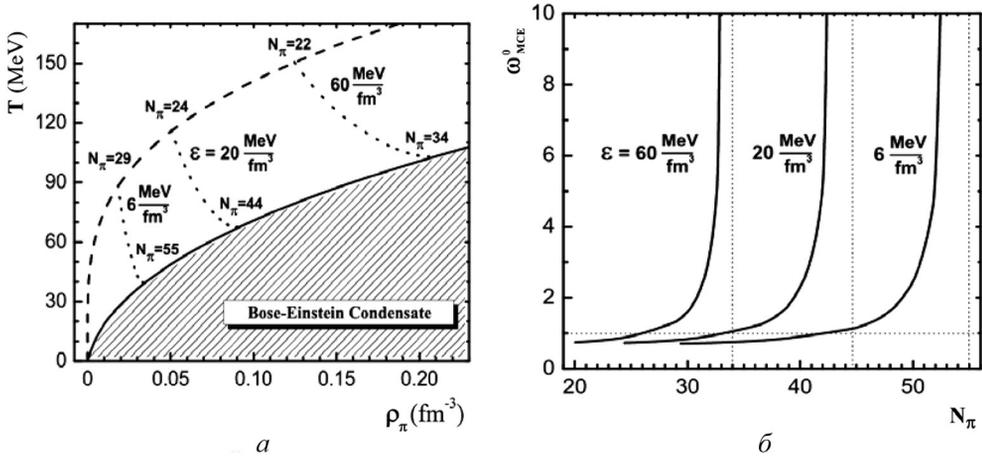


Рис. 10. *a* – фазовая диаграмма  $\rho_\pi - T$  идеального пионного газа с  $\mu_Q = 0$ ; *b* – нормированная дисперсия числа нейтральных пионов как функция полного числа пионов

газах возможно только при очень низких температурах, в то время как наблюдение пионного БЭК возможно при средней энергии пионов порядка 100 ГэВ.

Бегун и Горенштейн выбрали систему с большой полной множественностью пионов,  $N_\pi = N_0 + N_+ + N_-$ . В микроканоническом ансамбле ( $V, E, Q = 0, N_\pi = \text{const}$ ) полная энергия системы пионов  $E$ , электрический заряд  $Q \equiv N_+ - N_-$  и число частиц  $N_\pi$  являются фиксированными. Фазовая диаграмма идеального пионного газа в плоскости  $\rho_\pi - T$  представлена на рис. 10.

На рис. 10, *a* представлена фазовая диаграмма идеального пионного газа с  $\mu_Q = 0$  [4; 5]. Три штриховые линии соответствуют различным плотностям энергии:  $\epsilon = 6, 20, 60$  МэВ/фм<sup>3</sup>. Полная энергия системы пионов  $E = 9,7$  ГэВ; на рис. 10, *b* показана нормированная дисперсия числа нейтральных пионов как функция полного числа пионов. Вертикальные точечные линии соответствуют точкам на сплошной линии БЭК при соответствующей плотности. При приближении к точке БЭК наблюдается ее резкий и быстрый рост [4; 5].

**4. МК моделирование работы электромагнитного калориметра (ДеГа).**

Для экспериментального поиска БЭК на СВД-2 наряду с регистрацией заряженных частиц следовало восстановить множественность нейтральных пионов для определения полной множественности,  $N_{\text{tot}} = N_{\text{ch}} + N_0$ . Пусть  $N_{\text{ev}}(N_0, N_{\text{tot}})$  – число событий с  $N_0$   $\pi^0$ -мезонами в выборке из событий с полным числом пионов  $N_{\text{tot}}$ ,  $N_{\text{ev}}(N_{\text{tot}})$  – число событий с полной множественностью  $N_{\text{tot}}$ . Тогда распределение по числу нейтральных мезонов при заданной полной множественности определяется их отношением

$$r_0(N_0, N_{\text{tot}}) = N_{\text{ev}}(N_0, N_{\text{tot}}) / N_{\text{ev}}(N_{\text{tot}}), \tag{7}$$

где  $N_{\text{ev}}(N_{\text{tot}}) = \sum_{N_0} N_{\text{ev}}(N_0, N_{\text{tot}})$ . Величина  $r_0$  определяет долю событий с числом  $\pi^0$ -мезонов  $N_0$  в событиях с полной множественностью  $N_{\text{tot}}$  и удовлетворяет усло-

вию нормировки  $\sum_{N_0} r_0(N_0, N_{\text{tot}}) = 1$ . Зная распределение нейтральных пионов при полной множественности  $N_{\text{tot}}$ , можно найти среднюю множественность  $\pi^0$ -мезонов  $\langle N_0 \rangle = \sum_{N_0} N_0 r_0(N_0, N_{\text{tot}})$  и их дисперсию  $D = \sigma^2 = \sum_{N_0} N_0^2 r_0(N_0, N_{\text{tot}}) - \langle N_0 \rangle^2$ .

Для удобства сравнения распределений по числу  $N_0$  в одном масштабе при разных значениях  $N_{\text{tot}}$  введена переменная  $n_0$ , определяемая отношением [27; 28]

$$n_0 = N_0 / N_{\text{tot}} \quad (8)$$

и изменяющаяся в интервале [0, 1]. Ее можно назвать нормированной множественностью.

На установке СВД-2 регистрация нейтральных частиц (фотонов) осуществляется ЕКал. Этот калориметр детектирует фотоны от распада нейтральных пионов. Он имеет ограниченные размеры (аксептанс) и минимальный порог регистрации по энергии порядка 100 МэВ. В этом случае не все  $\gamma$ -кванты от распада  $\pi^0$ -мезонов попадают в калориметр, и прямое восстановление всех нейтральных мезонов, родившихся в  $pp$ -взаимодействиях, невозможно. Следует подчеркнуть, что для восстановления числа  $\pi^0$ -мезонов на установке СВД-2 событийный (event-by-event) метод не используется.

Задача восстановления множественности нейтральных пионов по данным ЕКал была решена с помощью моделирования двумя МК генераторами [27; 28]. Первоначально это было проделано с помощью генератора PYTHIA5.6 [27; 28] при анализе половины отобранной статистики. Используя его, смоделировано 10 миллионов неупругих  $pp$ -соударений при импульсе налетающего протона 50 ГэВ/с. Эффективность регистрации  $\gamma$ -кванта принимается равной 1, если он попадает в калориметр (прямоугольник  $160 \times 122$  см<sup>2</sup>, находящийся на расстоянии 1070 см от мишени) и его энергия оказывается больше 100 МэВ. Для анализа отбираются события с множественностью заряженных частиц  $N_{\text{ch}} \geq 4$ . Из них число событий с более чем одним  $\pi^0$ -мезоном, составило 83 %.

По этой выборке также определены: средняя множественность заряженных частиц  $\langle N_{\text{ch}} \rangle = 6,0$ , среднее число нейтральных пионов  $\langle N_0 \rangle = 2,3$ . Средняя множественность  $\gamma$ -квантов составила  $\langle N_\gamma \rangle = 4,3$ , причем 95 % из всех фотонов, попавших в ЕКал, являются продуктами распада  $\pi^0$ -мезонов. Последний результат позволяет считать, что практически все фотоны, регистрируемые калориметром, являются продуктами распада нейтральных пионов. МК моделирование свидетельствует, что для попадания в калориметр обоих фотонов энергия  $\pi^0$ -мезона в лабораторной системе отчета (неподвижная водородная мишень) должна быть выше 1 ГэВ. Также моделированием установлено, что только 37 % всех  $\pi^0$ -мезонов дают сигналы в ЕКал, для половины из них в калориметр попадают от распада оба фотона, для другой половины – только один  $\gamma$ -квант.

На рис. 11, а представлены распределения по множественности МК-моделированных фотонов и  $\pi^0$ -мезонов. Зависимость средней множественности нейтральных пионов от числа зарегистрированных в калориметре фотонов  $N_\gamma$  приведена

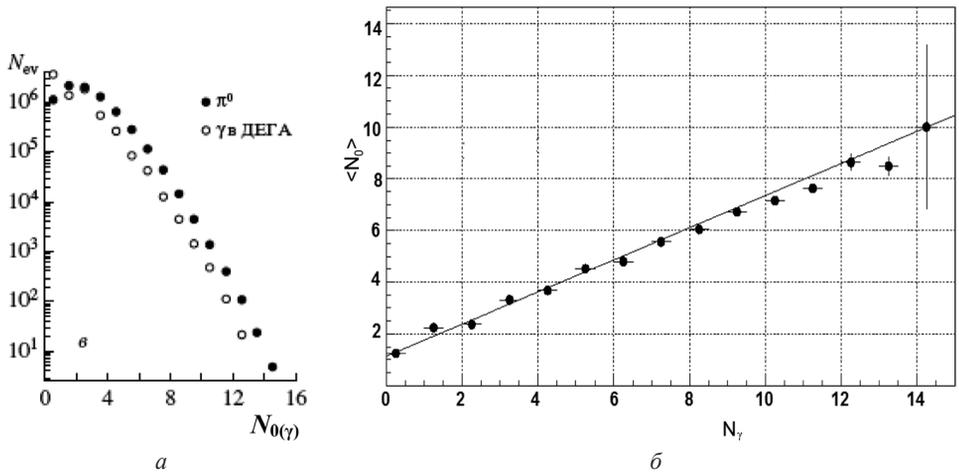


Рис. 11. *a* – распределения по числу  $\pi^0$ -мезонов,  $N_\gamma$  (●), и зарегистрированных фотонов,  $N_0$  (○), для МК событий; *б* – средняя множественность  $\pi^0$ -мезонов как функция числа фотонов,  $N_\gamma$  [27; 28]

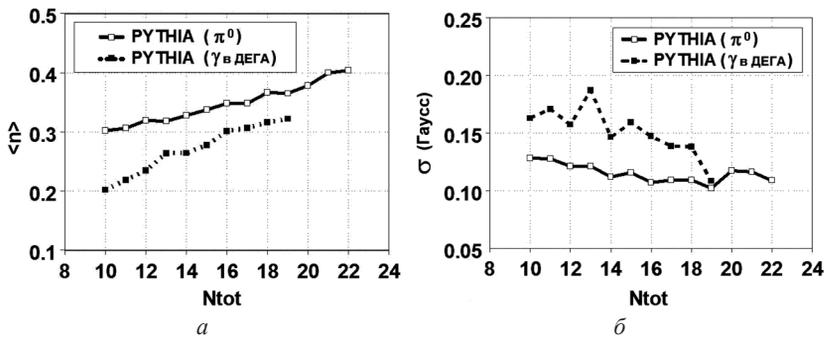


Рис. 12. *a* – средняя нормированная множественность нейтральных частиц,  $\langle n \rangle$ ; *б* – средние квадратичные отклонения,  $\sigma$  [27; 28]. Сплошные символы (■) соответствуют фотонам, пустые (□) –  $\pi^0$ -мезонам

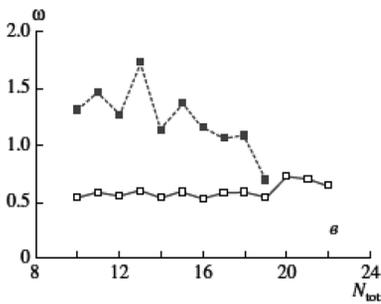


Рис. 13. Нормированная дисперсия нейтральных пионов и фотонов для моделированных событий. Символы (■) соответствуют фотонам, (□) –  $\pi^0$ -мезонам

на правой панели. Между этими величинами для моделированных событий обнаружена зависимость, близкая к линейной, т. е. среднее значение  $\langle N_0 \rangle$  примерно линейно зависит от числа  $N_\gamma$ . На рис. 12, *a* представлена зависимость средней нормированной множественности  $\pi^0$ -мезонов и фотонов как функция полной множественности  $N_{tot}$ . На правой панели этого рисунка показана зависимость среднего квадратичного отклонения по этой же переменной.

И, наконец, на рис. 13 представлена нормированная дисперсия  $\gamma$ -квантов и  $\pi^0$ -мезонов. Видно,

что никакого роста  $\omega$  для  $\pi^0$ -мезонов для МК моделированных событий не наблюдается, более того, для  $\gamma$ -квантов наблюдается даже ее падение с ростом полной множественности.

Для выполнения моделирования  $pp$ -взаимодействий при 50 ГэВ/с были также использованы МК генератор FRITIOF7.02 и пакет GEANT-3 [122–124]. Пакет GEANT позволяет моделировать прохождение вторичных частиц через установку СВД-2. 350000 событий, полученных МК генератором FRITIOF7.02, подтвердили обнаруженную ранее (МК генератором PYTHIA5.6) линейную зависимость среднего числа нейтральных пионов от числа зарегистрированных в ЕКал фотонов (можно видеть на рис. 14). Это моделирование также установило, что около 95 % всех зарегистрированных фотонов являются продуктами распада  $\pi^0$ -мезонов.

Используемая для восстановления нейтральных пионов выборка не соответствует истинному распределению по  $N_{ch}$ . Различие связано с подавлением триггером событий с малой множественностью и не пропорциональным отбором событий с разной множественностью для обработки. Для этого выполняется поправка с использованием поправочных коэффициентов [27; 28]. Для  $N_{ch} = 14$  выбирается  $k = 1$ . Умножая на эти коэффициенты число событий для разных  $N_{ch}$ , приводим их в соответствие с измеренными топологическими сечениями.

**5. ЕКал и алгоритм восстановления числа событий с заданной множественностью  $\pi^0$ -мезонов.** Детектирующий элемент ЕКал состоит из свинцового стекла ( $38 \times 38 \times 505 \text{ мм}^3$ ) и фотоумножителя (ФЭУ). Первоначально было высказано предположение, что почти вся энергия (98 %) электромагнитного ливня от  $\gamma$ -кванта, попадающего в центр стекла, выделяется в ячейке из  $3 \times 3$  элементов, так как поперечный размер стекла равен радиусу Мольера. При этом энергия, выделяемая в центральной ячейке, составляет в среднем 77 % от энергии всего ливня.

Обработка данных показала, что для повышения точности восстановления фотонов размер ячейки следует увеличить до  $5 \times 5$  элементов. Результаты обработки данных в зависимости от выбора размера ячейки приводят к качественно одинаковым результатам. Увеличение размера ячейки незначительно уменьшает число зарегистрированных фотонов, и следовательно, влияет на величину множественности нейтральных пионов, при которой начинается рост нормированной дисперсии.

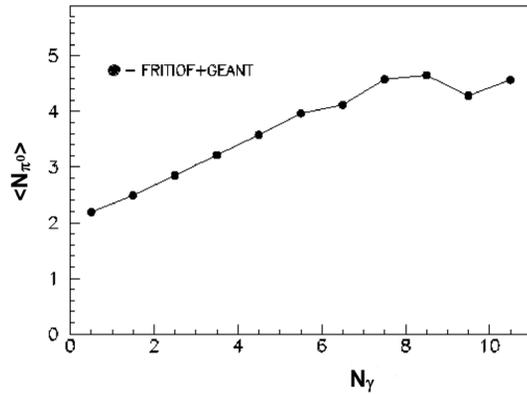


Рис. 14. Средняя множественность родившихся  $\pi^0$ -мезонов как функция числа зарегистрированных фотонов

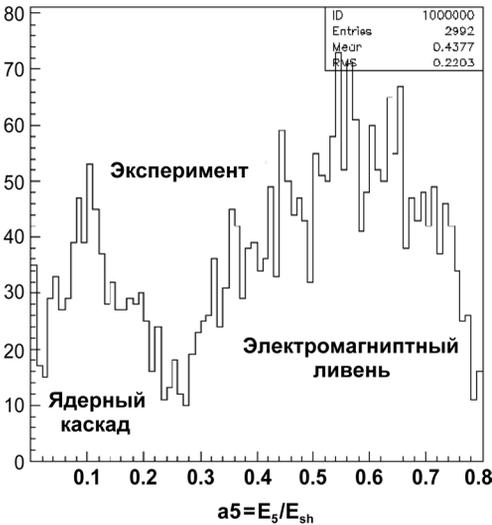


Рис. 15. Параметр  $a5$  от ядерного каскада и электромагнитного ливня

каналов или сигнала ниже порога, суммарная энергия ливня корректируется. Она не должна превышать 50 ГэВ.

Значение параметра  $a5$ , которое равно отношению энергии в центральном канале к суммарной энергии всех 9 (25) каналов, для  $\gamma$ -кванта должно быть больше 0,4. Чем ближе к центру стекла попадает  $\gamma$ -квант, тем этот параметр становится больше. Для ядерного каскада заряженных частиц эта величина меньше, чем 0,5 (рис. 15).

В результате обработки ~500 тыс. экспериментальных событий и отбора в них электромагнитных ливней, удовлетворяющих приведенным выше критериям с размером ячейки  $3 \times 3$ , были получены: среднее число фотонов в событии  $\langle N_\gamma \rangle = 3,0$  и их средняя энергия  $\langle E_\gamma \rangle = 2,8$  ГэВ (пороговая энергия регистрации фотонов составляет 100 МэВ).

Методика восстановления распределений по множественности  $\pi^0$ -мезонов по числу зарегистрированных фотонов основана на использовании моделированных событий. Установленная линейная зависимость между  $\langle N_0 \rangle$  и  $N_\gamma$  (рис. 11, б и рис. 14) свидетельствует о том, что эта задача выполнима. Большая полная множественность наблюдается в области  $N_{ch} = 8, 10$  и 12, где экспериментальные данные согласуются с Монте-Карло моделированием. Для перехода к числу событий с  $N_0$   $\pi^0$ -мезонами используются двумерные распределения  $N_{ev}(N_\gamma, N_0)$  для моделированных событий при разных значениях  $N_{ch}$ . Введем упрощенные обозначения:  $i = N_\gamma, j = N_0$  и  $N_{ev}(N_\gamma, N_0) = N_{ev}(i, j)$ . Для каждой множественности заряженных частиц  $N_{ch}$  можно определить матрицу коэффициентов

$$c_{ij} = N_{ev}(i, j) / N_{ev}(i), N_{ev}(i) = \sum_j N_{ev}(i, j).$$

Количество элементов в ЕКал равно  $32$  (вертикальные слои)  $\times$   $42$  (горизонтальные слои) = 1344. Его калибровка проводилась с помощью облучения центра тяжести каждого элемента узким (диаметром 3 мм) пучком электронов с энергией 15 ГэВ. Обработка данных с этого калориметра заключается в поиске сигналов в каждой ячейке и применении к ним критериев отбора ливней от  $\gamma$ -квантов. Основные критерии следующие.

В кластере  $3 \times 3$  ( $5 \times 5$ ) элементов должно быть не менее двух каналов с сигналом выше порога, равного десяти отсчетам АЦП. При отсутствии сигналов в соседних от центрального канала кристаллов из-за наличия «нерабочих»

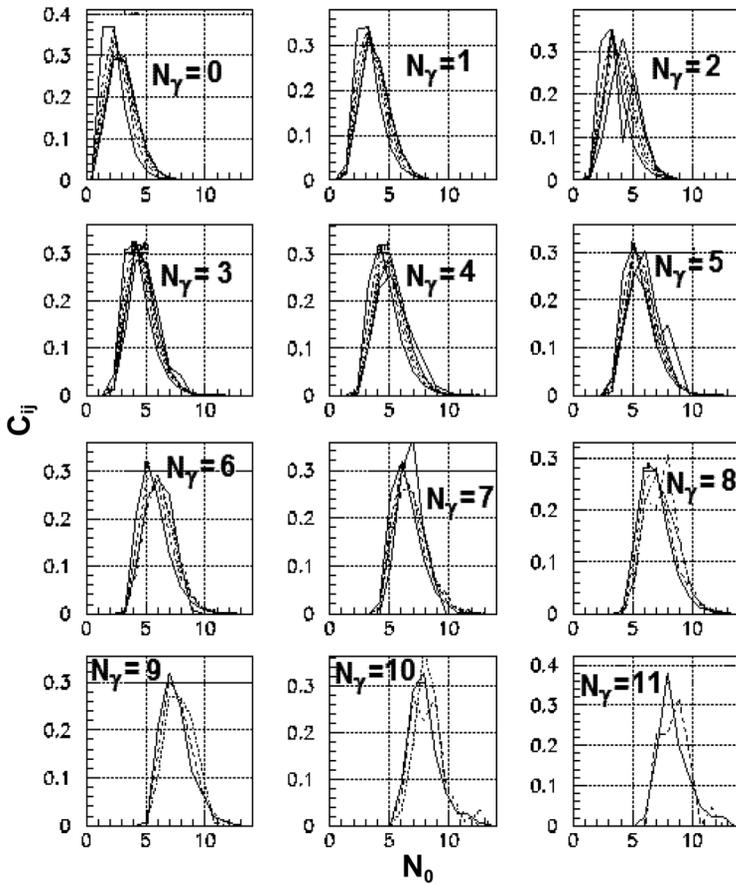


Рис. 16. Коэффициенты  $c_{ij}$  как функции числа  $\pi^0$ -мезонов [29]. Числа  $N_\gamma = 0, 1, 2, \dots$  определяют количество зарегистрированных фотонов.  $N_0$  – соответствующая этим числам множественность  $\pi^0$ -мезонов. Линии с разной штриховкой соответствуют разной множественности  $N_{ch}$

Величина  $N_{ev}(i)$  определяет объем выборки, в которую попадают события с  $i$  зарегистрированными фотонами. В этой выборке имеются события с числом нейтральных пионов  $j$ , удовлетворяющих условию:  $i / 2 \leq j \leq i$ , так как каждый  $\pi^0$ -мезон распадается только на два фотона.  $c_{ij}$  определяет долю событий с множественностью нейтральных пионов  $j$  в выборке с  $i$  зарегистрированными фотонами. МК моделированием по программе РYTHIA5.6 определены вероятностные коэффициенты  $c_{ij}$  в области  $N_\gamma \leq 11$  и  $N_{ch} \leq 14$ , которые представлены на рис. 16. С ростом  $N_\gamma$  наблюдается смещение распределения по числу  $\pi^0$ -мезонов вправо, при этом левая граница определяется условием  $N_0 \geq N_\gamma / 2$ . Возникшее ограничение по  $N_\gamma$  и  $N_{ch}$  связано с малой статистикой редких событий с БМ.

Анализ распределений по числу нейтральных пионов ( $c_{ij}$  для  $i = 0, 1, 2, \dots, 11$ ), представленных на рис. 16, позволяет продолжить их восстановление для  $N_\gamma > 11$  и  $N_{ch} > 14$ . Основанием для такой экстраполяции является примерное постоянство

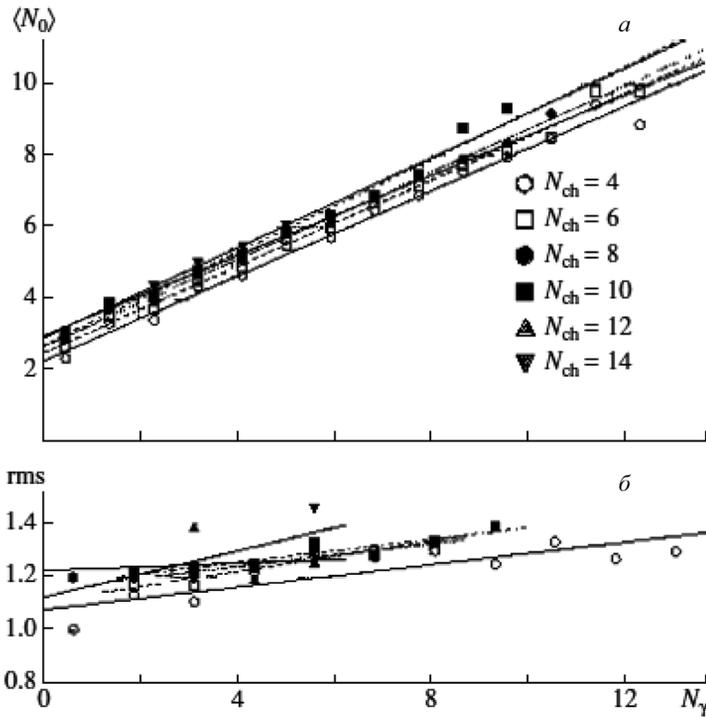


Рис. 17. *a* –  $\langle N_0 \rangle$ ; *б* – среднее квадратичное отклонение (rms) [27; 28] определяет число восстановленных событий с  $j$   $\pi^0$ -мезонами по всем возможным выборкам с  $i$  фотонами. Определенные таким образом  $N_{ev}(j)$  записываются в ячейки таблицы для определения распределений по  $N_0$  и  $N_{tot}$  мезонов. В этой таблице элементы столбцов для каждой множественности заряженных частиц  $N_{ch}$  заполняются числами событий с разной множественностью нейтральных пионов. Элементы строк соответствуют числу событий с заданной полной множественностью  $N_{tot}$ . Восстановленные распределения  $\pi^0$ -мезонов по всей выборке представлены на рис. 18

формы распределения (слабая зависимость его формы от  $N_\gamma$  и  $N_{ch}$ ), причем средняя множественность  $\pi^0$ -мезонов  $\langle N_0 \rangle$  растет линейно с числом фотонов  $N_\gamma$  (рис. 17, *a*) и среднее квадратичное отклонение (rms) остается практически постоянным для всех  $N_{ch}$  (рис. 17, *б*).

С помощью матрицы  $c_{ij}$  можно разложить элементы каждого столбца с заданным  $N_{ch}$  в сумму числа событий с одинаковыми значениями  $N_0$ , используя коэффициенты  $c_{ij}$  [27; 28]

$$N_{ev}(i, j) = c_{ij} N_{ev}(i), \quad (9)$$

где  $N_{ev}(i, j)$  определяет количество истинных событий с  $j$   $\pi^0$ -мезонами в выборке с  $i$  зарегистрированными фотонами. Для  $c_{ij}$  выполняется условие нормировки  $\sum_j c_{ij} = 1$ . Сумма слагаемых (9) по числу фотонов  $i$

$$N_{ev}(j) = \sum_i N_{ev}(i, j).$$

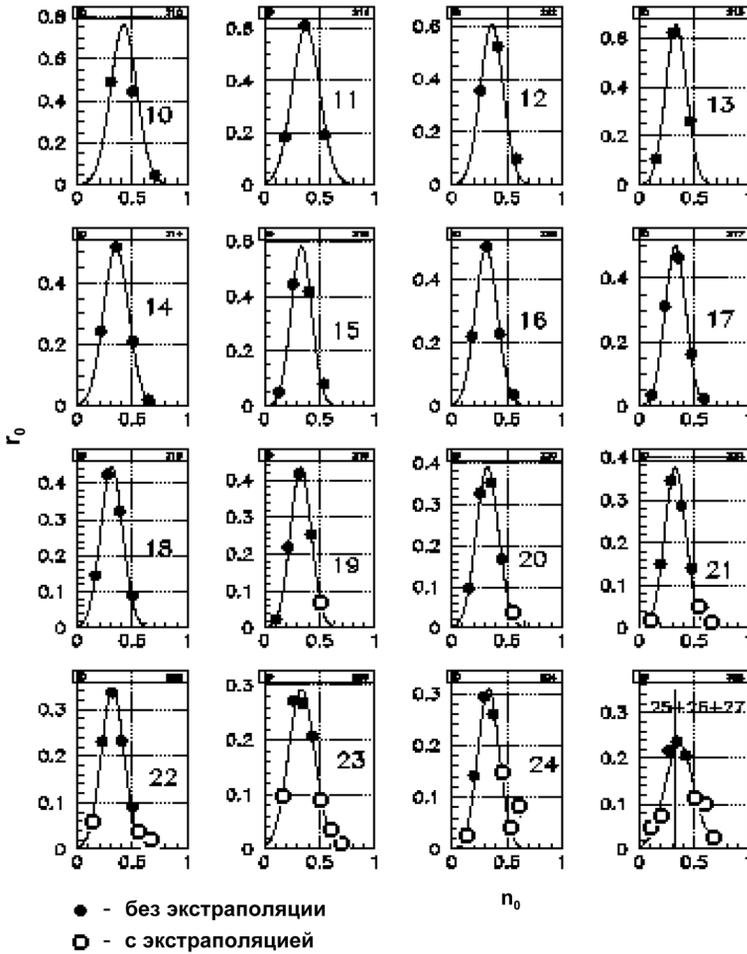


Рис. 18. Распределения  $\pi^0$ -мезонов для  $N_{tot}$  по  $n_0$  (8). Значения  $N_{tot}$  указаны числами 10, 11, ..., 24, 25 + 26 + 27 [27; 28]. Сплошные кружки получены без экстраполяции, белые – с экстраполяцией

**6. Флуктуации числа нейтральных пионов в ОБМ.** Для перехода в представление переменной  $n_0$  величина  $N_0$  в каждой строке таблицы для пионов, соответствующей определенному  $N_{tot}$ , делится на это  $N_{tot}$ .  $r_0$  определяется отношением (7). На рис. 18 приведены распределения  $r_0(n_0, N_{tot})$  для  $N_{tot} \geq 10$  [27; 28].

Следует заметить, что экспериментальные точки в этих распределениях расположены неравномерно. Сплошные кружки получены без экстраполяции в ОБМ, белые – с экстраполяцией. Из-за ограниченной статистики данные при самых больших трех значениях  $N_{tot}$  объединяются в один интервал:  $N_{tot} = 26, 27, 28$  ( $N_{tot} = 29, 30, 31$  для меньшей статистики, [27; 28]). Видно, что основной вклад в дисперсию вносят точки, полученные без экстраполяции. Точки, полученные экстраполяцией результатов, представленных на рис. 18, хорошо вписываются в распределения и вносят малый вклад в дисперсию. Также видно, что число

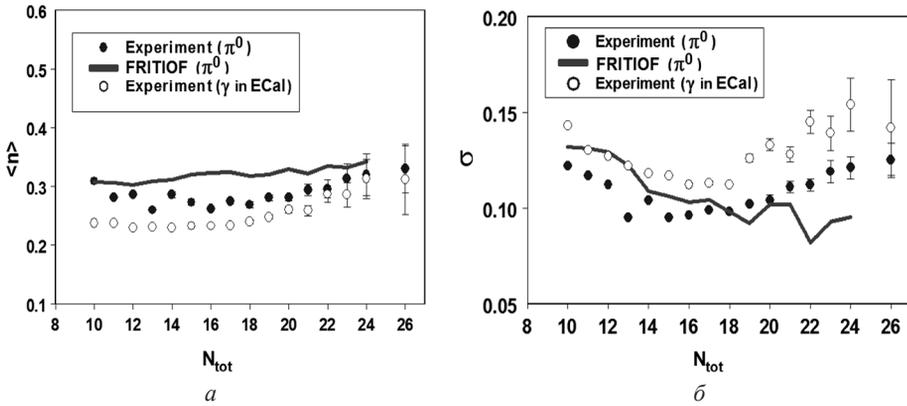


Рис. 19.  $\langle n \rangle$  (a) и  $\sigma$  (б) числа  $\pi^0$ -мезонов и фотонов как функции  $N_{tot}$

$\pi^0$ -мезонов в среднем составляет третью часть от всех пионов. Максимальная полная множественность, восстановленная в эксперименте, составила  $N_{tot} = 36$  при  $N_{ch} = 12$ . Среди событий с  $N_{tot} = 20$  встречаются редкие события с преобладающим числом  $\pi^0$ -мезонов ( $N_0 = 16$ ), что указывает на возможность существования антикентавров [27; 28].

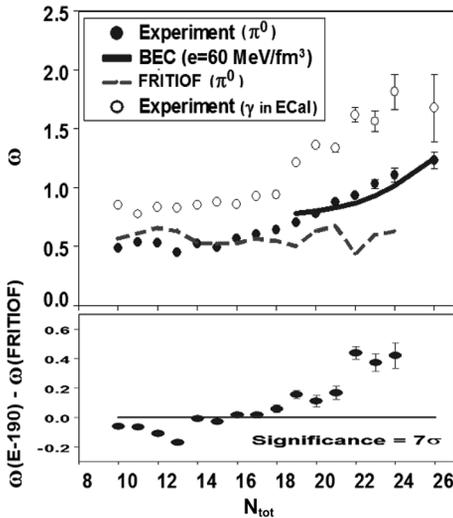


Рис. 20. Нормированная дисперсия  $\pi^0$ -мезонов и фотонов как функция  $N_{tot}$  [27; 28]. Экспериментальные значения  $\omega$  для фотонов ( $\circ$ ) и восстановленных  $\pi^0$ -мезонов ( $\bullet$ ), сплошная линия – предсказание для  $\omega$  в микроканоническом ансамбле в модели идеального пионного газа [4; 5], штриховая линия –  $\omega$ , полученная по программе FRITIOF

На рис. 19 представлены зависимости параметров  $\langle n \rangle$  (a) и  $\sigma$  (б) от  $N_{tot} = N_{ch} + N_{\gamma}$  и  $N_{tot} = N_{ch} + N_0$ . Результаты эксперимента представлены по полной статистике. МК моделирование выполнено по программе FRITIOF.

После определения средней множественности  $\pi^0$ -мезонов и ее дисперсии  $\sigma^2$  для каждого измеренного  $N_{tot}$  находится нормированная дисперсия  $\omega = \sigma^2 N_{tot} / \langle n_0 \rangle$ . Результаты, полученные для нормированной дисперсии на первом этапе, представлены на рис. 20. Начиная примерно с  $N_{tot} = 18$  при выборе размера ячейки  $5 \times 5$  наблюдается рост нормированной дисперсии. Отклонение от предсказания МК генератора достигает 7 стандартных отклонений при максимальном значении наблюдаемой полной множественности.

Свидетельством малости систематических ошибок по сравнению со статистическими и правильности полученных распределений нейтральных пионов является

хорошее согласие наших экспериментальных данных [27; 28] с данными, полученными Сотрудничеством Мирабель [16] и представленными на рис. 21: зависимость средней множественности  $\pi^0$ -мезонов от числа заряженных пионов.

**7. Теоретические оценки, подтверждающие образование БЭК в  $pp$ -взаимодействиях на У-70.** Для теоретического обоснования образования БЭК в  $pp$ -взаимодействиях в ОБМ определим среднюю энергию пиона при полной множественности  $N_{tot} = 30$ . Максимальное число всех пионов, обнаруженное на эксперименте,  $N_{tot} = 36$ .

Средняя кинетическая энергия пиона находится из условия

$$\langle E_{\pi} \rangle = (E_{cms} - 2m_N - N_{\pi}m_{\pi}) / N_{\pi},$$

где  $E_{cms}$  – энергия двух протонов в системе центра масс;  $m_N$  и  $m_{\pi}$  – массы нуклона и пиона соответственно;  $N_{\pi}$  – число всех пионов. При импульсе протона, налетающего на неподвижную водородную мишень, 50 ГэВ/с и  $N_{\pi} = 30$  средняя энергия пиона  $\langle E_{\pi} \rangle \approx 120$  МэВ [27; 28].

В соответствии с формулами статистической физики [30] критическая энергия пиона, при которой он выпадает в конденсат, определяется выражением

$$E_{crit} = (3,31 / g^{2/3})(\hbar / m_{\pi})\rho^{2/3}, \quad (10)$$

где для пионов  $g = 1$ ;  $\hbar$  – постоянная Планка;  $\rho$  – плотность числа пионов в области взаимодействия. Чтобы оценить эту энергию, предположим, что область взаимодействия двух протонов ограничена сферой радиуса 1,5 фм. Эта величина сравнима с двумя радиусами протона  $r_p \approx 0,8$  фм. Плотность числа всех 30 пионов, заключенных в сфере выбранного радиуса  $\rho_{\pi} = 2,1$  фм<sup>-3</sup>, для нейтральных пионов плотность  $\rho = 0,7$  фм<sup>-3</sup>. Следует отметить, что плотность ядерного вещества в обычных условиях (0,16 фм<sup>-3</sup>) значительно меньше этой величины. В этом случае  $E_{crit} \approx 727$  МэВ для  $\pi^0$ -мезонов при  $\rho = 0,7$  фм<sup>-3</sup>. При выборе радиуса сферы 2, 3 или 4 фм  $E_{crit}$  снижается до 410, 181 или 102 МэВ соответственно. Очевидно, что  $E_{crit}$  (10) при размерах области, сравнимой с двумя радиусами нуклонов, значительно выше, чем средняя энергия частиц в наблюдаемой ОБМ  $N_{tot} \sim 30$ :  $E_{crit} \gg \langle E_{\pi} \rangle$ . В этом случае образование БЭК в системе тождественных нейтральных пионов можно наблюдать по возрастанию флуктуаций числа  $\pi^0$ -мезонов в ОБМ.

**8. Исследование выхода мягких фотонов.** Перед проектом «Термализация» была поставлена задача исследования повышенного выхода прямых мягких фотонов (МФ) в адронных и адрон-ядерных взаимодействиях при энергиях У-70.

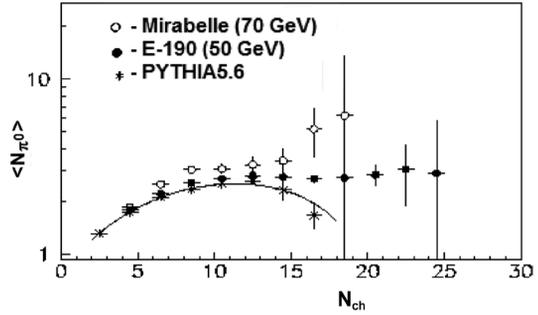


Рис. 21. Среднее число  $\pi^0$ -мезонов как функция  $N_{ch}$  для МК событий, данных Мирабель при 70 ГэВ [16] и СВД при 50 ГэВ [27; 28]

После обнаружения указания на образования БЭК в  $pp$ -соударениях, Сотрудничество СВД-2 приступило к созданию электромагнитного калориметра для их регистрации. К этому времени имелись теоретические работы, связывающие события с БМ с такими фотонами [6].

Прямыми фотонами называют фотоны, которые не являются продуктами распада вторичных адронов, например, нейтральных пионов. Энергия прямых МФ не превышает 60 МэВ. Известно, что в экспериментах, выполненных в течение продолжительного периода, наблюдался их повышенный выход (обзор экспериментальных результатов дан в [29]) относительно теоретических оценок, полученных в квантовой электродинамике. Анализ экспериментальных результатов и моделей, описывающих выход МФ, приведен в [31].

Выполняемые эксперименты по регистрации МФ при разных энергиях и в разных взаимодействиях стимулировали развитие теоретических представлений о природе множественного рождения вторичных частиц. Поскольку МФ слабо взаимодействуют со средой, их можно рассматривать пробниками (зондами) для изучения разных стадий взаимодействия как кварк-глюонной (особенно на ранней стадии), так и адронной. Фотоны сохраняют свойства среды, которую они покидают. Например, измеряя их энергию, можно оценить температуру этой среды.

Фотоны с большими поперечными импульсами рождаются на начальной стадии столкновения частиц или ядер за счет элементарных процессов КХД: комптоновского рассеяния  $q + g \rightarrow q + \gamma$ , и/или кварк-антикварковой аннигиляции  $q + \bar{q} \rightarrow \gamma$ . Эти процессы количественно рассчитываются в рамках ТВ КХД. Рождение прямых МФ также может происходить через эти реакции. Модель Личарда и Ван Хова [31] построена на включении их в механизм образования МФ. Также предложены другие феноменологические модели, нацеленные на объяснение аномального выхода МФ, вводя в физику мягких процессов новые механизмы взаимодействия. Однако ни одна из них не в состоянии описать экспериментальные данные в целом. В частности, кинематическая область, где особенно заметно проявляется аномальный выход МФ, ждет своего полного объяснения. Разгадка МФ, по-видимому, связана с пониманием стадии адронизации.

Последние экспериментальные работы по изучению выхода МФ были выполнены на установке DELPHI [32]. Главным исполнителем этих исследований был В. Ф. Перепелица. Он участвовал в ряде экспериментов по регистрации МФ (WA83, WA91, WA102) и продолжил эти исследования на установке DELPHI. В этом эксперименте на ускорителе LEP1 в ЦЕРНе изучался процесс образования двух кварковых струй через рождение  $Z^0$  бозона в процессе  $e^+e^- \rightarrow Z^0 \rightarrow q\bar{q} \rightarrow \text{hadrons}$  и процесс рождения мюонной пары ( $e^+e^- \rightarrow \mu\bar{\mu}$ ). Первый процесс идет с образованием адронов, второй – лептонной пары. Анализ данных, проводимый В. Ф. Перепелицей, был нацелен на исследование МФ, возникающих за счет тормозного излучения адронами в конечном состоянии, или другими источниками, ответственными за наблюдаемый их выход.

Регистрация заряженных частиц на установке DELPHI выполнялась вершинным детектором, внутренним трекером, время-проекционной камерой (Time Projection Chamber, TPC) и внешним детектором. Электромагнитный калориметр располагался за этими детекторами. Все они находились внутри сверхпроводящего магнита 1,23 Тл. Основным трекером DELPHI была TPC.

Выполненное МК моделирование основывалось на современных пакетах JETSET 7.3 PS, отрегулированных в соответствии с последними КХД исследованиями. Использовались также два стандартных генератора ARIADNE 4.6 и HERWIG 5.8, настроенных на установку DELPHI.

После вычитания фона от адронных распадов и введения поправок на эффективность детектирования отношение наблюдаемого сигнала МФ к интенсивности тормозного излучения составило  $4,0 \pm 0,3 \pm 1,0$ . Совершенно неожиданным оказалась зависимость выхода МФ от множественности нейтральных пионов. Отношение сигнала к фону для этих событий достигает 17, что значительно превышает соответствующую величину для заряженных частиц [32]. В качестве контрольного эксперимента на установке DELPHI был изучен процесс образования лептонной пары мюонов, для которых получены хорошо согласующиеся с теоретическими предсказаниями отношения сигнала к предсказанной интенсивности и близкие к единице. Таким образом, контрольный эксперимент свидетельствует, что ответственным за появление избытка МФ является адронная составляющая.

**9. Оценка размера области испускания МФ.** В соответствии с МГД образующаяся кварк-глюонная среда может рассматриваться как почти равновесная система. В этой системе активные глюоны фрагментируют в кварк-антикварковые пары, а остальные, более мягкие глюоны остаются без изменений. Токовые (легкие)  $q\bar{q}$ -пары превращаются в составные (тяжелые) пары кварков, подхватывая оставшиеся глюоны. Избыток энергии, которую несут мягкие глюоны, переизлучается ими при комптоновском рассеянии кварков на глюоне  $q + g \rightarrow Q + \gamma$  с образованием МФ.

Этот сценарий напоминает Большой взрыв при рождении нашей Вселенной. В настоящее время наблюдается спектр реликтовых фотонов, соответствующий спектру излучения абсолютно черного тела

$$\frac{d\rho}{dv} = \frac{8\pi}{c^3} \frac{v^2}{\exp(hv/kT) - 1}, \quad (11)$$

где  $d\rho/dv$  – пространственная плотность фотонов;  $c$  – скорость света;  $hv$  – энергия фотона;  $k$  – постоянная Больцмана. Безмассовые глюоны взаимодействуют с кварками аналогично фотонам и имеют нулевой химический потенциал, поэтому их спектр можно описать спектром (11). Плотность глюонов при температуре конфайнмента  $T_c \approx 200$  МэВ оценивается как

$$\rho_g = 2,4 \left( \frac{T_c}{T_0} \right)^3 10^{-37} \text{ фм}^{-3} \approx 0,3 \text{ фм}^{-3}.$$

Число таких глюонов в горячей кварк-глюонной системе в кубе размером  $L = 3$  фм будет порядка 8. Размер области кварк-глюонной системы со средней множественностью глюонов  $\bar{m} = 2,48$ , полученной в МГД для  $pp$ -соударений при 70 ГэВ/с, сравним с 2 фм. С увеличением этого размера число глюонов возрастает. Часть из них превращается в кварковые пары, оставшиеся глюоны, в основном, мягкие, не могут выйти из этой системы вследствие открытого цвета (явление конфайнмента). Они подхватываются кварками, которые становятся тяжелее и излишек энергии переизлучают в виде МФ.

Согласно экспериментальным данным [16], дифференциальное неупругое поперечное сечение на  $U-70$  в  $pp$ -взаимодействиях при 70 ГэВ составляет  $\sigma_{in} \sim 40$  мб, поперечное сечение рождения МФ  $\sigma_\gamma$  с импульсом меньше 100 МэВ около 4 мб. Так как сечение неупругого рассеяния ( $\sigma_{in}$ ), сечение рождения МФ ( $\sigma_\gamma$ ) и их число ( $n_\gamma$ ) связаны соотношением

$$\sigma_\gamma \cong n_\gamma(T)\sigma_{in},$$

то число МФ  $n_\gamma \approx 0,1$ . Полное число фотонов при излучении черного тела в объеме  $V$  определяется интегралом от плотности (11) [30]

$$n_\gamma(V) = \frac{V}{\pi^2 c^2} \int_0^\infty \frac{v^2 dv}{e^{hv/kT} - 1} = \frac{2\zeta(3)}{\pi^2} \left(\frac{kT}{\hbar c}\right)^3 V = 0,244 \left(\frac{kT}{\hbar c}\right)^3 V.$$

Температура системы оценивается по поперечному импульсу вылетающих МФ:  $T = p \approx p_T \sqrt{2}$ . Число МФ в системе (для простоты принимается куб с ребром  $L$ )

$$n_\gamma(p_T) \approx L^3 \rho(T) = L^3 0,244 \left(\frac{kp_T \sqrt{2}}{\hbar c}\right)^3. \quad (12)$$

Для перехода от МэВ к градусам Кельвина в числителе дроби выражения (12) используется соотношение:  $1 \text{ МэВ} = 1,16 \cdot 10^{10} \text{ К}$ . Из этого выражения можно найти  $L$  для разных значений  $p_T$  при числе МФ равном 0,1. Область испускания МФ зависит от выбора их поперечного импульса. МФ с малыми  $p_T$  излучаются из области немного большего размера, чем размер системы двух протонов. Если взять в качестве усредненного импульса 30 МэВ/с, то размер области испускания превышает размеры двух протонов ( $2 \times 0,8$  фм). Указание на это превышение было высказано в работе [31]. Эксперименты на установке DELPHI свидетельствуют, что излучение МФ происходит на стадии адронизации, область которой немного (в 2–3 раза) превышает размеры первоначальных адронов. Область остывания вновь родившихся адронов, возможно, расширяется в несколько раз по сравнению с общепринятой областью сильного взаимодействия.

Полное объяснение феномена повышенного выхода МФ требует дополнительных экспериментальных исследований. С этой целью Сотрудничеством СВД-2 был создан электромагнитный калориметр для регистрации МФ (ЭКМФ или СПЕС).

**10. Создание ЭКМФ, проведение эксперимента и первые результаты.** Для исследования МФ на установке СВД-2 на  $U-70$  и на Нуклотроне ОИЯИ был

создан электромагнитный калориметр мягких фотонов (ЭКМФ или SPEC, soft photon electromagnetic calorimeter) на основе BGO сцинтилляторов ( $W_4Ge_3O_{12}$ , ортогерманат висмута) [33]. Кристаллы BGO имеют малую радиационную длину  $X_0 = 1,12$  см (по сравнению, например, с NaJ(Tl), где  $X_0 = 2,59$  см), что позволяет существенно снизить объем прибора. Кроме того, этот сцинтиллятор имеет малую чувствительность к нейтронам, что важно при измерении гамма излучения на ускорителе. При изготовлении кристаллов BGO не возникает проблем равномерного распределения активатора по объему кристалла. Наконец, многим неорганическим сцинтилляторам свойственно послесвечение – наличие долговременной компоненты высвечивания. Кристаллы BGO обладают относительно малым послесвечением.

При создании ЭКМФ были получены ответы на следующие вопросы: как влияет энергетическое разрешение ЭКМФ на изменение времени интегрирования сигнала; каково оптимальное соотношение между быстродействием системы и ее энергетическим разрешением; как влияют на энергетическое разрешение системы различные способы укладки кристаллов (плотная упаковка, укладка с небольшими зазорами или укладка со смещением рядов друг относительно друг друга) и др.

Схема калориметра показана на рис. 22. ЭКМФ представляет собой сборку из 49 счетчиков в виде матрицы  $7 \times 7$ . Каждый кристалл имеет форму параллелепипеда с размерами  $30 \times 30 \times 180$  мм<sup>3</sup>. Боковые грани кристалла для увеличения светосбора обернуты материалом Туvek (толщина 120 мкм). Передний торец прикрыт отражающей пленкой VM2000. Используются ФЭУ 9106SB (ET Enterprises). Этот ФЭУ имеет 8 динодов и повышенную квантовую эффективность в зеленой части спектра. Диаметр фотокатода 25 мм. Колба имеет пермаллоевую защиту. ФЭУ приклеен к кристаллу двухкомпонентным оптическим клеем EPO-ТЕК 301.

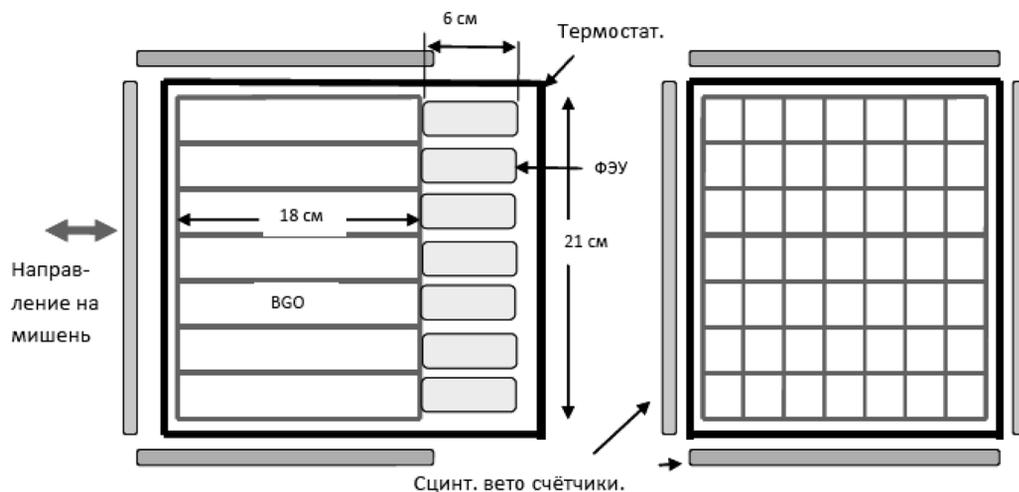


Рис. 22. Схема ЭКМФ

Делитель напряжения, предварительный усилитель, формирователь сигнала и преобразователь напряжения  $12\text{ В} \rightarrow (400\text{--}600\text{ В})$  выполнены как единый модуль, размещенный на панели ФЭУ. Предварительный усилитель выполнен на операционном усилителе (ОУ) Ad8014 с обратной связью по току. Питание  $+12\text{ В}$ ,  $-12\text{ В}$  подается от внешнего источника. Ток потребления составляет  $1\text{ А}$  ( $+12\text{ В}$ ) и  $50\text{ мА}$  ( $-12\text{ В}$ ). Напряжение питания ФЭУ может регулироваться на внешней плате отдельно для каждого из семи столбцов сборки. ФЭУ включены по схеме с заземленным фотокатодом. Такое включение мотивировано максимальной плотностью упаковки кристаллов. Сигналы с предварительных усилителей по кабельным магистралям поступают на входы усилителей, установленных на пульте управления установкой рядом с электроникой системы сбора данных.

Максимальное отношение сигнал–шум обеспечивает минимизация входной емкости. Она определяется промежутком динод–анод и емкостью монтажа, которая составляет  $\sim 6\text{ пФ}$ . Шум в спектрометрических каналах ЭКМФ не превышает  $100\text{ кэВ}$ , что позволяет впервые измерить спектр мягких фотонов в интервале  $0,6\text{--}600\text{ МэВ}$ . Динамический диапазон сигналов более  $66\text{ дБ}$ . Ящик с ЭКМФ с передней и боковых сторон окружен сцинтилляционными счетчиками охранной вето-системы. Сам ЭКМФ размещен внутри термостата. Термостабилизация осуществляется холодильной установкой Huber 006 В. Температура жидкости термостата может задаваться в диапазоне от  $-20$  до  $+40\text{ }^\circ\text{C}$ . В ходе измерений выбрана оптимальная температура  $+18\text{ }^\circ\text{C}$ .

Внешний вид счетчика с делителем и предварительным усилителем, размещенным на панели ФЭУ, показан на рис. 23, а, а на рис. 23, б представлен внешний вид ЭКМФ с вето-счетчиками во время испытаний на У-70. Триггер события вырабатывается по совпадению сигналов со сцинтилляционных счетчиков, расположенных в первичном протонном пучке, и сцинтилляционного триггерного

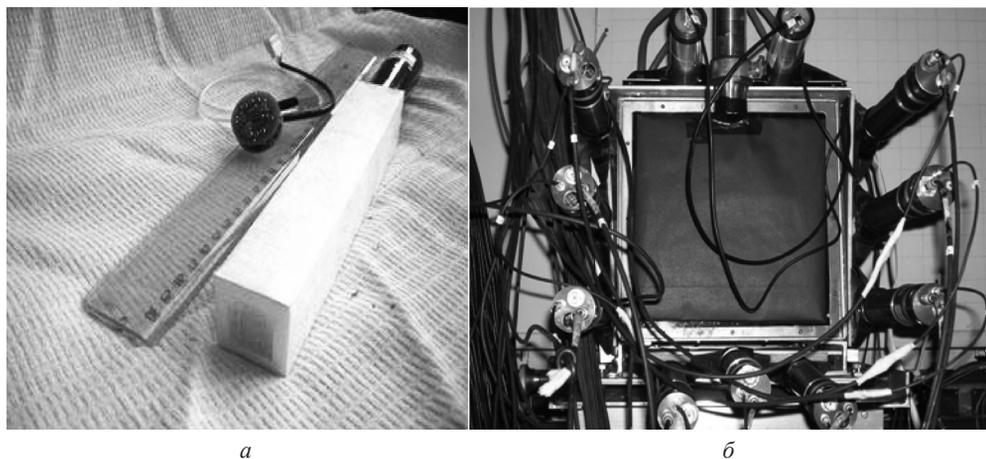


Рис. 23. Счетчик с ФЭУ, делителем и предварительным усилителем (а); ЭКМФ с вето-счетчиками, вид спереди (б) [34]

годоскопа, который настраивается на регистрацию  $pp$ -взаимодействий с множественностью не ниже заданной.

Моделирование установки СВД-2 выполнено с использованием МК пакета РУТНИА с вложением МФ по формуле Лоу и без ее включения [34]. Результаты этого моделирования показывают: в области  $p_T \leq 100$  МэВ/с включение в МК моделирования МФ приводит к заметному превышению их выхода над спектром, не включающим МФ.

Проведено МК моделирование работы ЭКМФ на установке НИС-ГИБС, расположенной на Нуклотроне ОИЯИ. После весеннего сеанса 2013 года ЭКМФ был перевезен в ЛФВЭ ОИЯИ и подключен к системе сбора данных для участия в сеансах 2014 и 2015 годов на установке НИС-ГИБС, расположенной на выведенном пучке Нуклотрона ОИЯИ. Получены первые результаты выхода МФ в  $d+C$  и  $Li+C$  взаимодействиях. Пучки дейтерия ( $d$ ) и лития ( $Li$ ) имели энергию 3,5 ГэВ/нукл, мишенью была углеродная ( $C$ ) пластинка толщиной 0,8 см.

В 51-м сеансе 2015 года ЭКМФ располагался на установке НИС-ГИБС под углом  $16^\circ$  относительно направления пучка Нуклотрона. Передняя плоскость кристаллов была удалена от мишени на расстояние 203 см. Оцифровка пластиковых сцинтилляторов осуществлялась САМАС ADC (Lecroy 2249A) и TDCs (Lecroy 2228A), оцифровка аналоговых сигналов калориметра выполнялась ADC СС-008. Использовались также САМАС и LE-88K крейт-контроллер с входом для триггерного сигнала. Крейт-контроллер был подсоединен к персональному компьютеру с PCI-OBUS интерфейсом. Программное обеспечение для сбора данных выполнялось в системе MIDAS (<http://midas.psi.ch>). По времени пролета (Time of Flight, ToF) нейтральной частицы между пучковым счетчиком и предливневым детектором (pre-shower) при условии отсутствия сигнала в переднем вето-детекторе было определено временное разрешение для  $d+C$  (632 пс) и  $Li+C$  (532 пс) взаимодействий (рис. 24) [34].

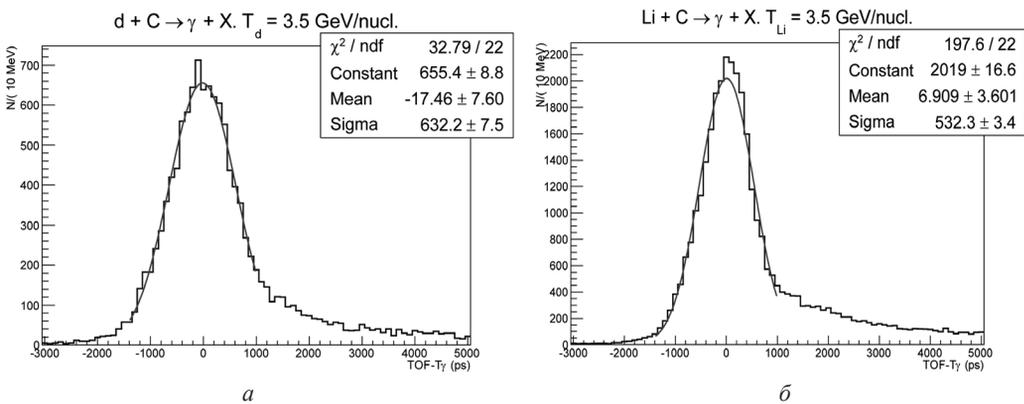


Рис. 24. Время пролета между пучковым счетчиком и предливневым детектором для нейтральных частиц (нет сигнала в переднем вето) в  $d+C$  (а) и  $Li+C$  (б) взаимодействиях [34]

Критерии отбора событий были следующие:

1. Энергия  $E$ , выделяемая в переднем вето-счетчике, меньше чем 0,3 МэВ;
2. Энергия, выделяемая в предливневом детекторе,  $0,5 < E < 4$  МПэ;
3. ТоF –  $1200 < t - t_\gamma < 600$  пс;
4. В одном из кристаллов выделяется энергии больше чем 2 МэВ;
5. Положение ливня в кристалле должно перекрываться по вертикали со сработавшим предливневым счетчиком;
6. Для предотвращения утечек требуется, чтобы энергия во внешнем слое кристалла составляла не более 1/3 от суммарной.

На рис. 25 приведены спектры фотонов в пластике предливневого счетчика для  $d+C$  (а) и  $Li+C$  (б). Сплошная линия хорошо иллюстрирует комптоновский пик (1 МПэ) и пик от конверсии  $\gamma$ -кванта в  $e^+e^-$ -пару (2 МПэ). Линия для  $TOF - t_\gamma > 1200$  пс почти незаметна.

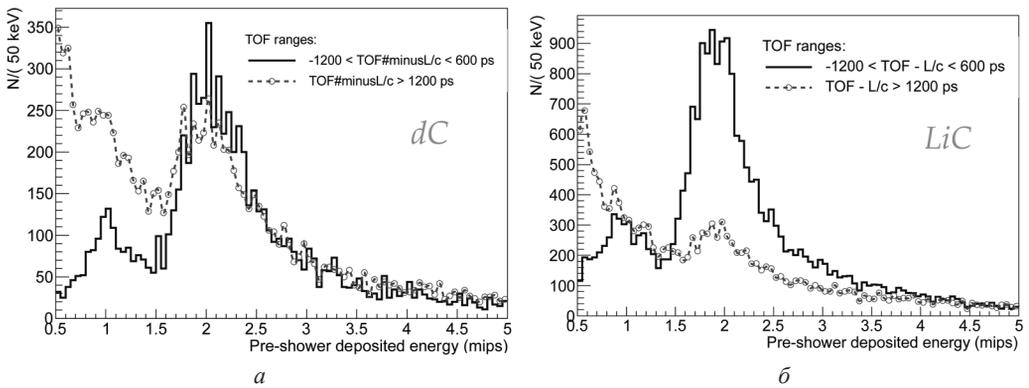


Рис. 25. Спектры нейтральных частиц в пластике pre-shower с временным отбором для пучков дейтерия (а) и лития (б) [34]

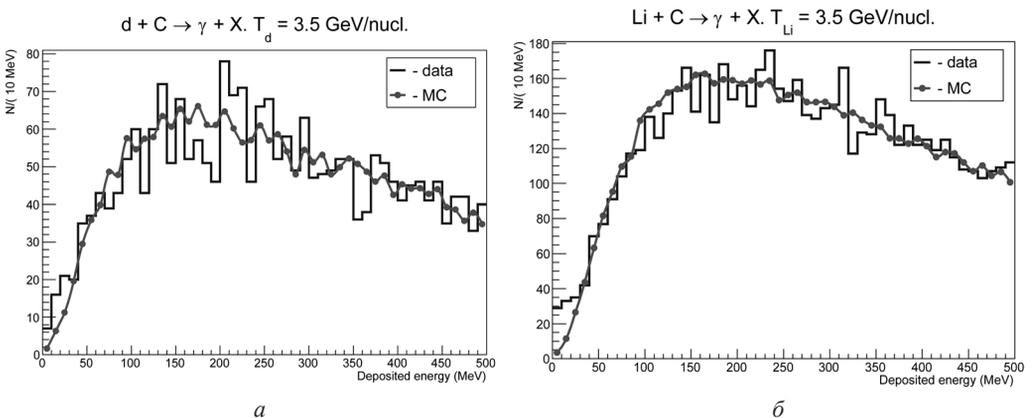


Рис. 26. Экспериментальные и моделированные спектры суммарной энергии в ЭЖМФ и pre-shower для пучков d (а) и Li (б) [34]

МК моделирование работы ЭКМФ выполнено с учетом последней его сборки и энергии пучков Нуклотрона 3,5 А ГэВ с помощью пакетов UrQMD + Geant-3.21. Версия Geant-4 при этих условиях показывает такой же результат. На рис. 26 спектры суммарной энергии, выделенной в калориметре и предливневом детекторе (pre-shower), сравниваются с результатами МК моделирования. В области энергии ниже 50 МэВ наблюдается заметное превышение экспериментальных данных над теоретическими предсказаниями МК-генератора.

Таким образом, выполнены первые экспериментальные исследования выхода МФ в адронных и ядерных взаимодействиях, получены их энергетические спектры в области низких энергий. Эти измерения свидетельствуют о заметном превышении выхода МФ по сравнению с предсказаниями МК генераторов. Начаты работы по включению ЭКМФ в систему сбора данных установки BM@N на Нуклотроне для исследования взаимодействий с тяжелыми ядрами.

Предлагается выполнить следующую физическую программу исследования протон-протонных и ядро-ядерных взаимодействий с регистрацией электромагнитным калориметром «шашлык», создаваемым для установки MPD строящегося коллайдера тяжелых ионов NICA [33]:

1. Поиск новых резонансов в системе двух  $\gamma$ -квантов.
2. Изучение повышенного выхода  $\eta^0$ -мезонов в АА-взаимодействиях.
3. Исследование интерференции пары фотонов – гамма фемтометрия.
4. Исследование спектра мягких фотонов в области менее 50 МэВ, в которой наблюдается аномальный выход фотонов, превышающий теоретический в 4–8 раз.
5. Поиск связи явлений конденсации пионов и аномальных МФ.
6. Поиск эффекта не сохранения  $p$ -четности в событиях с большой передачей импульса.

Работы по измерению топологических сечений и поиску коллективного поведения вторичных частиц в  $pp$ -соударениях были поддержаны БРФФИ и РФФИ грантами дважды (2006–2007, 2008–2009 гг.), БРФФИ и ОИЯИ (2010). Программа исследований мягких фотонов поддерживается с 2016 года БРФФИ и ОИЯИ грантом Ф16Д-009.

## Литература

1. Мурзин В. С., Сарычева Л. И. Взаимодействия адронов высоких энергий. М.: Наука, 1983. – 288 с.
2. Емельянов В. М., Тимошенко С. Л., Стриханов М. Н. Введение в релятивистскую ядерную физику. М., ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 272 с.
3. Авдейчиков В. В. и др. Рождение частиц в  $pp$ -взаимодействии с высокой множественностью при энергии протонов 70 ГэВ. Проект «Термализация». Сотрудничество ОИЯИ–НИИЯФ МГУ–ИФВЭ–ГГТУ–ОИЯЭИ НАНБ. Дубна, 2005. – 45 с. Препринт ОИЯИ; JINR-P1-2004-190.
4. Begun V. V., Gorenstein M. I. // Physics Letters B. 2007. Vol. 653. P. 190–195.
5. Begun V. V., Gorenstein M. I. // Physical Review C. 2008. Vol. 77. P. 064903 (9 p).
6. Barshay S. // Physics Letters B. 1989. Vol. 227. P. 279–284.
7. Мурзин В. С., Сарычева Л. И. Множественные процессы при высоких энергиях. М.: Атомиздат, 1974. – 253 с.
8. Adams J. et al. // Nuclear Physics A. 2005. Vol. 757, N 1–2. P. 102–183.

9. *Adcox K. et al.* // Nuclear Physics A. 2005. Vol. 757, N 1–2. P. 184–283.
10. *Khachatryan V. et al.* // JHEP. 2010. Vol. 09. P. 091 (37 p.).
11. *ATLAS Collaboration.* Two-particle Bose-Einstein correlations in *pp* collisions at  $\sqrt{s} = 0.9$  and 7 TeV measured with the ATLAS detector // Eur. Phys. J. 2015. Vol. C75. P. 466.
12. *Kokoulina E. S., Kutov A. Ya., Babichev L. F.* // Nonlin. Phenom. Complex Syst. 2007. Vol. 10, N 3. P. 291–296
13. *Kokoulina E., Kutov A., Nikitin V.* // Braz. J. Phys. 2007. Vol. 37. Iss. 2C. P. 785–787.
14. *Semenov S. V., Troshin S. M., Tyurin N. E., Khrustalev O. A.* // Ядерная физика. 1975. Vol. 22. P. 792–800.
15. *Чикилев О. Г., Шляпников В. П.* // Ядерная физика. 1992. Вып. 55. С. 779–783.
16. *Ammosov V. V. et al.* // Physics Letters B. 1972. Vol. 42. P. 519–521.
17. *Kokoulina E. S.* // Acta Phys. Polon. 2004. Vol. B35, N 1. P. 295–302.
18. *Kokoulina E. S., Kutov A. Ya., Nikitin V. A., Popov V. V.* // Письма в ЭЧАЯ. Тяжёлые ионы. А. 2011. Т. 8, № 8. С. 855–859.
19. *Рядовиков В. Н. от имени Сотрудничества СВД-2.* // Ядерная физика. 2012. Вып. 75, № 3. С. 343–348.
20. *Fruhworth R.* // Nucl. Inst. Methods in Physics Research A. 1987. Vol. 262. P. 444–450.
21. *Giovannini A.* // Nuclear Physics B. 1979. Vol. 161. P. 429–448.
22. *Kuraev E. A., Bakmaev E. A. S., Kokoulina E. S.* // Nucl. Phys. B. 2011. Vol. 851, Iss. 3. P. 551–564.
23. *Kokoulina E. S.* // Phys. Part. Nuclei Lett. 2016. Vol. 13. P. 74–78.
24. *Rushbrooke J. G., Webber B. R.* // Physics Reports. 1978. Vol. 44. P. 1–92.
25. *Csorgo T., Zimany J.* // Heavy Ion Physics. 1999. Vol. 9. P. 161–169.
26. *Voskresenskii D. N.* // Zh. Eksp. Teor. Fiz. 1993. Vol. 105. P. 1473–1497.
27. *Рядовиков В. Н. от имени Сотрудничества СВД-2.* // Ядерная физика. 2012. Т. 75, № 8. С. 1050–1059.
28. *Kokoulina E.* // Progress of Theoretical Physics Supplement. 2012. Vol. 193. P. 306–309.
29. *Lichard P.* // Physical Review D. 1994. Vol. 50. P. 6824–6835.
30. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Статистическая физика. М.: Физматлит, 2001. – 583 с.
31. *Schukraft J. HELIOS Collaboration.* // Nuclear Physics A. 1989. Vol. 498. P. 79–92.
32. *Perepelitsa V. F.* // Nonlin. Phenom. Complex Syst. 2009. Vol. 12. P. 343–347.
33. Nuclotron-based Ion Collider fAcility [Electronic resource]. – Mode of access: <http://nica.jinr.ru>. – Date of access: 14.02.2017.
34. *Ardashev E. et al.* // Eur. Phys. J. 2016. Vol. A52, N 8. P. 261.

ВЕСТНИК ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, № 1, 2017

*на русском и белорусском языках*

Редактор Т. П. П е т р о в и ч

Компьютерная верстка С. Н. К о с т ю к

Подписано в печать 07.03.2017. Выход в свет 27.03.2017. Формат 70 × 100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 8,94. Уч.-изд. л. 8,9. Тираж 134 экз. Заказ 29.

Цена номера: индивидуальная подписка – 7,57 руб.; ведомственная подписка – 7,71 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013.

Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, Минск.