



ВЫСОКАЯ НАУКА –
ОСНОВА ВЫСОКИХ
ТЕХНОЛОГИЙ

4

АНАЛИЗ
АСПЕКТОВ
КАЧЕСТВА

39

НАРАЩИВАНИЕ
ЭКСПОРТА
НАЧАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

59

ИСТОРИЯ
РУСИ
В ИСТОРИОГРАФИИ

68

Наука и инновации

№1 (263)
ЯНВАРЬ 2025

научно-
практический
журнал



ИННОВАЦИОННЫЕ
ТРАЕКТОРИИ

ФИЗИКИ

ISSN 1818-9857



9 771818 985001 0 1
ISSN 2412-9372 (online)



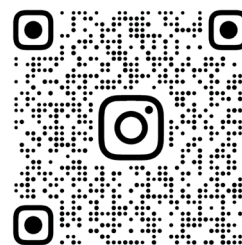
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ

ЛИДЕР В ОБЛАСТИ ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ
И ТЕХНИКИ В БЕЛАРУСИ С 70-ЛЕТНЕЙ ИСТОРИЕЙ

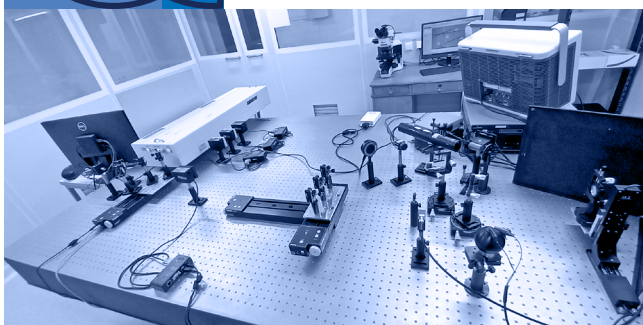
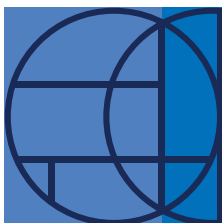
Центр испытаний лазерной техники

Аккредитован на соответствие требованиям
ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 (ISO/IEC 17025:2017, IDT)
как испытательная лаборатория
и как калибровочная лаборатория

Внесен в единый реестр
испытательных лабораторий (центров)
Таможенного союза



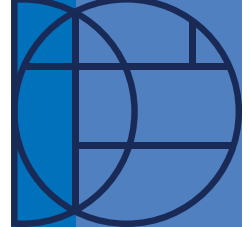
IFANBEL



Проводим измерения
всех характеристик
лазерного излучения

Гарантия точности
и достоверности
измерений

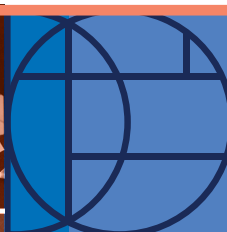
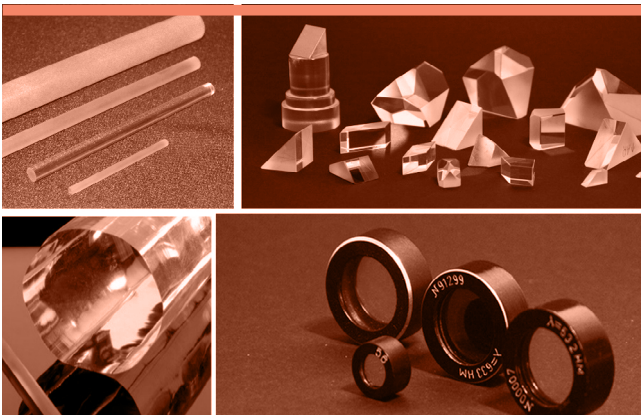
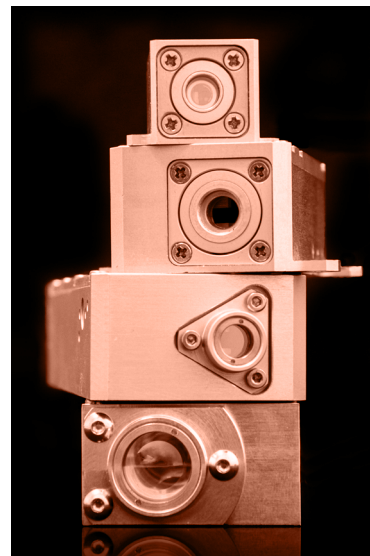




Научно-производственный центр оптико-электронного приборостроения специализируется на изготовлении высококачественных прецизионных оптических компонентов и оптико-механических узлов с использованием различных оптических материалов, включая кварцевое стекло, стеклокерамику Ситалл и ZERODUR, кристаллы алюмо-иттриевого граната Nd:YAG, лейкосапфир (Al_2O_3), CaF_2 , LiF, шпинель и др.

Центр «Лазерная техника и технологии» занимается разработкой и созданием лазерных систем для комплексов дальнометрии, спектроскопии, лидарной техники и медицины

Собственные механический и оптический отделы позволяют изготавливать лазеры с необходимыми характеристиками



г. Минск, пр. Независимости, 68-2
Тел.: +375 (17) 270-87-51
Факс: +375 (17) 270-88-79
<http://ifan.basnet.by>
E-mail: ifanbel@ifanbel.bas-net.by



Зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь, свидетельство о регистрации №388 от 18.05.2009 г.

Учредитель:

Национальная академия наук Беларуси

Редакционный совет:

В.Г. Гусаков –
председатель
совета

П.А. Витязь –
зам. председателя

С.А. Чижик –
зам. председателя

Ж.В. Комарова

В.Ф. Байнев

О.Ю. Баранов

А.И. Белоус

В.Г. Богдан

С.В. Гапоненко

В.Л. Гурский

А.Е. Дайнеко

А.И. Иванец

Н.С. Казак

А.В. Кильчевский

Э.И. Коломиец

С.А. Красный

М.В. Мясникович

О.Г. Пенязков

Ф.П. Привалов

С.П. Рубникович

О.О. Руммо

С.В. Харитончик

И.П. Шейко

А.Г. Шумилин

С.С. Щербаков

Главный редактор:

Жанна Комарова

Ведущие рубрик:

Ирина Емельянович

Наталья Минакова

Татьяна Жданович

Юлия Василишина

Дизайн и верстка:

Татьяна Аверкова

Адрес редакции:

220072, г. Минск, ул. Академическая, 1-129.

Тел.: (017) 351-14-46,

e-mail: nii2003@mail.ru,

www.innosfera.belnauka.by

Подписные индексы:

007 532 (ведомственная)

007 53 (индивидуальная)

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 9,8. Тираж 509 экз.

Цена договорная.

Подписано в печать 16.01.2025.

Издатель: РУП «Издательский дом «Беларуская навука». Свид. о гос. рег. №1/18 от 02.08.2013. г. Минск, ул. Ф. Скорины, 40. Заказ №4.

© «Наука и инновации»

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал обязательна. За содержание рекламных объявлений редакция ответственности не несет. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Содержание

ТЕМА НОМЕРА: ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАЕКТОРИИ ФИЗИКИ

Сергей Гапоненко, Екатерина Жарникова

Высокая наука – основа высоких технологий 4

Авторы рассказывают об истории, достижениях и открытиях Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, новых научных направлениях в области физической науки.

Сергей Килин

От квантовой оптики – к квантовой информатике 11

Описан процесс становления и развития двух важных направлений современной науки – квантовой оптики и квантовой информатики, возникшей на стыке квантовой механики, оптики, теории информации, дискретной математики и лазерной физики.

Юрий Курочкин

Исследования в области фундаментальных взаимодействий 18

Приведена краткая история возникновения, становления и современного состояния исследований в области фундаментальных взаимодействий в Институте физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси.

Евгений Луценко

Нитрид-галлиевая опто-, микро- и СВЧ-электроника 22

В статье рассмотрена история развития нитридных технологий в Республике Беларусь, а также становление и основные достижения отечественной эпитаксии III-нитридных наногетероструктур.

Максим Богданович, Геннадий Рябцев, Андрей Рябцев, Александр Григорьев

Высокотехнологичные твердотельные лазеры с диодной накачкой 29

Представлены подходы к проектированию и созданию современных лазерных излучателей с диодной накачкой и моделированию их рабочих характеристик.

Жанна Комарова

Научные разработки в действии 33

Успешные новаторы, выходцы Института физики им. Б.И. Степанова рассказывают о своем опыте коммерциализации научных разработок и о модели взаимодействия науки и бизнеса.

ЭКОНОМИКА КАЧЕСТВА

Лариса Скрипко

Эволюционный анализ развития экономических аспектов качества: зарубежный опыт 39

Рассматривается эволюция исследований экономических аспектов качества за рубежом с начала прошлого века до принятия последней версии стандарта ISO 10014 в 2021 г.

Елена Моргунова

Техники современного качества 45

В материале рассматриваются вопросы создания национальной инфраструктуры качества, продвижения современных технологий менеджмента и их перспективы, а также успехи белорусских предприятий в этом направлении.

ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ

Татьяна Сычева

Автомобильная промышленность Республики Беларусь на современном этапе 51

Автор исследует историю и преемственность в отечественном автопроме, анализирует основные проблемы отрасли, методы их решения, а также дальнейшие экономические перспективы.

ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЕКТОРЫ

Татьяна Вертинская

Наращивание экспорта халяльной продукции в Беларуси 59

Обоснована целесообразность формирования в Беларуси сектора производства и экспорта халяльной продукции и выявлены потенциальные импортеры.

Павел Шведко, Екатерина Тавгенъ

Выход белорусских экспортеров на рынки Белиза и Гватемалы 64

Анализируются перспективные направления развития внешнеторговых отношений Республики Беларусь с Белизом и Республикой Гватемала.

БЕЛОРУССКАЯ ИСТОРИОГРАФИЯ

Николай Смехович

История Руси в историографии и истории IX–X вв. 68

На основе древнейших летописей исследована первая историческая форма белорусской государственности. Доказано, что в IX в. Полоцк был политическим центром восточных славян.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Александр Шафорост, Евгений Воропаев

Изменение архитектоники мембраны эритроцитов у пациентов с COVID-19 и после него 74

Проанализировано изменение механических свойств мембраны эритроцитов у пациентов с протекающей или перенесенной инфекцией COVID-19. Выявленные различия в показателях могут быть использованы для оценки тяжести заболевания.

Алеся Становая, Мария Терехова, Виктор Абашкин, Егор Улащик, Дмитрий Щербин

Дендримерные многофункциональные комплексы для генетической терапии рака 78

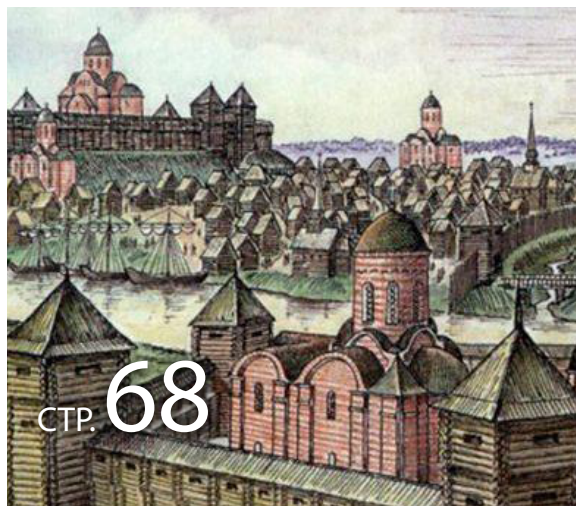
Представлен обзор наночастиц, перспективных для применения в лечении онкозаболеваний в качестве носителей лекарств и нуклеиновых кислот, а также данные об использовании многофункциональных наноконъюгатов в генной терапии и диагностике рака.

Дорогие наши читатели, коллеги, друзья!

Научно-практический журнал «Наука и инновации» приглашает вас к сотрудничеству! Журнал зарегистрирован в научной электронной библиотеке eLibrary. Научным публикациям присваиваются номера DOI. Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь журнал «Наука и инновации» включен в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по биологическим, медицинским, а также экономическим наукам (вопросы инновационного развития).

Чтобы опубликовать статью, необходимо направить ее на электронный адрес редакции: nii2003@mail.ru.

Правила публикации – на нашем сайте <https://innosfera.belnauka.by>, в разделе «О журнале» – «Прием статей».





Высокая наука — основа высоких технологий



Сергей Гапоненко,
директор Института
физики им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси,
академик



Екатерина Жарникова,
ученый секретарь Института
физики им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси, кандидат
физико-математических наук

Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси имеет богатую историю, насыщенную достижениями и открытиями в области физической науки, не только обогатившими научное сообщество, но и внесшими вклад в развитие страны и национальный суверенитет. Юбилей Института – это не только повод для празднования, но и возможность проанализировать достигнутые результаты, обсудить новые научные направления и укрепить позиции Института как ведущего научного центра Республики Беларусь.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси – уникальное учреждение в истории белорусской науки и национальное достояние нашей страны. Созданный 17.01.1955 г., за относительно короткий исторический период он вырос в крупный научный центр международного класса. Благодаря таланту и энергии основателей – А.Н. Севченко, Б.И. Степанова, Ф.И. Федорова, М.А. Ельяшевича, Н.А. Борисевича и их многочисленных учеников и соратников – в нашей стране появились научные школы мирового уровня в области оптики и спектроскопии, лазерной и теоретической физики и физики плазмы. 70-летняя история Института физики подтверждает, что высокие технологии вырастают из высочайшей науки.

Мы гордимся разработками в области лазерной техники и оптического приборостроения, космическими приборами, системами мониторинга атмосферы, национальными эталонами и стандартами, созданными нашими учеными. Институт физики стал подлинной школой лидеров: среди наших ученых – руководители государственных органов, Национальной академии наук, высших учебных заведений. Сегодня мы развиваем новейшие направления с большим практическим потенциалом: квантовую оптику и квантовую информатику, широкозонную микроэлектронику и нанофотонику, лазерную физику и технологии, современную прикладную спектроскопию и фотобиофизику. Прорабатываются новые идеи в физике плазмы, создаются уникальные научные приборы (некоторые из них задействованы в антарктических экспедициях), по-прежнему на высоте теоретические исследования фундаментальных взаимодействий, успешно работает опытное производство с уникальными специалистами. Институт организует и координирует государственные программы научных исследований, научно-технические программы и программы Союзного государства, эффективно взаимодействует с органами госуправления, университетами и предприятиями. Традиции, сформированные первыми поколениями сотрудников учреждения, продолжает наша замечательная молодежь.

На протяжении всей истории Института в нем были представлены все фазы инновационного процесса. Во-первых, академики А.Н. Севченко, Б.И. Степанов, Ф.И. Федоров и М.А. Ельяшевич организовали в БГУ кафедры и активно преподавали, что обеспечило непрерывный приток в науку талантли-

вой молодежи. Во-вторых, научные лидеры всегда ориентировались на передовые мировые достижения и ставили задачи соответствующего уровня. В-третьих, в Институте была сформирована и культивировалась творческая атмосфера и чувство коллективизма – то, что сегодня называют корпоративным духом. В результате были образованы, успешно действуют и развиваются международно признанные научные школы:

- *академика Степанова: лазерная физика, нелинейная оптика (более 50 докторов наук, среди них академики П.А. Апанасевич, В.С. Бураков, А.Н. Рубинов, А.С. Рубанов, В.А. Орлович, С.Я. Килин, С.В. Гапоненко, члены-корреспонденты А.А. Афанасьев, В.П. Грибковский, А.П. Иванов, Н.В. Тарасенко);*
- *академика Федорова: теоретическая физика, кристаллооптика, ядерная физика (более 40 докторов наук, среди них академики Б.В. Бокуть, А.М. Гончаренко, Н.С. Казак, В.Н. Белый, члены-корреспонденты А.А. Богуш, Л.М. Томильчик, В.П. Редько, И.В. Семченко);*
- *академика Севченко: атомная и молекулярная спектроскопия, фотобиофизика (около 20 докторов наук, среди них академики В.А. Пилипович, Г.П. Гуринович, член-корреспондент К.Н. Соловьев);*
- *академика Ельяшевича: атомная спектроскопия и физика плазмы (около 20 докторов наук, среди них академик Л.И. Киселевский);*
- *академика Борисевича: молекулярная спектроскопия (16 докторов наук, среди них академики А.П. Войтович, В.А. Толкачев, А.П. Шкадаревич, член-корреспондент С.А. Тихомиров).*

Уже через 10 лет после своего образования Институт физики насчитывал примерно 300 сотрудников и успешно участвовал в решении задач всесоюзного и мирового уровня в области теории лазеров (создание новых лазеров и лазерных систем; построение теории распространения электромагнитного излучения в сложных средах, его взаимодействие с веществом и воздействие на материалы); исследования плазмы и физических процессов при вхождении космических аппаратов в атмосферу; развития ковариантных методов в физике элементарных частиц, кристаллооптике и кристаллоакустике; оптического зондирования атмосферы и океана; фотофизики биомолекул, спектроскопии свободных молекул; оптического приборостроения. Впоследствии к указанным направлениям добавились исследование Земли из космоса и космическое приборостроение, оптика

полупроводников, лазерная медицина, научное приборостроение.

К концу 1980-х гг. в составе Института было более 20 лабораторий, конструкторское бюро, опытное производство, действовало отделение в Могилеве. Образование суверенной Республики Беларусь, формирование национальной системы управления исследованиями и разработками, эффективное взаимодействие с государственной системой повлияли на развитие Института в XXI в.: ученые учреждали предприятия, организовывали крупные прикладные направления государственных научных и научно-технических программ, участвовали в многочисленных международных проектах.

Наличие сильных научных школ позволило внести существенный вклад в решение важной государственной задачи по созданию полноценной национальной системы эталонов и стандартов, без которой невозможны ни деятельность современных предприятий, ни международная торговля. Под руководством В.А. Длугуновича в Институте физики разработано 10 из 66 эталонов, образующих сегодня государственную систему эталонов Республики Беларусь.

Среди ученых Института физики немало создателей и руководителей предприятий. Академик В.С. Бураков организовал и несколько лет руководил приборостроительным предприятием «ОПТРОН», которое специализируется на разработке и выпуске высокотехнологичной инновационной продукции в области механики и мехатроники, высокоэффективных изделий для предприятий агропромышленного комплекса, пожарного оборудования и персонального электрического транспорта.

Академик А.П. Шкадаревич создал и по сей день возглавляет научно-производственный центр

«ЛЭМТ» БелОМО – одно из передовых предприятий оптической отрасли Республики Беларусь в области наукоемких высокотехнологичных лазерно-оптических, оптико-механических и оптико-электронных приборов, изделий, узлов и лазерных систем для промышленности, медицины, строительства и военного дела.

А.М. Русецкий долгие годы руководил объединением «ПЛАНАР», где на базе самых современных технологий и синтеза последних достижений науки и техники в различных областях знаний разрабатывается специализированное технологическое оборудование для микроэлектроники.

В.Е. Матюшков являлся директором научно-производственного предприятия «Конструкторское бюро точного электронного машиностроения» («КБТЭМ-ОМО»), вице-президентом концерна «ПЛАНАР». Под его руководством и при его непосредственном участии создано более 30 видов лазерного оптико-механического технологического оборудования для электронной промышленности, причем установки лазерной ретуши фотошаблонов и лазерные генераторы изображений были освоены в серийном производстве на несколько лет раньше зарубежных аналогов.

Доктор технических наук Л.С. Корочкин – организатор и директор РУП «Криптотех» ГОЗНАКА – одного из самых современных полиграфических предприятий Беларуси, специализирующихся на выпуске пластиковых карт различного уровня и назначения, бланков ценных бумаг, документов и специальных материалов, используемых для защиты продукции от подделок.

Кандидат физико-математических наук С.С. Дворников – создатель и директор ЗАО «СОЛАР», которое на протяжении 30 лет является отечественным инновационным разработчиком и производителем оборудования для клиничко-диагностических лабораторий медицинских учреждений, лабораторий в области химии, биологии, экологии, ветеринарии, агрохимии, криминалистики, судебной медицины, энергетики и др.

Кандидат физико-математических наук, лауреат Государственной премии Республики Беларусь В.А. Кононов – организатор и директор белорусско-японского предприятия «ЛОТИС ТИИ», занимающегося разработкой и выпуском импульсно-периодических лазеров с ламповой накачкой, перестраиваемых лазеров на кристаллах титан-сапфира и форстерита, оптических параметрических генераторов, пикосекундных лазеров и специальных лазерных систем для научного и технологического при-

Институт физики в цифрах

7500	Научных статей Института размещены в библиометрической базе Scopus
142	Сотрудника Института физики стали докторами наук
19	Сотрудника Института физики возглавили вузовские кафедры
2	Работы отмечены Ленинскими премиями
8	Работ удостоены Государственных премий СССР
17	Государственных премий БССР и Республики Беларусь
21	Сотрудник Института избран академиком
11	Сотрудников стали членами-корреспондентами Академии наук БССР и НАН Беларуси
10	Национальных эталонов создано учеными Института физики



Победители конкурса «Топ-10 результатов НАН Беларуси» в 2020 г.: А.В. Микулич, В.Ю. Плавский, А.И. Третьякова, И.А. Леусенко

менения, а также multifunctional лазерных комплексов для обучения студентов.

Доктор физико-математических наук, лауреат Государственной премии Республики Беларусь Л.В. Танин создал предприятия «Магия света» и «Голографическая индустрия». Первое разрабатывает и производит голографическую продукцию, популяризирует художественную голографию, тесно сотрудничая с музеями, Министерством образования, Белорусской православной церковью (по созданию голографических образов икон). Второе специализируется на выпуске голографической продукции для маркировки и идентификации широкого круга товаров, ценных бумаг и документов.

Сегодня в 15 научных центрах Института физики работает около 200 научных сотрудников (среди них 33 доктора и 85 кандидатов наук), действует научно-производственный отдел по разработке и выпуску мелких партий уникальных оптических и лазерных изделий. Ключевыми направлениями, характеризующими наши научные исследования, сегодня являются:

- *квантовая оптика, квантовая информатика, искусственные нейронные сети* (С.Я. Килин, Д.С. Могилевцев, А.П. Низовцев, А.Б. Михальчев, В.Н. Чижевский, Л.И. Ридико);
- *физика фундаментальных взаимодействий, ядерная физика и астрофизика* (Ю.А. Курочкин, В.М. Редьков, Д.В. Шелковий, Н.О. Прокопеня);
- *фотобиофизика, биофотоника, лазерная и плазменная медицина* (Б.М. Джагаров, В.Ю. Плавский, Л.В. Симончик, А.В. Казак);
- *эффективные твердотельные лазерные системы, генерирующие импульсы пико- и фемтосекундной длительности*

(Г.И. Рябцев, В.А. Орлович, С.А. Тихомиров, М.В. Богданович, А.В. Григорьев и др.);

- *широкозонная микро- и оптоэлектроника* (Г.П. Яблонский, Е.В. Луценко и др.);
- *физика наноструктур, нанофотоника, наноплазмоника, незрмитова оптика* (С.В. Гапоненко, Д.В. Новицкий, О.Н. Третинников, Н.В. Тарасенко, О.С. Кулакович и др.);
- *новая спектроскопия: бесселевы пучки, метаматериалы, терагерцовая техника* (В.Н. Белый, С.Н. Курилкина, А.А. Рыжович, П.К. Петров, А.В. Ляхнович);
- *оптическая и лазерная метрология* (В.А. Длугунович, А.В. Исаевич, С.В. Никоненко и др.);
- *лазерные промышленные технологии* (И.С. Никончук, М.С. Леоненя, Е.С. Жарникова и др.);
- *научное, аналитическое, промышленное приборостроение* (М.В. Бельков, В.Ю. Плавский, А.Н. Чумаков, В.С. Калинов и др.);
- *мониторинг атмосферы от Европы до Антарктики и создание соответствующей аппаратуры* (А.П. Чайковский, А.В. Малинка, М.М. Король и др.).

Наиболее яркие научные результаты последних лет

Под руководством академика С.Я. Килина активно развивается квантовая информатика – новое направление на стыке квантовой механики, оптики, теории информации и программирования, дискретной математики, лазерной физики и спектроскопии. Оно включает в себя вопросы квантовых вычислений, компьютеров, телепортации, криптографии, проблемы декогеренции и спектроскопии одиночных молекул и примесных центров. Нашими учеными впервые предложено и обосновано применение NV-центров (центров азот-вакансия) в алмазе для квантовых технологий. Ими реализована первая в СНГ волоконно-оптическая система квантовой криптографии на основе временного кодирования однофотонных импульсов. Серия разработанных и созданных уникальных высокоскоростных генераторов случайных бит на одиночных фотонах используется в системах защиты информации. В ближайшие годы планируется создать эмулятор 30-кубитного квантового компьютера. Кроме того, предложено использовать оптоэлектронную пару «вертикально-излучающий полупроводниковый



Участник белорусской антарктической экспедиции 2023–2024 гг. Владислав Базылевич готовится к натурному эксперименту в Антарктиде. На вставке – настройка аппаратуры в лаборатории



В центре «Широкозонная нано- и микроэлектроника»

лазер – однофотонный лавинный фотодиод» как основу искусственного нейрона. Экспериментально реализована сеть из 6 искусственных нейронов.

В области физики фундаментальных взаимодействий отметим участие 6 сотрудников Института во главе с Ю.А. Курочкиным в коллаборации ATLAS, сообщившей в 2012 г. об открытии бозона Хиггса. Сегодня Д.В. Шелковый и другие сотрудники участвуют в международном мегапроекте COMET, направленном на развитие Новой физики, то есть физики за рамками Стандартной модели. В.М. Редьков с сотрудниками работает над теорией элементарных частиц в пространствах Лобачевского, Римана, де Ситтера. Научный коллектив под руководством Ю.А. Курочкина показал, что, в отличие от плоского,

в трехмерных пространствах постоянной кривизны операторы сохраняющихся величин в задачах квантовой механики образуют не алгебру Ли, а новые структуры – деформированные алгебры. Особое внимание заслуживает участие сотрудников Института физики в ядерно-физических экспериментах в ОИЯИ (Дубна), а также создание погружного гамма-спектрометра для исследования радиоактивного загрязнения морских акваторий (А.В. Науменко, по заказу Института океанографического приборостроения, КНР).

В области фотобиофизики, биофотоники, лазерной и плазменной медицины активно работают ученые нескольких научных центров Института физики. Под руководством В.Ю. Плавского установлена важная роль эндогенных порфиринов как внутренних фотосенсибилизаторов, ответственных за разрушение раковых клеток при воздействии излучением синего диапазона. Развита принципы антимикробной фотодинамической терапии, основанной на фотодеструкции микроорганизмов при сочетанном воздействии красителя-сенсибилизатора и оптического излучения. Совместная работа физиков и микробиологов показала возможность фотоинактивации различных типов микробных клеток без применения экзогенных фотосенсибилизаторов. Под руководством Б.М. Джагарова выполнены систематические исследования фотоиндуцированных процессов в гемоглобине и миоглобине с использованием метода лазерной кинетической спектроскопии в растворах и золь-гель матрицах, а также методом молекулярной динамики. Продолжается разработка фотосенсибилизаторов нового поколения с активными и пассивными системами доставки, в качестве которых изучены белки плазмы крови, наночастицы цеолита и алмаза (В.А. Лапина с сотрудниками). Построены алгоритмы анализа биомедицинских данных на основе искусственного интеллекта (М.В. Войтикова). Создан аппарат генерации воздушной плазменной струи «Алоэ» на основе тлеющего микроразряда в воздухе для деконтаминации поверхностей медицинского оборудования при атмосферном давлении и заживления ран, который в настоящее время находится на стадии клинических испытаний (Л.В. Симончик, А.В. Казак).

Активно развивается направление, связанное с разработкой лазерной и оптической аппаратуры для исследования атмосферы, методик анализа результатов наземных и спутниковых измерений. Под руководством А.П. Чайковского созданы новые лазерные лидары для стран Евросоюза (Рамочная программа ЕС)

и Китая (Институт океанографического приборостроения Академии наук провинции Шандунь), а также серия приборов для Белорусской антарктической станции. В ходе 15-летних наблюдений (с 2008 г.) с участием сотрудников Института физики в составе антарктических экспедиций получены данные о долговременных изменениях содержания взвешенных частиц в атмосфере Антарктиды, выявлена тенденция увеличения концентрации мелких частиц в нижней стратосфере (10–20 км). Разработан новый метод восстановления параметров аэрозоля по данным, полученным с помощью наземных радиометрических станций и спутникового лидара.

В области физики наноструктур и нанофотоники разработаны и реализованы новые методы получения наночастиц полупроводников (квантовые точки), металлов и их оксидов (центр «Физика плазмы», рук. Н.В. Тарасенко, и центр «Нанофотоника», рук. Д.В. Новицкий). Построена последовательная теория гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) света в металлodieлектрических наноструктурах с учетом усиления локального поля изменения локальной плотности фотонных состояний и разработаны эффективные методы описания плазмонных эффектов для различных оптических и фотоиндуцированных процессов (С.В. Гапоненко, Д.В. Гузатов); обнаружено, исследовано и применено в изучении объектов культурного наследия усиленное комбинационное рассеяние неорганическими микрокристаллами в составе художественных пигментов (Е.В. Шабуня-Клячковская с сотр.), впервые получено плазмонное усиление фотолюминесценции полупроводниковых нанокристаллов, а также реализовано плазмонное уси-

ление фотолюминесценции ряда меченых антител (О.С. Кулакович с сотр.). Д.В. Новицкий предсказал ряд особенностей динамики распространения и столкновений импульсов света в резонансных средах, обнаружил эффект самозахвата импульса света в нелинейных фотонных кристаллах, изучил условия локализации излучения в разупорядоченных нелинейных слоистых структурах и начал систематические исследования в области неэрмитовой фотоники, включая взаимодействие излучения с РТ-симметричными структурами. О.Н. Третьников с сотрудниками разработал метод синтеза люминесцирующих нанокластеров серебра в полимерной пленке. В центре «Фотоника и фотохимия молекул» А.Ю. Панариным и С.Н. Тереховым разработаны принципы создания эффективных ГКР-активных подложек на основе металлизированного пористого кремния. Под руководством Н.В. Тарасенко сформировано новое научное направление – плазмоактивированный синтез наноразмерных частиц металлов, их сплавов и химических соединений в жидкости, определены условия контролируемой модификации наночастиц под действием лазерного излучения.

Под руководством Г.П. Яблонского и Е.В. Луценко в центре «Широкозонная нано- и микроэлектроника» успешно развиваются исследования в области широкозонной микроэлектроники на основе молекулярно-пучковой эпитаксии GaN-гетероструктур. Применение высокотемпературной аммиачной молекулярно-пучковой эпитаксии зародышевых и буферных слоев AlN на подложках сапфира позволило получить рост слоев ступеньками из двух атомарных слоев, что привело к уменьшению плотности



Молодые сотрудники Института физики НАН Беларуси, 2024 г.

дислокаций и увеличению кристаллического качества слоев AlN. Последующая оптимизация температуры аммиачной эпитаксии слоев AlGaIn и гетероструктур транзисторов с высокой подвижностью электронов AlGaIn/GaN позволили вырастить на сапфире гетероструктуры с двумерным электронным газом на уровне лучших мировых образцов. Обсуждается возможность перехода к технологии «нитрид галлия на карбиде кремния».

Под руководством Г.И. Рябцева и М.В. Богдановича разработана серия современных твердотельных лазеров повышенной эффективности, отличающихся использованием полупроводниковых диодных лазеров как источников оптического возбуждения, высоким качеством генерируемого излучения, широким интервалом температуры окружающей среды (от -40 до $+50$ °C). Такие приборы являются практически безальтернативными источниками излучения для систем дальнометрии, спектроскопии, медицины, космических применений и целого ряда устройств специального назначения, составляя основу уникальных научных комплексов, разрабатываемых в других научных подразделениях Института физики и успешно работающих в Европе, Азии и в Антарктиде.

В центре «Диагностические системы» под руководством В.Н. Белого развиваются новейшие направления современной спектроскопии: генерация бес-

селевых лазерных пучков, создание метаматериалов, терагерцовая спектроскопия. В настоящее время значительное внимание во всем мире уделяется исследованию искусственных структур, которые обладают необычными физическими свойствами, не присущими естественным материалам. Среди таких материалов наибольший интерес вызывают метаматериалы и метаповерхности в оптическом, терагерцовом и СВЧ-диапазонах спектра.

Учеными Института физики исследованы особенности возбуждения в метаматериалах плазмонов, благодаря которым возможно наблюдение наноразмерных деталей изображения с помощью суперлинзы. Впервые обнаружен и изучен новый тип плазмонов, локализованных у границы раздела диэлектрика и металла – бесселевы мультиплазмон, характеризующийся наличием ярко выраженных, симметрично расположенных в приосевой области сверхузких (с размером несколько десятков нанометров) максимумов интенсивности. Показано, что он перспективен для нового вида виртуальных оптических квазибездифракционных зондов для ближнепольной микроскопии.

Эффективно работает Научно-производственный центр оптико-электронного приборостроения (рук. Л.И. Будник), в котором разрабатываются и производятся специализированные компоненты лазерной и оптической техники. Работают отраслевые лаборатории, созданные совместно с Министерством промышленности и Государственным комитетом по стандартизации.

Ученые Института физики вносят большой вклад в развитие современной науки, используя накопленный потенциал, опираясь на проведенные исследования и научно-технические разработки. У нас замечательная молодежь: 75 молодых ученых, аспирантов и магистрантов проводят конференции, активно участвуют во всех номинациях научных конкурсов (стипендии Президента Республики Беларусь, конкурсы на соискание именных премий Национальной академии наук, «100 идей для Беларуси», «100 инноваций молодых ученых»), в общественных и спортивных мероприятиях Академии наук. Активно работает Совет молодых ученых во главе с Дарьей Василевской. Наши ученые читают лекции в университетах, организуют выполнение лабораторных работ в стенах своего научного учреждения, работают с талантливыми школьниками в лицеях, гимназиях, Детском технопарке. В XXI век Институт физики вошел уверенно: с новыми лидерами, идеями и направлениями, он активно работает на благо сильной и процветающей Беларуси. ■

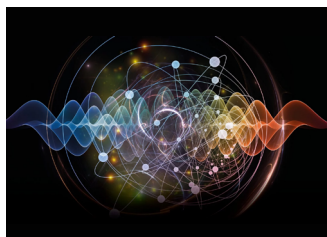


Наша молодежь: будущее Института в надежных руках



Сергей Килин,
руководитель Центра
«Квантовая оптика и
квантовая информатика»
Института физики
им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси

От квантовой оптики — к квантовой информатике



Новое направление в физике — квантовая информатика — возникло на стыке квантовой механики, оптики, теории информации, дискретной математики, лазерной физики, спектроскопии и включает в себя вопросы квантовых вычислений, квантовых компьютеров, квантовой телепортации, квантовой криптографии, проблемы декогеренции и спектроскопии одиночных молекул и примесных центров.

Становление и развитие двух важных направлений современной науки — квантовой оптики и квантовой информатики — совпало с научной историей развития лабораторий Института физики и его сотрудников. Этому предшествовал ряд замечательных открытий и событий. В 1906 г. А.А. Марков написал работу «Распространение закона больших чисел на величины, зависящие друг от друга» [1] и рассмотрел случайный процесс переходов в системе, у которой имеется два состояния: $x=0$ и $x=1$. На современном языке этот объект именуется двухуровневой системой, а в квантовой физике носит название кубита. Случайные переходы между этими состояниями есть пример марковской цепи. Свойство, определяющее данные процессы, кратко формулируют еще и так: «Прошлые состояния не имеют влияния на будущие при заданном нынешнем». Марковские случайные процессы — ключевые для современных исследований и широких приложений в физике, биологии, информационных технологиях. Для нас очень важно, что они имеют обобщение и на квантовую физику, где математическая трактовка состояния становится не просто номером, фиксирующим классическое свойство объекта (белый шар, черный шар), а более сложным явлением, в котором изначально заложено понятие вероятности. В 1922 г. на научном небосклоне появляется новая

звезда — 24-летний В.А. Фок, выпускник физико-математического факультета Петроградского университета, вхождение в науку которого совпало со временем формирования квантовой механики (это событие будет отмечаться в 2025 г. как Международный год квантовой науки и технологий). Предложенное в 1900 г. М. Планком квантование энергии поля для объяснения спектра теплового излучения, поддержанное объяснением А. Эйнштейна в 1905 г. фотоэффекта на основе гипотезы о том, что свет не только излучается, но и существует в виде световых квантов, фотонов, а также представленной им же в 1916 г. теорией испускания и поглощения фотонов как случайных событий, определяемых вероятностями A и B (коэффициентами Эйнштейна), сопровождающихся переходами между состояниями атома в соответствии с идеями Н. Бора о скачках, было в основном принято физиками. Однако нельзя было просто отбросить старую волновую теорию света. Кроме того, оставался необъясненным аномальный эффект Зеемана, поскольку еще не был открыт спин электрона. Базовые положения, завершившие построение каркаса квантовой теории, были сформированы за фантастически короткий период 1925–1926 гг. [2]. Сначала Д. Бройль понял, что в основе должны быть «волны материи», В. Паули открыл принцип запрета, а Гейзенберг совместно

с М. Борном и П. Йорданом сформулировали матричную (операторную) механику, где вместо классических переменных появились операторы. Четыре сообщения Э. Шредингера, опубликованные 1926 г. в журнале «Annalen der Physik» под общим заглавием «Квантование как проблема собственных значений», превратили идеи Бройля в квантовую волновую механику, основным объектом которой стала волновая функция, зависящая от времени и координат частиц (координатное представление). Получив с задержкой номер «Annalen der Physik» с первым сообщением Э. Шредингера, В.А. Фок обобщает его уравнение на случай сил, зависящих от скорости, и направляет в журнал «Zeitschrift für Physik» статью «О волновой механике Шредингера» [3] почти в то же время, когда вышел журнал со вторым сообщением этого автора. Как написано в аннотации работы, в ней: «Волновое уравнение Шредингера обобщено на случай наличия линейных членов (по скоростям) в функции Лагранжа и рассмотрены некоторые примеры квантования в координатном представлении». Спустя 10 лет в 1936 г. в Ленинграде под научным руководством В.А. Фока белорусский физик Ф.И. Федоров защитил кандидатскую диссертацию «Применение метода функционалов к некоторым вопросам теории излучения». А будущий основатель и директор Института физики АН БССР Б.И. Степанов в этом же году окончил Ленинградский госуниверситет и поступил в аспирантуру ГОИ, заместителем директора которого по научной части был С.И. Вавилов (в 1933 г. он впервые экспериментально подтвердил квантовый характер света, используя единственно доступный на то время детектор одиночных фотонов – человеческий глаз [4]). Работы С.И. Вавилова по люминесценции и микроструктуре света во многом сформировали направления исследований Б.И. Степанова, который после переезда в Минск получил один из фундаментальных результатов квантовой оптики: показал, что спектры поглощения и люминесценции сложных молекул связаны между собой соотношением, не зависящим от индивидуальных свойств молекул. Этот результат известен как универсальное соотношение Степанова. 1957 г. знаменателен тем, что английские физики Х. Браун и Р. Твисс впервые использовали интерферометр интенсивностей, измеряющий одну из основных величин современной квантовой оптики – корреляционную функцию для определения угловых диаметров планет и звезд. Наблюдения исследователей продемонстрировали эффект группировки фотонов для теплового излучения звезд.

Эра квантовой оптики

Создание в 1954 г. мазера и в 1960 г. лазера поставило перед учеными принципиальный вопрос: чем отличается лазерный свет от теплового излучения? Ведь оба типа светового потока образованы фотонами. Ответ дал в своей квантовой теории когерентности в 1963 г. (именно этот год считается началом эры квантовой оптики) Р. Глаубер на основе когерентных состояний. В этом же году учеником Б.И. Степанова – П.А. Апанасевичем – был предсказан основополагающий квантово-оптический эффект: расщепление спектров резонансной флуоресценции и поглощения на триплеты (на 6 лет раньше работы Моллоу, именем которого часто называют такой триплет). В работах П.А. Апанасевича и С.Я. Килина в 1977 г. было показано, что при резонансной флуоресценции на отдельном атоме может наблюдаться как антигруппировка фотонов, так и группировка разночастотных фотонов. Антигруппировка фотонов при резонансной флуоресценции была наблюдаема впервые Г.Д. Кимблом с соавторами также в 1977 г., а группировка разночастотных фотонов – в 1980 г. А. Аспэ и К. Коэн-Таннуджи с соавторами. Квантовая теория резонансного рассеяния одиночными атомами и их ансамблями, разработанная С.Я. Килиным в 1976–1982 гг., отмечена премией Ленинского комсомола Беларуси. Во второй половине 1980-х гг. А.П. Низовцев и С.Я. Килин показали, что стохастические процессы взаимодействия квантовых систем с окружением, обычно рассматриваемые как марковские случайные процессы, под воздействием лазерного излучения становятся немарковскими, что приводит к зависимости параметров релаксации от лазерного поля. Данная теория нашла применение для описания широкого круга квантовых систем – примесных ионов в кристаллах, стеклах, а в последующем – квантовых точек в полупроводниках и люминесцирующих молекул. В эти же годы в связи с открытием нового класса неклассических состояний света, сжатых состояний, флуктуации одной из квадратурных компонент которых ниже вакуумных, в институте были проведены исследования и получены принципиальные результаты: установлен критерий сжатия многомодовых полей на основе введенного понятия аномальных корреляторов, предложен способ генерации сжатых состояний с помощью четырехфотонного рассеяния (С.Я. Килин).

Одновременно как результат развития детекторов одиночных фотонов и экспериментальных возможностей наблюдения квантовых скачков в



Монография
С.Я. Килина «Квантовая
оптика: поля и их
детектирование»

одиноким излучателем, проявляющимся при излучении детектируемого фотона, была разработана теория непрерывных квантовых наблюдений (квантовых скачков) (С.Я. Килин, 1989 г.), позволяющая симулировать квантовые траектории – последовательность состояний квантовой системы, сменяемых при каждом акте наблюдения. Теория была применена для моделирования квантовых траекторий поля в открытом резонаторе при регистрации

вылетевших фотонов и атомарных квантовых скачков. Эти результаты были представлены в 1990 г. в одной из первых монографий по квантовой оптике «Квантовая оптика: поля и их детектирование» С.Я. Килина. В 1986 г. в Минске в Институте физики состоялся первый Всесоюзный семинар по квантовой оптике СКО, проводимый далее раз в два года и давший начало серии успешных международных конференций, сначала по квантовой оптике ICQO, а впоследствии – по квантовой оптике и квантовой информатике ICQOQI.

Начало 90-х было ознаменовано получением новых результатов в области квантовой оптики резонаторов, важных для развития оптических стандартов частоты и времени. Был предсказан эффект одноатомной оптической фазовой би- и мультистабильности в высокодобротном резонаторе (С.Я. Килин, Т.Б. Криницкая). Изучая модель квантового осциллятора, связанного с набором (бассейном) осцилляторов с непрерывным спектром

частот и произвольным спектром констант взаимодействий, С.Я. Килин и Д.С. Могилевцев показали, что при наличии параболического провала в спектре констант взаимодействий вместо ожидаемого затухания выделенного осциллятора будет наблюдаться эффект замораживания распада. Одной из физических реализаций таких систем стали фотонные кристаллы, предложенные в 1987 г. Э. Яблоновичем. Одним из первых объектов квантовой оптики с макроскопическими проявлениями квантовых флуктуаций стало вынужденное комбинационное рассеяние, статистика которого была исследована в работах С.Я. Килина, И.И. Федчени, В.А. Орловича и А.С. Грабчикова. На основе теории непрерывных квантовых измерений разработана новая модель для описания детектирования при наличии обратной связи между излучением и детектором (С.Я. Килин, Д.Б. Хорошко, 1994 г.). Это позволило объяснить наблюдавшееся парадоксальное различие в статистике фотоотсчетов двух детекторов, измеряющих одно и то же излучение в разных условиях (один включен в цепь обратной связи, другой – нет), и сделать вывод о статистической неэквивалентности фотоэлектронов и фотонов в этом случае. В 1995 г. был разработан метод квантовой инженерии, позволяющий создавать фоковские и другие неклассические состояния света на основе унитарных преобразований, реализуемых методами нелинейной оптики (С.Я. Килин, Д.Б. Хорошко). Рассматривая резонансную флуоресценцию атома в поле, образованном суперпозицией когерентных состояний с противоположными фазами, С.Я. Килин с В.Н. Шатохиным в 1996 г. предсказали эффект квантовой нестабильности дипольного момента атома. Вторая половина 90-х отмечена интенсивным освоением новых одиночных квантовых объектов. Своеобразным и важным



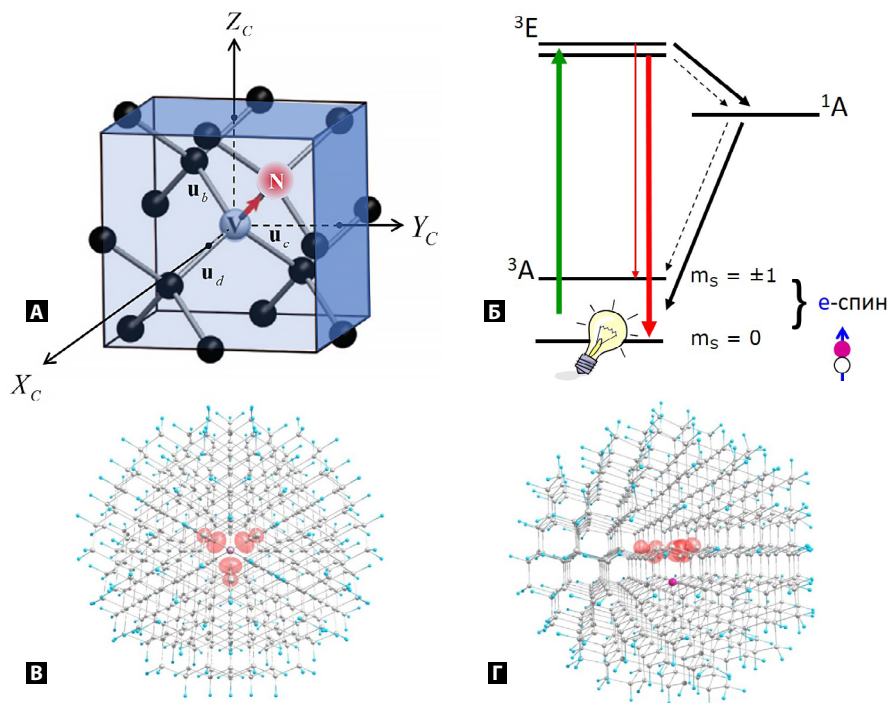
Международная
конференция
по квантовой оптике
ICQO'2000. Раубичи,
2000 г.

обобщением модели атома, локализованного в резонаторе, становится одиночная молекула, сосредоточенная естественным образом внутри кристаллического, квазикристаллического или аморфного тела. Такой объект стал экспериментально доступным благодаря развитию методов спектроскопии одиночных молекул. Отдельная молекула служит зондом локальных полей, а регистрируемые оптические спектры и задержанные корреляции фотонов позволяют получать уникальную информацию о динамике этих полей. В цикле совместных работ белорусских, немецких и американских ученых С.Я. Килина, А.П. Низовцева, В.Н. Шатохина, Т.М. Маевской, К. фон Борцисковски, Й. Врахтрупа и П. Бермана была развита теория квантовых скачков одиночных молекул хромофора в различных средах и на ее основе предложен метод контроля стохастической динамики отдельной молекулы, а также возможность подавления процесса туннелирования с помощью низкоинтенсивного когерентного излучения. В это же время получены первые результаты в успешной серии работ по квантовой томографии состояний оптических полей, благодаря которой волновая функция становится объектом измерений. В 1998 г. Д.С. Могилевцев предложил метод реконструкции состояний поля с помощью бинарных детекторов, а В.А. Запороженченко создал установку для квантовых томографических измерений волновых функций слабых, повторяющихся ультракоротких оптических полей.

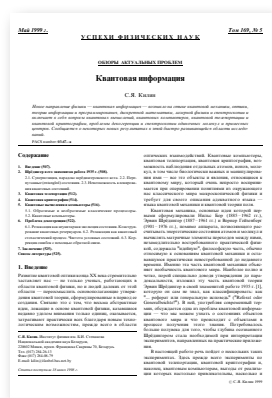
Эра квантовой информатики

Интенсивный прогресс в области квантовой оптики совпал с весьма своевременным образованием в институте в 1994 г. лаборатории квантовой оптики (ЛКВО). Новый мощный импульс развитию работ по квантовой тематике придали работы Б. Шора (1994) и Л. Гровера (1996), предложивших два алгоритма, которые, будучи реализованными с помощью двухуровневых систем, кубитов, позволяли бы решать задачи, недоступные для классических компьютеров. С этого времени начинается эра квантовой информатики.

Для создания квантового компьютера надо научиться точно управлять одиночными кубитами в суперпозиционных состояниях и их парами. Особым образом коррелированные пары кубитов образуют важнейший квантовый ресурс – перепутанные состояния. С их помощью достигаются уникальные возможности: квантовые вычисления, телепортация, высокоточные квантовые измерения, протоколы квантовой криптографии. Так, в 1997 г. А. Цайлингер с соавторами впервые экспериментально



Структура NV-центра в алмазе – важного ресурса для квантовых технологий, которым можно управлять и регистрировать оптический отклик на уровне одиночных электронных и ядерных спинов (А) благодаря основному триплетному состоянию электронного спина (Б). Рисунки (В) и (Г) демонстрируют распределение спиновой плотности, рассчитанной для кластера $C_{510}[NV]H_{252}$ квантовохимическими методами на суперкомпьютере: (В) – вид сверху параллельно оси NV, (Г) – вид сбоку. Авторы: А.Л. Пушкарчук, А.П. Низовцев, С.Я. Килин



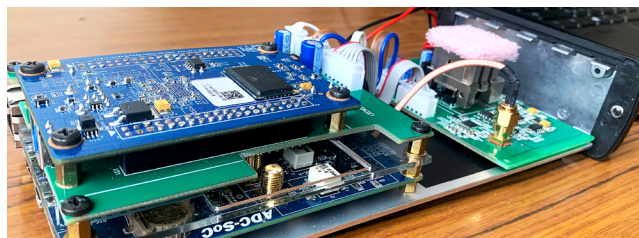
Титульная страница обзора С.Я. Килина в журнале «Успехи физических наук», 1999 г.

продемонстрировали квантовую телепортацию фотонов. Сделано это было с помощью перепутанных пар фотонов (бифотонов), генерируемых при параметрическом рассеянии света, – явления, предсказанного Д. Н. Клышко в 1967 г. Сотрудники лаборатории квантовой оптики одни из первых осознали важность задач квантовой информатики и возможностей, которые представляет квантовая оптика для их решения. Им принадлежат одни из первых обзоров этой проблемы [5], а также ряд важных результатов в области квантовой информации и квантовых компьютеров. Исследуя пути преодоления одного из основных препятствий на пути создания универсальных квантовых процессоров – явления декогерентности (потери когерентности, растущей экспоненциально с увеличением числа задействованных кубитов), С.Я. Килин и Д.Б. Хорошко в 1997 г. предложили активный метод, существенно уменьшающий декогеренцию суперпозиционных состояний оптических полей в резонаторе при использовании фазовой обратной связи. Ими также разработана в 2000 г. новая схема и протокол для квантовой телепортации сжатых состояний одномодового оптического поля, основанные на использовании перепутывания двух оптических пучков при квантовых неразрушающих измерениях.

Значительным вкладом в развитие квантовых технологий, определившим целое направление дальнейших работ, стал предложенный в 2000 г. С.Я. Килиным, А.П. Низовцевым и Й. Врахтрупом новый метод создания твердотельного квантового процессора на основе спиновых состояний ядер изотопического углерода в ближайшем окружении NV-центра в алмазе и комбинированного применения методов оптической спектроскопии одиночных молекул и магнитного резонанса. При разработке этого способа были использованы многочисленные результаты, полученные авторами ранее в области спектроскопии одиночных молекул. Белорусскими академическими учеными реализована первая в СНГ волоконно-оптическая система квантовой криптографии (С.Я. Килин, Д.Б. Хорошко, В.Н. Чижевский, Д.И. Пустоход, А.С. Малоштан, 2007 г.) на основе временного кодирования однофотонных импульсов. В том же году под редакцией С. Я. Килина,



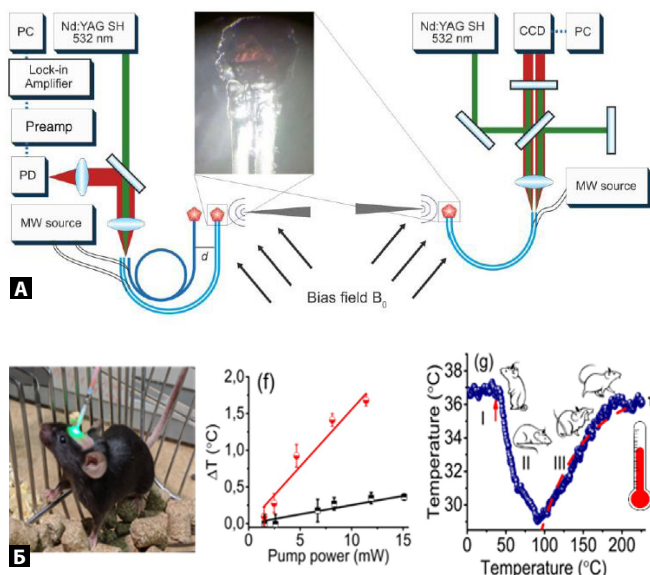
Монография
«Квантовая
криптография: идеи
и практика», 2007 г.



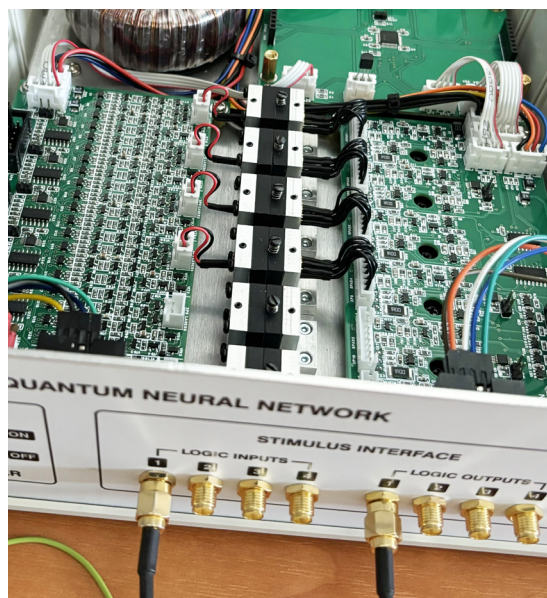
Квантово-оптический генератор случайных чисел (QRNG 100), работающий со скоростью 100 Мбит/с на одиночных фотонах и обеспечивающий гарантированное качество случайных последовательностей. Разработчики: В.Н. Чижевский, А.С. Малоштан, А.Б. Михалычев, Л.И. Редико, С.Я. Килин

Д.Б. Хорошко и А.П. Низовцева вышла первая русскоязычная монография по квантовой криптографии. Серия разработанных и созданных этим коллективом уникальных квантовых генераторов случайных чисел на одиночных фотонах (2010, 2020 гг.) используется в системах защиты информации.

Продолжая исследования в квантово-оптической тематике, А.Б. Михалычев и С.Я. Килин показали, как с помощью слабой кросс-керровской нелинейности и определенного типа квантовых измерений увеличить ослабленную перепутанность между локально разнесенными оптическими пучками (восстановление перепутанности). Было сделано обобщение на общий квантовый метод получения заданных целевых состояний с помощью измерения. Этими авторами в 2012 г. продемонстрировано, что однокубитный лазер при некогерентной накачке генерирует обобщенные когерентные состояния. Учитывая важность исследований по квантовой информатике, в 2014 г. на базе лаборатории квантовой оптики был создан Центр «Квантовая оптика и квантовая информатика» (руководитель С.Я. Килин). Начиная с 2015 г. в Центре ведутся работы по квантовой метрологии с субдифракционным разрешением на основе коррелированных пар фотонов с обработкой данных, использующей информацию Фишера (Д.С. Могилевцев, А.Б. Михалычев), фантомным изображением и квантовой сенсорике. Значительный прогресс достигнут в развитии методов квантовой томографии, включающей в себя способы получения



Квантовый сенсор высокочувствительной векторной градиентометрии магнитного поля на основе NV-центров в алмазе (А). Квантовый оптоэлектронный сенсор температуры мозга на основе микрокристалла алмаза с центрами окраски германий-вакансия (GeV). Использование разработанного сенсора для измерения температуры свободно перемещающейся мыши посредством имплантированного сенсора (Б). Авторы: С.Я. Килин, А.М. Желтиков (МГУ)



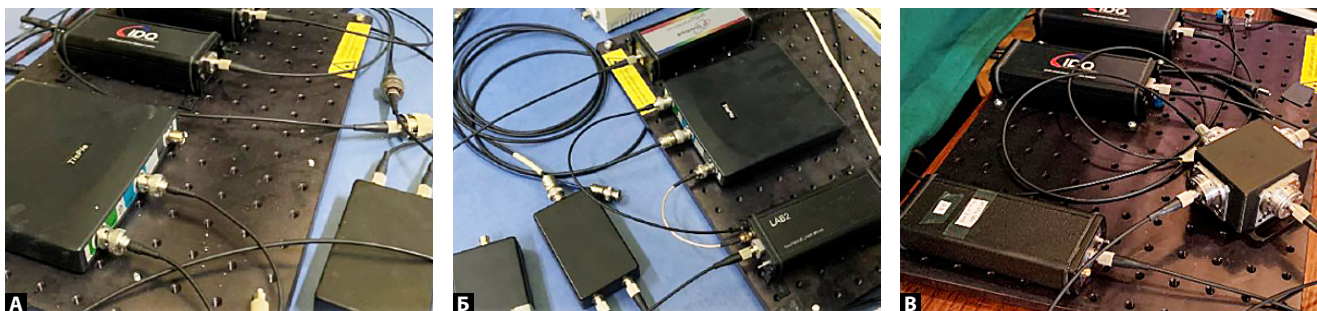
Квантовая нейронная сеть «QNN-6» с квантовой реализацией искусственных нейронов на основе вертикально-излучающих лазеров и однофотонных детекторов, предназначенная для исследований импульсных искусственных нейронных сетей и выполнения нейроморфных вычислений. Разработчики: С.Я. Килин, В.Н. Чижевский, Л.И. Ридико, Н.В. Лахмицкий

посредством измерения информации, достаточной для реконструкции, определения пространства поиска неизвестного состояния и метода оценки ошибок (Д.С. Могилевцев).

Совместно с Московским госуниверситетом создан квантовый оптоволоконный сенсор на основе примесных центров в алмазе, измеряющий локальные изменения температуры внутри мозга мыши *in vivo* с точностью 0,1 градуса по Цельсию. Были реализованы крупные международные проекты по квантовой тематике в рамках 6-й и 7-й Рамочных программ ЕС и программы «Горизонт-2020»: EQUIND «Сконструированная квантовая информация в наноструктурированном алмазе» (2007–2010 гг.), SUPERTWIN «Микроскопия сверхвысокого разрешения на перепутанных состояниях фотонов» (2016–2019 гг.), PhoG «Субпиксельный фотонный генератор на основе когерентной диффузной фотоники» (2018–2022 гг.) От выполнения проектов суммарно получено более миллиона евро экспорта. Работы ученых Института физики по развитию квантовых технологий в 2020 г. отмечены Государственной премией Республики Беларусь (С.Я. Килин, В.Г. Барышевский и др.), в 2021 г. – Межгосударственной премией СНГ «Звезды Содружества» (С.Я. Килин) и в 2023 г. – Премией Национальной академии наук Беларуси (А.Б. Михалычев, С.В. Власенко).

В качестве ближайших важных проектов в Институте физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси планируется развитие концепции квантовых вычислений на основе классических эмуляторов в виде создания в 2025 г. первого в стране эмулятора квантового компьютера с 30 кубитами и проведение оптимизационных квантовых вычислений на его основе, что позволит заложить фундамент для широкого использования в нашей стране квантовых вычислений как на квантовых вычислительных устройствах, так и на классических эмуляторах с адаптацией квантовых вычислительных ресурсов для применения в промышленной, финансовой, транспортной и иных сферах. Реализация проекта позволит генерировать квантово-вдохновленные постквантовые алгоритмы для обеспечения информационной безопасности, а также послужит основой для подготовки специалистов для квантовой индустрии.

В качестве другого практически важного направления, совмещающего квантовые и нейроморфные технологии, в Центре «Квантовая оптика и квантовая информатика» с 2021 г. ведутся работы по использованию квантовых технологий для нейроморфных и резервуарных компьютеров, которые



Научно-учебный электронно-оптический комплекс лабораторных работ для подготовки специалистов в сфере квантовой оптики и квантовой информатики. Лабораторные работы: А – «Основы квантовых измерений», Б – «Корреляционные свойства излучения», В – «Квантовая интерференция»

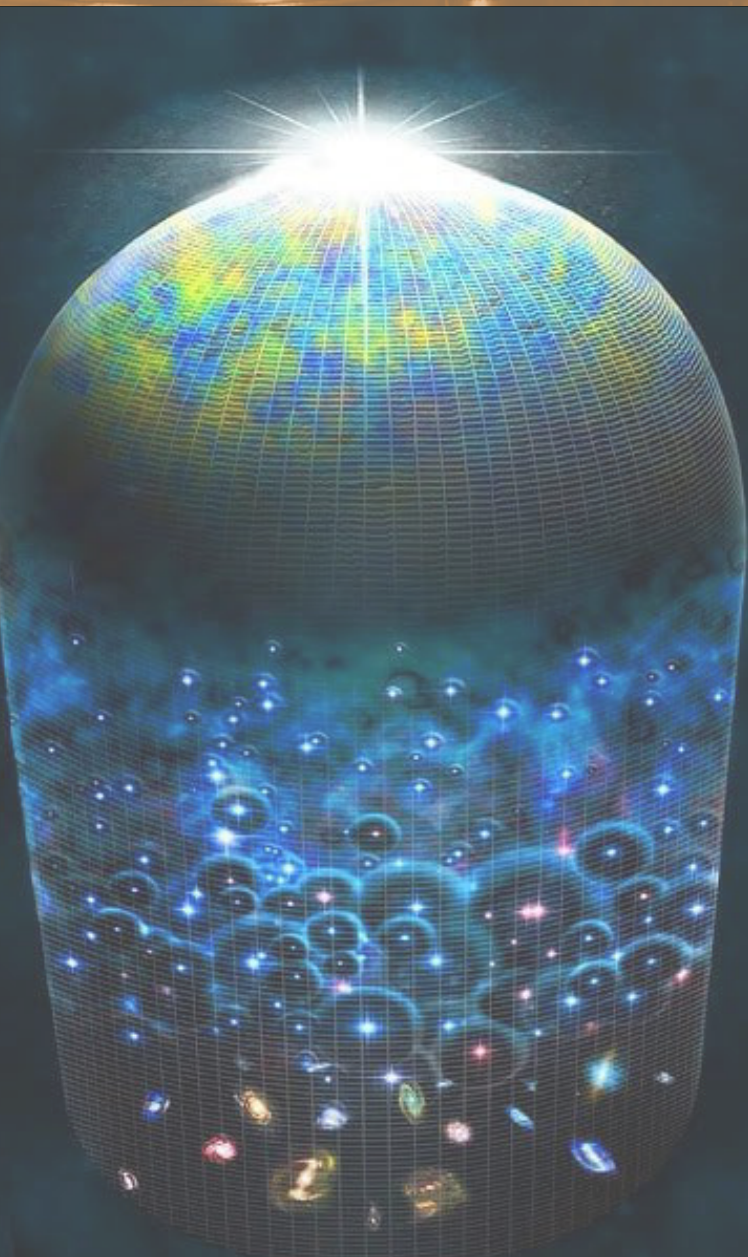
по своим характеристикам и перспективам превосходят универсальные. Сотрудниками Центра создан квантовый искусственный нейрон на основе оптоэлектронной пары «вертикально-излучающий лазер – однофотонный лавинный фотодиод» с динамическими свойствами, аналогичными реальным биологическим нейронам, он в миллион раз быстрее биологического. Искусственные импульсные нейроны, объединенные вместе, образуют физические рекуррентные импульсные нейронные сети, важные для создания нейроморфных и резервуарных компьютеров. В рамках ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» (2021–2025 гг.) в Центре создана квантовая нейронная сеть с 6 искусственными нейронами с возможностью последующего масштабирования на большее число нейронов и реализацией квантовых нейроморфных компьютеров. В развитие квантовых сенсорных технологий с 2024 г. выполняется новое задание «Разработать и изготовить квантово-оптический магнитометр на основе использования спиновых кубитов центров окраски «азот-вакансия» в алмазе», в рамках которого запланировано создание уникального устройства, позволяющего измерять слабые магнитные поля при комнатной температуре на основе регистрации интенсивности флуоресценции, испускаемой ансамблем NV-центров в алмазе. Прибор будет применяться для исследований в геофизических, технологических и биомедицинских науках (измерение аномалий магнитного поля Земли, контроль токов в интегральных микросхемах, перезаряжаемых батареях, нейронах, биомембранах и т.п.), а также поможет выпускать новые виды портативных аппаратных средств измерения магнитных полей различной архитектуры и другие квантовые устройства на основе спиновых кубитов в алмазе, не имеющих аналогов в Беларуси и странах СНГ.

Сотрудники Центра также занимаются оценкой возможностей квантового компьютера и перспектив его создания.

В Центре «Квантовая оптика и квантовая информатика» работают 5 докторов и 6 кандидатов наук, 3 аспиранта и 3 магистранта. За последние два года в Центре защищены 2 докторские и 3 кандидатские диссертации по тематике квантовых технологий. Для обеспечения непрерывности процесса подготовки кадров для квантовой индустрии в Центре в 2022 г. разработан лабораторный практикум по квантовым технологиям с соответствующим экспериментальным оборудованием. В рамках ГНТП выполняется задание по введению еще одного лабораторного практикума по квантовой диагностике и квантовым фантомным изображениям, который будет готов для внедрения в учебный процесс в 2025 г. В Центре оборудовано специальное помещение, где студенты выполняют лабораторные работы на созданном оборудовании, делая первые шаги в удивительный мир квантовых технологий, которые стали одним из основных современных трендов развития. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марков А.А. Распространение закона больших чисел на величины, зависящие друг от друга / А.А. Марков // Известия Физико-математического общества при Казанском университете. 1906. Т. 94. С. 135–156.
2. Ельяшевич М.А. От возникновения квантовых представлений до становления квантовой механики / М.А. Ельяшевич // Успехи физических наук. 1977. Т. 122. С. 673–717.
3. Fock V.A. Zur Schrodingerschen Wellenmechanik / V.A. Fock // Zeitschrift für Physik. 1926. Bd. 38. №3. P. 242–250.
4. Брумберг Е.М., Вавилов С.И. Визуальные измерения статистических флуктуаций фотонов // Известия Академии наук СССР. 1933. №7. С. 919–941; Вавилов С.И. Микроструктура света (исследования и очерки) / С.И. Вавилов. – М., 1950.
5. Килин С.Я. Квантовая информация / С.Я. Килин // Успехи физических наук. 1999. Т. 169, №5. С. 507–526; Kilin S. Ya. Chapter 1. Quanta and information / S. Ya. Kilin // Progress in Optics. 2001. Vol. 42. P. 1–91.



Исследования в области фундаментальных взаимодействий



Юрий Курочкин,
заведующий Центром
«Фундаментальные
взаимодействия и астрофизика»
Института физики им.
Б.И. Степанова НАН Беларуси,
доктор физико-математических
наук, профессор

Отправной точкой исследований в области фундаментальных взаимодействий в Беларуси стали выполненные Ф.И. Федоровым в аспирантуре Ленинградского университета работы под руководством академика В.А. Фока, одного из создателей квантовой теории поля. С помощью метода функционалов Фока ученый рассчитал естественные ширины спектральных линий и сечение рассеяния гамма-квантов на электроны (комpton-эффект), что легло в основу его кандидатской диссертации. В дальнейшем сформировался круг интересов Ф.И. Федорова, включающий принципы симметрии, релятивистские волновые уравнения, физику частиц и их взаимодействий, а так же теорию гравитации. Данные направления легли в основу работ его учеников и определили формирование научной школы в области фундаментальных взаимодействий.

На первом этапе исследования в Институте физики носили теоретический характер. Идейную основу белорусской школы теоретической физики Ф.И. Федорова составляет разработанный для описания процесса взаимодействия частиц ковариантный подход, изложенный ученым в следующих его работах, имеющих основополагающее значение: «Проективные операторы в теории элементарных частиц» (1958) – о методе проективных операторов в теории релятивистских волновых уравнений; «О композиции параметров группы Лоренца» (1962) – трехмерная комплексно-векторная параметризация группы Лоренца; «Уравнение первого порядка для гравитационного поля» (1968) – универсальные нелинейные уравнения для взаимодействующих полей.

Первые кандидатские диссертации в области фундаментальных взаимодействий, защищенные учениками Ф.И. Федорова, были посвящены развитию его методов и актуальным в то время проблемам физики частиц: «Матрица рассеяния в квантовой электродинамике с взаимодействием Паули» Л.Г. Мороза (1961), «Применение ковариантных методов в теории элементарных частиц» А.А. Богуша (1962), «Электромагнитные и слабые взаимодействия частиц со спином $3/2$ » В.К. Гронского (1965), «К теории частицы с переменным спином $1/2-3/2$ и двумя массами покоя» С.И. Лобко (1965), «К теории электромагнитных и слабых взаимодействий векторных мезонов» А.И. Болсуна (1965), «Электромагнитные волны в проводящих магнитных анизотропных кристаллах» Л.М. Томильчика (1959), «К теории электромагнитного и слабого взаимодействия на

малых расстояниях» И.С. Сацункевича (1970).

В рамках упомянутого подхода, основанного на использовании представлений группы Лоренца, Ф.И. Федоровым впервые установлен предельно простой закон композиции (групповая операция) для введенных им трехмерных комплексных вектор-параметров, что позволило решать ряд проблем с помощью операций над ними без обращения к явным выражениям для матриц конечных преобразований. Основные идеи ковариантного (независимого от выбора инерциальной системы отсчета) подхода Федорова в физике элементарных частиц получили свое развитие в его монографии «Группа Лоренца».

Возникали новые направления в области теоретико-групповых и алгебраических исследований, например квантовая механика в пространствах постоянной кривизны (Ю.А. Курочкин, В.С. Отчик, В.М. Редьков, В.В. Грицев, Е.М. Бычкова (Овисиюк)). Существенный вклад в квантовую механику в пространствах постоянной кривизны внес ученик Л.М. Томильчика В.В. Кудряшов. Методы, разработанные Ф.И. Федоровым, оказались высокоэффективными. С их помощью получены отличные научные результаты, высоко оцененные специалистами всего мира.

Важным моментом стало осознание необходимости участия белорусских ученых в крупных международных проектах. С 1994 г. до июля 2024 г. Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси – участник коллаборации ATLAS на LHC. Сотрудники института – А.А. Богуш, С.Н. Гаркуша, Ю.А. Кульчицкий, Ю.А. Курочкин, И.С. Сацункевич, П.В. Терешко – стали соавторами

публикации об экспериментальном открытии бозона Хиггса, пожалуй, самого крупного научного достижения в области фундаментальной физики последних десятилетий.

Как член международной коллаборации COMET наш Институт участвует в эксперименте, направленном на обнаружение процесса, протекающего с несохранением квантового числа аромата заряженных лептонов (поиск когерентной безнейтринной конверсии мюона в электрон). Проект, реализуемый в Японском ядерном центре J-PARC, нацелен на поиск явлений за рамками Стандартной модели физики частиц и их взаимодействий, которая с открытием бозона Хиггса триумфально завершила свое формирование.

Результаты белорусских ученых по расчетам характеристик структуры частиц включены в международные справочники. Детально исследовано фоторождение π -мезонов на дейтроне с учетом взаимодействия в конечном канале. Физики Центра «Фундаментальные взаимодействия и астрофизика» принимают активное участие в теоретических и экспериментальных исследованиях Института ядерной физики им. Г.И. Будкера (Новосибирск). В частности, доктор физико-математических наук М.И. Левчук в сотрудничестве с российскими коллегами из Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и Института им. Г.И. Будкера получил новые важные результаты для численных значений поляризуемостей нуклонов, приведенные в мировой базе данных по свойствам элементарных частиц [2].

В дальнейшем направления в физике частиц и фундаментальных взаимодействий развивал ученик Ф.И. Федорова – член-корреспондент А.А. Богуш,

изложивший свои результаты и взгляды в трех своих фундаментальных монографиях и популярных книгах, защитивший по данной тематике докторскую диссертацию. Его деятельность была отмечена Государственной премией БССР (1988 г., совместно с Л.Г. Морозом). Исследования по учету свойств и характеристик частиц, обладающих структурой, продолжили Н.В. Максименко, М.И. Левчук, а также В.М. Редьков с учениками.

И.С. Сацункевич высказал и обосновал ряд блестящих идей: предсказал существование тяжелого лептона и установил эффект усиления электрослабого взаимодействия за счет интерференции электромагнитного и слабого взаимодействий. Последнее получило развитие в работах А.А. Панкова и его учеников в ГГТУ им. П. Сухого.

Связь подхода Федорова к параметризации группы Лоренца и ее представлений с классическим исчислением кватернионов и новый метод в релятивистской кинематике столкновений частиц и релятивистской динамике изложены в книге А.В. Березина, Ю.А. Курочкина, Е.А. Толкачева «Кватернионы в релятивистской физике». Один из важнейших результатов работы над монографией – построение теории векторов в трехмерном пространстве Лобачевского с законом сложения, совпадающим с федоровским законом композиции вектор-параметров группы Лоренца. Частным случаем этих векторов явилось определение трехмерной ковариантной релятивистской скорости (Ю.А. Курочкин).

В Институте физики впервые наблюдалось и детально изучено новое физическое явление временных осцилляций углового

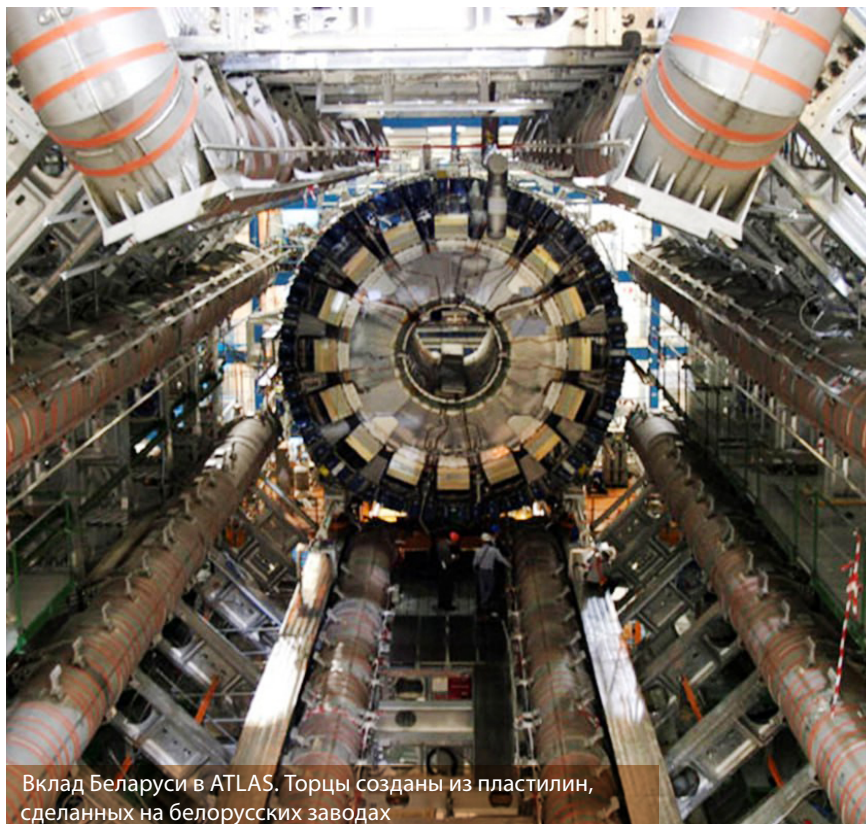
распределения γ -квантов при распаде орто-позитрония (o-Ps) в слабом магнитном поле. С помощью многокристального спектрометра измерено угловое и энергетическое распределение асимметричного 3γ -распада Ps с целью тестирования СРТ-инвариантности; в эксперименте не обнаружено ее нарушения.

Данные результаты вошли в цикл работ «Квантовая электродинамика и когерентные ядерные процессы в среде: квантовая и ядерная оптика», удостоенный Государственной премии Республики Беларусь (А.В. Берестов, С.Я. Килин, Э.А. Рудак, В.Г. Барышевский, В.В. Тихомиров, И.Д. Феранчук).

Инициированные членом-корреспондентом Л.М. Томильчиком работы положили начало нового в нашей стране научного направления по весьма акту-

альной и разнообразной тематике, объединяемой термином «магнитный монополь». Результаты первого этапа исследований по данной теме обобщены в фундаментальной монографии «Электродинамика с магнитным зарядом» Л.М. Томильчиком совместно с В.И. Стражевым. Запуск Большого адронного коллайдера открыл перспективу экспериментального поиска монополя. Белорусские физики (Д.В. Шелковый и др.) внесли свои предложения по практической реализации данного проекта.

Несомненное личное научное достижение Л.М. Томильчика – использование в 1971 г. для классификации адронных резонансов специфической алгебры, содержащей одновременно как коммутаторы, так и антикоммутаторы своих образующих. Эта



Вклад Беларуси в ATLAS. Торцы созданы из пластилин, сделанных на белорусских заводах

работа явилась первым примером построения суперсимметричной алгебры. В дальнейшем результат был обобщен на случаи произвольной размерности, а также на пространства алгебр кватернионов и октав А.А. Богушем и Ю.А. Курочкиным.

Перенос методов неевклидовой геометрии в квантовую механику в развитие классических работ Э. Шредингера, Л. Инфельда, А. Шелда, А.Ф. Стивенсона позволил установить природу вырождения в спектрах энергий в квантовомеханической задаче Кеплера, в трехмерных пространствах постоянной кривизны Лобачевского и Римана, а также новые алгебраические структуры – деформированные алгебры, связанные с симметрией этих пространств (а не алгебры Ли, обычно возникающие в аналогичной задаче в плоском пространстве) (А.А. Богуш, Ю.А. Курочкин, В.С. Отчик).

По предложению С.В. Гапоненко развитые методы были использованы для построения модели, описывающей спектры энергий квазичастиц, запертых в наноразмерных объектах – квантовых точках, основанной на неевклидовой геометрии.

Теорией гравитации, кроме самого Ф.И. Федорова, в институте плодотворно занималась доктор физико-математических наук О.С. Иваницкая. Важной составляющей исследований, проведенных ею совместно с Н.Н. Костюковичем, является систематизация гравитационных эффектов, предсказываемых общей теорией относительности. Ученик О.С. Иваницкой – ведущий научный сотрудник института Ю.П. Выблый – развил теорию гравитации на основе обобщения уравнений Эйнштейна за счет включения в них скалярного поля.

Работами В.И. Кувшинова и его учеников внесен значительный вклад в развитие третьей составляющей подхода Ф.И. Федорова – формулировку в описание физических теорий на основе универсальных уравнений первого порядка, а также в исследование процессов множественного рождения частиц и применение решений уравнений неабелевых калибровочных полей.

Кроме упомянутых выше, выходцами научной школы Ф.И. Федорова являются многие другие известные специалисты в области физики частиц и теории гравитации: Е.В. Докторов, А.В. Кузьмин, Л.Ф. Бабищев, М.В. Галынский, Е.С. Кокаулина, Ю. Сакович, Р.Г. Шуляковский, А.Ф. Радюк, Н.И. Гурин, А.М. Федоровых, Т.С. Романова, В.С. Румянцев, В.В. Гилевский, С.М. Сикач, М.Н. Сергеев и др.

Открытие бозона Хиггса обеспечило завершение построения Стандартной модели частиц и их взаимодействий. Однако остаются нерешенные проблемы как в рамках самой модели, так и вне ее:

- *описания в рамках Стандартной модели сложных неточечных частиц, получение эффективных потенциалов, ответственных за образование и существование частиц, состоящих из партонов – кварков и глюонов. Фундаментальная проблема невылета (конфайнмента) кварков и существования кварк-глюонной плазмы;*
- *включение гравитации в общую схему объединения фундаментальных взаимодействий;*
- *природа нарушения таких дискретных симметрий в физике;*
- *существование дополнительных измерений сверх четы-*

рех измерений физического пространства-времени;

- *развитие и применение современных методов, средств и технологий модернизации детекторов, повышения эффективности их работы, обработки и анализа данных в экспериментах на детекторах, в том числе в проектах SPD и MPD коллайдера NICA Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в г. Дубна (РФ).*

Перечисленные проблемы разрабатываются сотрудниками Института физики, в том числе в рамках крупных международных проектов. Важную роль в расширении участия в них белорусских ученых сыграла совместная работа с учеными ОИЯИ. Весомый вклад в развитие данного сотрудничества внес доктор физико-математических наук Ю.А. Кульчицкий, ведущий научный сотрудник института, руководитель группы института в эксперименте ATLAS на Большом адронном коллайдере с 1994 г., начальник научного сектора «Детектирующие системы, обработка и анализ экспериментальной информации» научно-экспериментального отдела множественных адронных процессов Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. ■

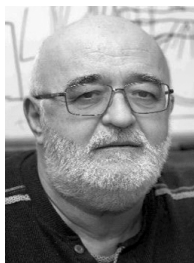
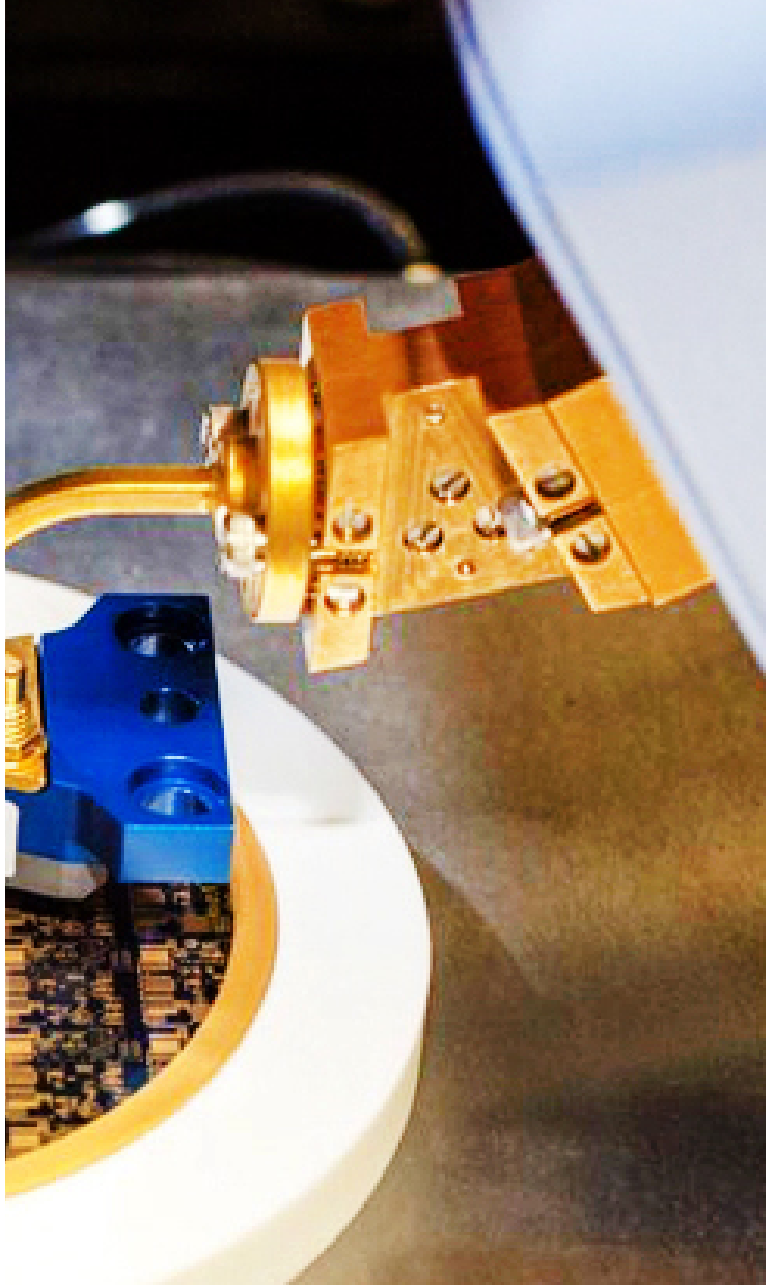
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Observation of the new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector of the LHC. ATLAS Collaboration // Physics Letters B. 2012. №716 P. 1–29.
2. The 2022 edition of the Review of Particle Physics should be cited as: R.L. Workman et al. (Particle Data Group) // Progress of Theoretical and Experimental Physics. 2022, 083C01 (2022) and 2023 update.

Нитрид-галлиевая опто-, микро- и СВЧ- электроника



Нитрид галлия (GaN) и тройные соединения на его основе (InGaN, AlGaN) имеют большие перспективы применения в оптоэлектронике, поскольку являются прямозонными, а диапазон запрещенной зоны системы тройных соединений III-нитридов – самым широким среди всех полупроводниковых соединений, простираясь от InN (0,7 эВ, ближняя инфракрасная область спектра) до GaN (3,4 эВ, средний ультрафиолетовый (УФ)) и до AlN (6,2 эВ, глубокий УФ диапазон спектра). Таким образом, в системе InN–GaN–AlN возможно создание оптоэлектронных приборов с длиной волны от 1800 нм до 200 нм. Кроме того, гексагональная симметрия элементарной ячейки делает эти соединения пьезоэлектриками, что приводит к появлению на их гетеропереходе (например, GaN/AlN) индуцированного поверхностного заряда и, как следствие, – возникновению на нем двумерного газа электронов или дырок, что делает возможным создание на их основе полевых транзисторов. Причем пробивные напряжения за счет большой величины запрещенной зоны настолько велики, что позволяют делать на их основе высоковольтные мощные приборы. Поэтому гетероструктуры на основе системы GaN–AlN перспективны для разработки устройств следующего поколения микроэлектроники и мощных приборов СВЧ-электроники.



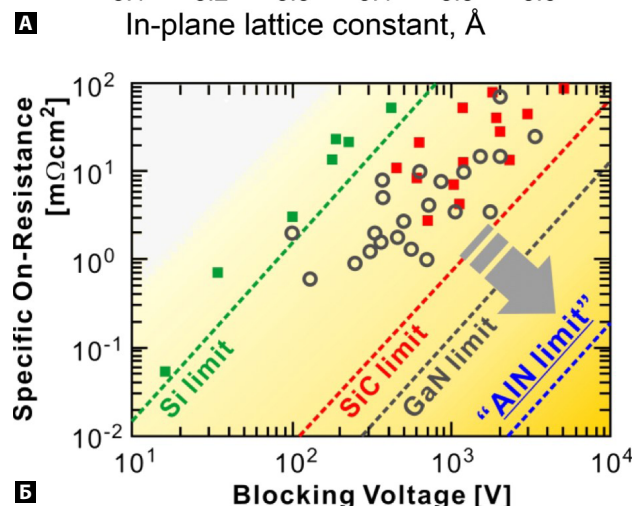
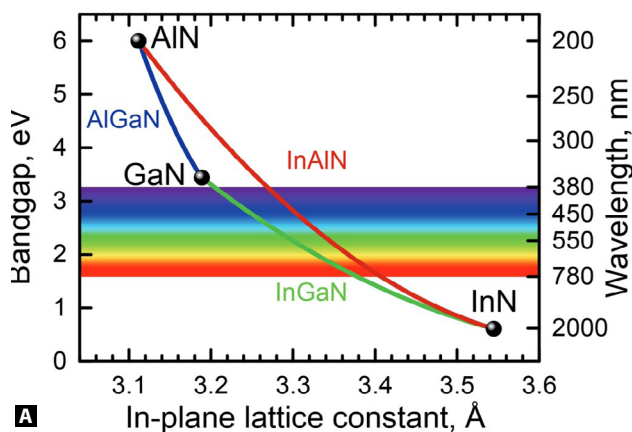
Евгений Луценко,
заведующий Центром
«Широкозонная нано-
и микроэлектроника»
Института физики
им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси, кандидат
физико-математических наук

Исследования GaN и тройных соединений на его основе – InGaN и AlGaN – начались в Беларуси в 1996 г. По просьбе профессора К. Хайме из университета RWTH города Аахен (Германия) лаборатория оптики полупроводников Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, имевшая на тот момент большой опыт в исследовании оптических и люминесцентных свойств широкозонных полупроводников, а также лазеров на их основе, была привлечена к изучению оптических свойств GaN. Актуальность этих работ была обусловлена тем, что в институте, возглавляемом профессором К. Хайме, был изобретен новый производственный тип MOCVD-реактора – планетарный, позволяющий осуществлять рост полупроводниковых гетероструктур сразу на большом количестве подложек. Для внедрения этой технологии в промышленность была организована фирма AIXTRON AG, занявшаяся производством реакторов, один из типов которых создавался для роста GaN и гетероструктур на его базе. Белорусские ученые быстро показали при низких температурах наличие экситонного газа, возникающего в слоях GaN, выращенных на подложках сапфира в этих реакторах, что говорило о высоком качестве полупроводниковых слоев. Первая совместная статья, посвященная этой тематике, вышла в 1998 г. [1].

Дальнейшее сотрудничество с RWTH и AIXTRON бурно развивалось в рамках большого количества как немецких, так и международных проектов. Исследовались оптические, люминесцентные и лазерные свойства слоев GaN, InGaN и квантовых ям на их основе [2] для разработки технологии эпитаксии высококачественных гетероструктур для светодиодов и лазеров. Многие результаты были получены впервые в мире. Среди них можно выделить лазерные излучения:

- в синей области спектра InGaN/GaN квантовых ям [3];
- эпитаксиальных слоев GaN на кремнии [4];
- InGaN/GaN квантовых ям на кремнии [5].

То есть рост эпитаксиальных слоев и квантовых ям был доведен до лазерного качества. Эти результаты показали возможность интеграции GaN-оптоэлектронных приборов с кремниевой электроникой и получили отражение в новостях таких изданий, как Optics, Compound Semiconductors, Laser Focus World и др. Многочисленные исследования позволили оптимизировать рост гетероструктур на основе GaN до такого совершенства, что MOCVD-реакторы



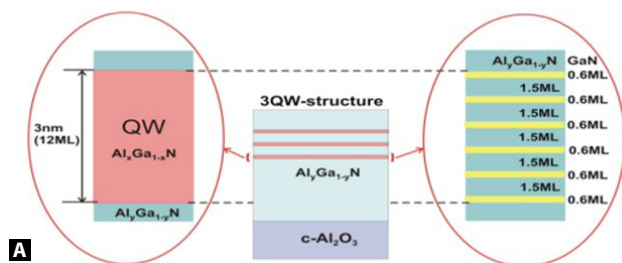
Ширина запрещенных зон вюрцита GaN, AlN и InN и их сплавов в зависимости от их постоянной решетки при 300 K (A), сопротивление в открытом состоянии в зависимости от пробивного напряжения различных материалов

фирмы AIXTRON стали наиболее распространенными в мире. В настоящее время AIXTRON SE – лидер систем MOCVD с долей рынка 82% в 2023 г. В рамках этого сотрудничества в Беларуси также были созданы первые светодиоды и СВЧ-транзисторы на основе GaN на подложках кремния.

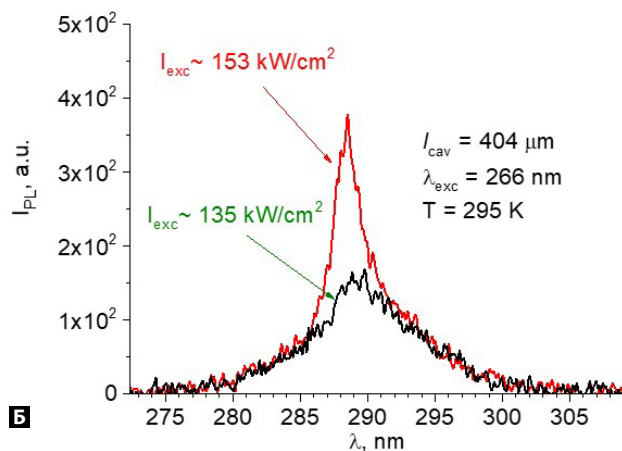
Развитие эпитаксиальных технологий тонких пленок III-нитридов (GaN, AlN, InN) привело к впечатляющему экономическому эффекту. К настоящему времени практически все освещение осуществляется с помощью белых светодиодов, содержащих синий [6] светодиодный кристалл и желтый люминофор для получения белого цвета. Именно «за изобретение эффективных синих светодиодов, которые позволили получить яркие и энергосберегающие источники белого света», то есть фактически за то, какое влияние это оказало на общество, и были удостоены в 2014 г. Нобелевской премии

Standard QW

QW grown by SMMA



A



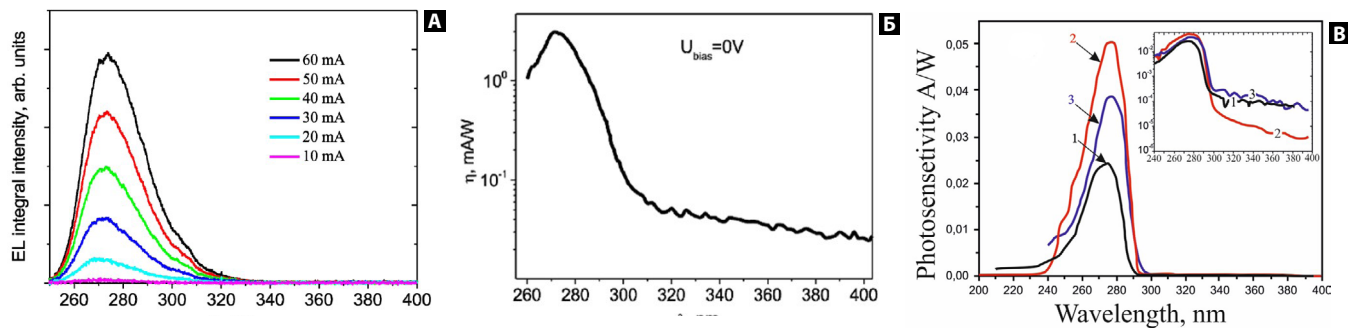
B

Дизайн квантовой ямы, состоящей из субмонослойных вставок GaN в AlGaIn матрице (A), спектр излучения с торца резонатора гетероструктуры при двух уровнях возбуждения около порога генерации (B)

японские ученые И. Акасаки, Х. Амано и Ш. Накамура, фактически совершившие революцию в области освещения.

Однако нитриды – это не только светодиоды, это еще и лазерные диоды, излучающие в видимой области спектра. Они активно применяются в системах проекционного мультимедиа и телевидения, в сверхъярких осветительных системах, а также для накачки других активных лазерных сред, то есть для нового поколения DPSSL-лазеров.

Отрадно отметить, что именно Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси в сотрудничестве с ФТИ им. Иоффе РАН создал первые лазеры с накачкой излучением лазеров на основе GaN. Сначала это было осуществлено излучением оптически накачиваемых InGaIn/GaN квантовых ям на кремнии [7], а затем и лазерных диодов [8], что обусловлено разработкой лазеров на квантовых точках ZnCdSe со сверхнизким порогом генерации при комнатной температуре, менее 1 кВт/см². Это привело к появлению сверхкомпактных полностью полупроводниковых DPSSL-лазеров (лазерных конверторов),



Спектры излучения ультрафиолетовых светодиодов (А), спектры фоточувствительности солнечно-слепых Р-І-Н (Б) и Шоттки (В) фотодиодов

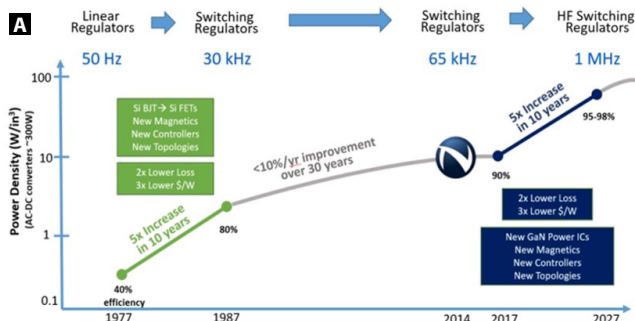
размещающихся в корпусе лазерного диода накачки [9] с длинами волн от синей до оранжевой области спектра [10, 11].

Развитие технологий эпитаксии нитридов позволило получить светодиоды и лазеры, излучающие не только в фиолетовой – зеленой, но и в ультрафиолетовой области спектра на основе гетероструктур AlGaIn. Первые низкопороговые лазеры, светящиеся в глубокой ультрафиолетовой области, были также получены в Институте физики

им. Б.И. Степанова НАН Беларуси [12]. Такой результат стал возможен за счет новой конструкции квантовой ямы, состоящей из субмонослойных вставок GaN в матрице AlGaIn, предложенной ФТИ им. Иоффе РАН совместно с Институтом физики НАН Беларуси. Высокая локализация неравновесных носителей заряда на субмонослойных вставках привела к 70%-ной квантовой эффективности фотолюминесценции при комнатной температуре, что было на три порядка больше по сравнению с AlGaIn. На таких квантовых ямах была получена низкопороговая лазерная генерация на длинах волн от 255 до 320 нм с минимальным порогом 150 кВт/см².

Дальнейшее совершенствование технологий молекулярно-пучковой эпитаксии [13–15] позволило создать на основе гетероструктур AlGaIn ультрафиолетовые светодиоды, солнечно слепые Р-І-Н фотодиоды и фотодиоды Шоттки [16–18].

Революция, произошедшая в освещении и перекочевавшая в лазеры и ультрафиолетовые светодиоды, – не единственное достижение эпитаксиальных

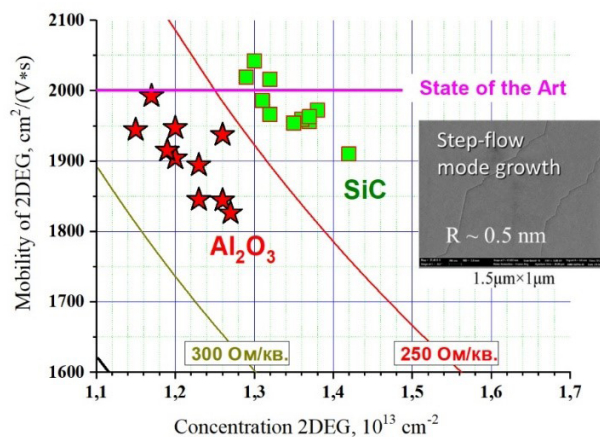


Плотность мощности источников электропитания [20] (1977–1987 – первая, 2017–2027 – вторая революция в силовой электронике) (А), установка молекулярно-пучковой эпитаксии Института физики НАН Беларуси (Б)

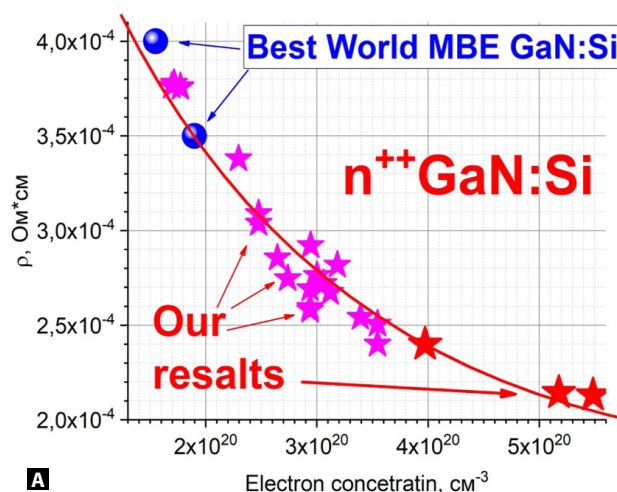
технологий III-нитридов в XXI в. В настоящее время происходит вторая революция в источниках электропитания (первая была обусловлена применением транзисторов). Увеличение быстродействия GaN-транзисторов более чем в 100 раз (по сравнению с кремниевыми) позволяет в разы уменьшить массу и габариты источников питания и контроллеров электродвигателей за счет уменьшения электрических потерь, массы и габаритов индуктивностей и емкостей. Плотности мощности вторичных источников электропитания уже достигают величин более 300 Вт/см³ (5130 W/in³) [19]. Кроме того, высокая подвижность двумерного электронного газа высокой концентрации, возникающего на гетероинтерфейсе GaN/AlN за счет пьезоэффектов, позволяет создавать мощные СВЧ-транзисторы с рабочими частотами вплоть до ультравысоких частот, что особенно актуально в текущий момент для многих применений. Также GaN является механически, радиационно, термически и химически стойким материалом с хорошей теплопроводностью, что делает возможным его применение в экстремальных условиях, в том числе для специальных и аэрокосмических применений.

Именно задачами разработки молекулярно-пучковой эпитаксии транзисторных гетероструктур на основе GaN в основном занимается Институт физики НАН Беларуси сегодня. В 2017 г. нами введена в строй установка молекулярно-пучковой эпитаксии, обладающая возможностью как плазменной, так и аммиачной эпитаксии, а также ионной обработки пластин, что дает новые возможности при росте гетероструктур и позволяет использовать наилучшие ростовые условия. Сотрудники Института физики совместно со специалистами ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» и ОАО «Минский НИИ радио-материалов» разрабатывают новое поколение силовых транзисторов и мощных СВЧ-транзисторов на основе GaN. Взаимодействие происходит в рамках инновационно-промышленного кластера «Микро-, опто- и СВЧ-электроника» и Отраслевой лаборатории молекулярно-пучковой эпитаксии нитридных гетероструктур.

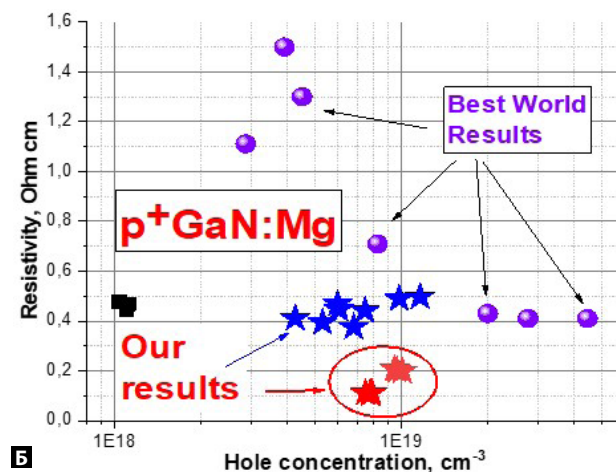
Применение высокотемпературной аммиачной молекулярно-пучковой эпитаксии зародышевых и буферных слоев AlN на подложках сапфира позволило достигнуть роста слоев ступеньками, из двух атомарных слоев, что привело к уменьшению плотности дислокаций и увеличению кристаллического качества слоев AlN. Последующая оптимизация температуры аммиачной эпитаксии слоев AlGaN



Подвижность и концентрация двумерного электронного газа гетероструктур AlGaN/GaN-транзисторов с высокой подвижностью электронов, выращенных на сапфире и карбиде кремния. На вставке показано СЭМ-изображение поверхности слоя AlN



А



Б

Удельное сопротивление слоев n⁺⁺GaN: Si (А) и p⁺⁺GaN: Mg (Б) в зависимости от концентрации электронов дырок соответственно

и гетероструктур транзисторов с высокой подвижностью электронов AlGa_xN/GaN обусловили выращивание на сапфире гетероструктуры с двумерным электронным газом на уровне лучших мировых образцов (подвижность ~ 2000 см²·В⁻¹·с⁻¹, концентрация ~ 1,2·10¹³ см⁻²) [21–24]. Таким образом, в Институте физики был разработан метод высокотемпературного роста зародышевых и эпитаксиальных слоев AlN и транзисторных планарных наноструктур AlGa_xN/GaN на подложках сапфира с параметрами электронного газа на мировом уровне. Перенос данной технологии роста на подложку SiC позволил без оптимизации получить концентрации двумерного электронного газа более 2000 см²·В⁻¹·с⁻¹ при концентрации 1,3·10¹³ см⁻², что соответствует лучшим образцам гетероструктур, полученным технологией MOCVD. Были также оптимизированы параметры эпитаксии зародышевых и эпитаксиальных слоев AlN и GaN, разработаны низкотемпературные методы роста слоев с сурфактантом и с ионным ассистированием, с атомно-слоевым отжигом, развиты методы снижения плотности дислокаций путем модификации режима роста. Качество полученных слоев подтверждено низкими порогами лазерного эффекта, высокой интенсивностью фотолюминесценции и хорошей морфологией поверхности.

Однако для создания электронных приборов необходимо формировать слои с различным типом электрической проводимости. Наши исследования позволили разработать оригинальные технологии эпитаксии для получения *p*-Ga_xN и *n*-Ga_xN с рекордными характеристиками: *n*⁺⁺GaN: Si с рекордной концентрацией электронов > 5·10²⁰ см⁻³ и удельным сопротивлением ~ 2·10⁻⁴ Ом·см; слоев *p*⁺⁺GaN: Mg с концентрацией дырок ~ 1·10¹⁹ см⁻³ и удельным сопротивлением ~ 0,1 Ом·см, что значительно лучше мировых результатов [25, 26].

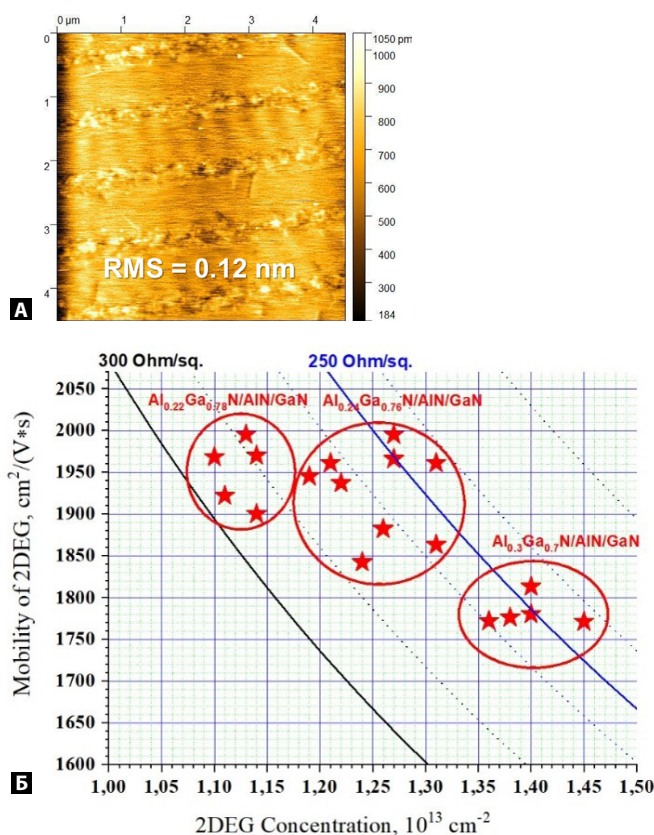
Данные технологии делают возможным получение не только контактных областей транзисторов для формирования сверхнизкоомных нежизнеспособных омических контактов, но и *p-n*-переходов, в том числе туннельных, что исключительно важно для следующего поколения светодиодов и инжекционных лазеров.

Концентрация электронов более 10¹⁸ см⁻³ была также достигнута в слоях Al_xGa_{1-x}N: Si *n*-типа с *x*=0,8. Пьезолегирующее (градиент состава) слоев Al_xGa_{1-x}N: Mg *p*-типа позволило получать концентрации дырок 10¹⁸ см⁻³.

В настоящее время идет перенос технологий роста на дешевых подложках сапфира на под-

ложки карбида кремния. На этом пути есть первые значительные успехи – разработана аммиачная молекулярно-пучковая эпитаксия тонких зародышевых слоев AlN на подложках карбида кремния, дающая малую концентрацию дислокаций и минимальную шероховатость поверхности (0,12 нм, близко к шероховатости подложки). Этот результат позволяет значительно уменьшить количество и толщину слоев транзисторной гетероструктуры и тем самым улучшить теплоотвод от активной области, что позволит создавать конкурентоспособную продукцию.

На основе данной технологии тонких зародышевых слоев AlN разработана конструкция и технология роста (аммиачной молекулярно-пучковой эпитаксии) безбуферных тонких (600 нм) гетероструктур AlGa_xN/GaN для СВЧ и силовых транзисторов с высокой подвижностью электронов с шероховатостью поверхности менее 0,5 нм. Гетероструктуры,



Картина поверхности зародышевого слоя AlN/SiC толщиной 40 нм с низкой плотностью дислокаций, зарегистрированная зондовым микроскопом (А), подвижность и концентрация двумерного электронного газа безбуферных гетероструктур AlGa_xN/GaN транзисторов с высокой подвижностью электронов, выращенных на подложках карбида кремния (Б)

в зависимости от состава барьерного слоя AlGaIn, имеют концентрацию двумерного электронного газа от $1,1 \cdot 10^{13}$ до $1,45 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, подвижность от 1750 до $2000 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, слоевое сопротивление от 240 до 290 Ом/кв , что близко к значениям стандартных гетероструктур толщиной 2–5 мкм. Полученные результаты находятся на уровне лучших мировых достижений.

Рост канального слоя GaN непосредственно на тонком напряженном зародышевом слое AlN без использования толстых буферных слоев (AlN, AlGaIn, GaN: C, GaN: Fe) обуславливает сверхнизкое тепловое сопротивление за счет приближения канала тепловыделения транзистора к подложке, имеющей высокую теплопроводность, а также позволяет избежать эффектов, связанных с зарядовыми состояниями ловушек, образованных глубокими центрами, созданными примесями углерода и железа. Это в принципе увеличивает на порядок время жизни, на 25% – плотность, мощность, на 10% – КПД транзисторов; снижает эффект памяти и на 50% – коллапс тока транзисторов; обеспечивает лучшую линейность.

В 2024 г. созданы гетероструктуры транзисторов с барьерным слоем AlInN, у которых концентрация двумерного электронного газа превысила $2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ при подвижности более $1000 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. На подобных гетероструктурах за счет градиентного состава слоя AlInN, барьера AlN/AlInN и низкой температуры эпитаксии удалось достичь рекордных концентраций двумерного электронного газа – более $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ без растрескивания гетероструктуры, что является большим достижением. Данные результаты важны для дальнейших шагов по разработке сверхвысокочастотных СВЧ- и силовых транзисторов со сверхвысокой плотностью тока. **■**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Yablonskii G.P. Optical properties and recombination mechanism in GaN and GaIn: Mg grown by metalorganic vapour phase epitaxy / G.P. Yablonskii, A.L. Gurskii [et al.] // *Journal of Electronic Materials*. 1998. Vol. 27, №4. P. 222–228.
- Yablonskii G.P. Luminescence and lasing in InGaIn/GaN multiple quantum well heterostructures grown at different temperatures / G.P. Yablonskii, V.N. Pavlovskii [et al.] // *Applied Physics Letters*. Vol. 85. P. 5158–5160.
- Yablonskii G.P. Blue InGaIn/GaN multiple quantum well optically pumped lasers with emission wavelength in the spectral range of 450–470 nm / G.P. Yablonskii, E.V. Lutsenko [et al.] // *Applied Physics Letters*. 2001. Vol. 29, №13. P. 1953–1955.
- Yablonskii G.P. Luminescence and stimulated emission from GaN on silicon substrates heterostructures / G.P. Yablonskii, E.V. Lutsenko [et al.] // *Physica status solidi (a)*. 2002. Vol. 192, №1. P. 54–59.
- Lutsenko E.V. Growth, Stimulated Emission, Photo- and Electroluminescence of InGaIn/GaN EL-Test Heterostructures / E.V. Lutsenko [et al.] // *Physica status solidi (c)*. 2002. №1. P. 272–275.
- The Nobel Prize in Physics 2014 // <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/>.
- Sedova I.V. Integration of Cd(Zn)Se/ZnSe and GaN-based lasers for optoelectronic applications in a green spectral range / I.V. Sedova [et al.] // *Physica status solidi (c)*. 2004. Vol. 1, iss. 4. P. 1030–1033.
- S.V. Sorokin. Violet-green electrically pumped laser converter with output power over 150 mW / S.V. Sorokin [et al.] // *Electronic Letters*. 2012. Vol. 48, iss. 2. P. 118–119.
- Lutsenko E.V. Optically pumped quantum-dot Cd(Zn)Se/ZnSe laser and microchip converter for yellow – green spectral region / E.V. Lutsenko [et al.] // *Quantum Electronics*. 2013. №43 (5). P. 418–422.
- Vainilovich A.G. Microchip laser converter based on InGaIn laser diode and (Zn)CdSe quantum dot heterostructure / A.G. Vainilovich [et al.] // *Physica Status Solidi (b)*. 2016. Vol. 253. P. 1498–1502.
- Alyamani A. Internal laser characteristics of optically pumped yellow–orange lasers / A. Alyamani [et al.] // *Physica Status Solidi B*. 2016. №3. Doi 10.1002.
- Jmerik V.N. Optically pumped lasing at 300.4 nm in AlGaIn MQW structures grown by plasma-assisted molecular beam epitaxy on c-Al2O3 / V.N. Jmerik [et al.] // *Physica Status Solidi A*. 2010. Vol. 207, iss. 6. P. 1313–1317.
- Jmerik V.N. Plasma-assisted molecular beam epitaxy of AlGaIn heterostructures for deep-ultraviolet optically pumped lasers / V.N. Jmerik [et al.] // *Physica Status Solidi A*. 2013. №3. P. 439–450.
- Jmerik V.N. Structural and optical properties of PA MBE AlGaIn quantum well heterostructures grown on c-Al2O3 by using flux- and temperature-modulated techniques / V.N. Jmerik [et al.] // *Journal of Materials Research*. 2015. Vol. 30, iss. 19. P. 2871–2880.
- Jmerik V. Monolayer-range compositional modulations in AlxGa1-xN (x=0.6–0.75) layers grown using plasma-assisted molecular beam epitaxy under Me-rich conditions with an off-centered spatial distribution of activated nitrogen flux / V. Jmerik [et al.] // *Physica Status Solidi*. 2022. Vol. 219, iss. 6. P. 2100550.
- Кузнецова Н.В. Солнечно-слепые AlxGa1-xN (x>0,45) p–i–n-фотодиоды с поляризационно-легированным p-эмиттером / Н.В. Кузнецова и др. // *Письма в ЖТФ*. 2016. Т. 42, вып. 12. С. 57–63.
- Nechaev D.V. Ultraviolet light-emitting diodes and photodiodes grown by plasma-assisted molecular beam epitaxy / D.V. Nechaev [et al.] // *Journal of Physics*. 2018. №3.
- Семенов А.Н. Солнечно-слепые фотодиоды Шоттки на основе AlxGa1-xN (x = 0,55), выращенные методом ПА-МПЭ / А.Н. Семенов и др. // *Письма ЖЭТФ*. 2024. Т. 50, вып. 20. С. 16–19.
- Lidow A. Efficient Power Conversion // <https://www.datacenterdynamics.com/en/opinions/gan-technology-drives-power-density-in-data-centers/>.
- Oliver S. Fast-Forward to the GaN Data Center // <https://www.powerelectronicsnews.com/fast-forward-to-the-gan-data-center/>.
- Rzheutskii M.V. Ultraviolet Stimulated Emission in AlGaIn Layers Grown on Sapphire Substrates Using Ammonia and Plasma-Assisted Molecular Beam Epitaxy / M.V. Rzheutskii [et al.] // *Physica Status Solidi A*. 2020. Vol. 217, iss. 14. 1900927.
- Lutsenko E.V. Investigation of photoluminescence, stimulated emission, photoreflectance and 2DEG properties of double heterojunction AlGaIn/GaN/AlGaIn HEMT heterostructures grown by ammonia MBE / E.V. Lutsenko [et al.] // *Physica Status Solidi A*. 2018. Vol. 215, iss. 9. 1700602.
- Alyamani A. AlGaIn/GaN HEMT heterostructures grown by NH3 and combined PA-NH3 MBE / A. Alyamani [et al.] // *Japanese Journal of Applied Physics*. 2019. P. 244–250.
- Petrov S.I. High temperature ammonia MBE – real way to improve crystal quality of nitride heterostructures / S.I. Petrov [et al.] // *Journal of Crystal Growth*. 2019. Vol. 514. P. 40–44.
- Луценко Е.В. Развитие и перспективы III-нитридных технологий. VII Конгресс физиков Беларуси. (26–28 апреля 2023): сб. науч. тр. / редкол.: С.Я. Килин (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2023. С. 127–128.
- Луценко Е.В. Перспективы III-нитридных технологий и их развитие в Беларуси // *ПРИБОРОСТРОЕНИЕ – 2023/ Материалы 16-й Междунар. науч.-тех. конф. 15–17 ноября 2023 г., Минск / редкол.: О.К. Гусев (предс.) [и др.]. – Минск, 2023. С. 10–12.*



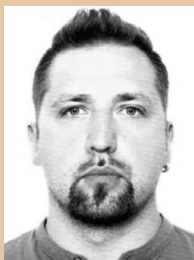
Максим Богданович,
генеральный директор ГНПО «Оптика,
оптоэлектроника и лазерная техника»,
кандидат физико-математических наук



Геннадий Рябцев,
заведующий центром лазерной
техники и технологий Института
физики им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси, доктор физико-
математических наук, профессор



Андрей Рябцев,
заведующий лабораторией лазерной
техники и оптики ГНПО «Оптика,
оптоэлектроника и лазерная техника»,
кандидат физико-математических
наук, доцент



Александр Григорьев,
заместитель заведующего центром
лазерной техники и технологий
Института физики им. Б.И. Степанова
НАН Беларуси, кандидат физико-
математических наук, доцент

Высокотехнологичные твердотельные лазеры с диодной накачкой

Твердотельные лазеры с диодной накачкой широко применяются при создании современных компактных и высокоэффективных систем мониторинга окружающей среды, оптического спектрального анализа, дистанционного обнаружения сверхмалых концентраций опасных веществ, технологических комплексов обработки материалов, систем по измерению дальности и скорости и др. Для многих практических задач требуются лазеры, генерирующие пучки с улучшенными пространственными, поляризационными и временными характеристиками, которые могут работать в широком температурном диапазоне с высокой выходной мощностью и КПД. Улучшение параметров излучателей и оптимизация режимов их функционирования связаны, как правило, с выявлением и устранением (или уменьшением влияния) процессов и факторов, которые приводят к снижению эффективности преобразования энергии накачки в энергию выходного излучения. Для твердотельных лазерных излучателей к таким процессам и факторам относятся, в частности, преобразование части энергии накачки в тепловую энергию, потери в непрокачиваемых областях активных элементов, обеспечение равномерного возбуждения активного элемента в поперечном сечении и др.



К исследованиям по диодной накачке твердотельных лазерных сред Институт физики НАН Беларуси подключился в конце 1960-х – начале 1970-х гг., когда на первый план выдвинулась тематика, связанная с изучением первых (Al, Ga)As-инжекционных гетеролазеров. Совместно с НИИ «Полюс» (Москва), НПП «Инжект» (Саратов) и ФТИ им. А. Ф. Иоффе (Санкт-Петербург) успешно решены важные научные и прикладные задачи, ориентированные на совершенствование характеристик лазерных диодов (ЛД), линеек лазерных диодов (ЛЛД) и матриц лазерных диодов (МЛД), что привело к значительному повышению степени их надежности и эксплуатационной привлекательности.

Приобретенный богатый опыт работы с полупроводниковыми излучателями позволил Институту физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси в середине

90-х гг. без промедлений приступить к разработке и изучению свойств твердотельных лазеров с диодной накачкой (ТЛДН) на основе кристаллических и стеклянных активных сред, легированных различными редкоземельными элементами (Nd, Er, Yt, Tm, Ho и др.), и создавать на их основе оптоэлектронные приборы нового поколения.

Сегодня в Институте ведутся обширные исследования и опытно-конструкторские работы в области лазерной физики и техники, изучаются предельные возможности ЛДЛ и МЛД, оптимизируются их характеристики применительно к условиям функционирования в составе блоков диодной накачки твердотельных лазеров. Большое внимание уделяется поиску путей дальнейшего повышения энергии и качества выходных пучков таких лазеров, увеличению их срока службы. С этой целью моделируются электрические, оптические и тепловые процессы, ответственные за функционирование как отдельных каска-

дов, так и всего лазерного излучателя в условиях, максимально приближенных к реальным режимам их использования.

Твердотельные лазеры на основе стеклянных и/или кристаллических сред, активированных ионами редкоземельных элементов, – перспективные источники излучения в ближнем ИК-диапазоне. Внедрение новых активных сред и блоков накачки на основе ЛЛД и МЛД позволило более чем на порядок уменьшить величину потребляемой энергии и свести к минимуму габариты лазерных систем при одновременном улучшении пространственных и временных показателей генерируемых выходных пучков.

Тематика работ, связанных с проектированием и созданием экспериментальных, опытных и серийных образцов лазерных излучателей, включает в себя следующие основные направления: иттербий-эрбиевые лазеры, генерирующие в условно безопасном для органов зрения спектральном диапазоне (1,5–1,6 мкм); ТЛДН на основе Nd³⁺-содержащих активных элементов с воздушным охлаждением (частота следования импульсов излучения до 100 Гц); ТЛДН на Nd³⁺-содержащих активных элементах с водяным охлаждением (частота следования импульсов излучения до 1 кГц); параметрические генераторы света (ПГС), излучающие в спектральных диапазонах 1,5–1,6 и 3,0–5,0 мкм; ТЛДН с генерацией гармоник лазерного излучения 532, 355 и 266 нм. В качестве источников излучения накачки используются современные диодные модули на основе (In, Al)GaAs/AlGaAs-гетероструктур, способные генериро-



Рис. 1. Серия иттербий-эрбиевых лазеров с поперечной диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности: длина волны излучения 1535 нм; энергия выходных импульсов 1–8 мДж; частота следования импульсов – до 20 Гц; длительность импульсов излучения – менее 16 нс; диаметр выходного пучка менее 1 мм; параметр качества пучка – менее 1,3 (интервал рабочих температур от –40 до +70 °С)



Рис. 2. Серия параметрических генераторов света на основе задающих Nd: YAG-лазеров с диодной накачкой: длина волны излучения 1571 нм; энергия выходных импульсов 15–50 мДж; частота следования импульсов – до 30 Гц; длительность импульсов излучения – менее 10 нс; диаметр выходного пучка менее 5 мм; параметр качества пучка – менее 6 (интервал рабочих температур от –40 до +55 °С)



Рис. 3. Серия многоволновых Nd: YAG-лазерных систем с диодной накачкой для лидарных и спектроскопических исследований: длина волны излучения 1,064 нм, 532 нм, 355 нм, 266 нм; энергия выходных импульсов на основной частоте до 400 мДж; частота следования импульсов – до 30 Гц; длительность импульсов излучения – менее 10 нс; диаметр выходного пучка менее 6 мм; параметр качества пучка – менее 6 (интервал рабочих температур от –40 до +55 °С)

вать световые потоки с высокой импульсной мощностью в спектральных интервалах 0,94–0,98 и 0,80–0,88 мкм. Следует отметить, что все оптические компоненты, включая диэлектрические зеркала, поляризаторы и т.п., применяемые в экспериментальных исследованиях и серийных образцах лазеров, изготавливаются в научно-производственном центре оптико-электронного приборостроения Института физики НАН Беларуси.

Для современных малогабаритных дальномеров и оптоэлектронных систем подсветки и сопровождения цели, портативных медицинских устройств, а также систем лазерной спектроскопии тре-

буются компактные и легкие лазеры с малым энергопотреблением, излучающие в ближнем ИК-диапазоне 1,0–1,6 мкм.

В Институте физики создана серия иттербий-эрбиевых лазеров с диодной накачкой (рис. 1), работающих как в режиме пассивной модуляции добротности, так и с использованием электро-оптических затворов. Они позволяют получать наносекундные импульсы излучения с энергией до 10 мДж и частотами следования импульсов до 20 Гц. Конструкции эрбиевых излучателей обеспечивают их устойчивую работу на основной поперечной TEM₀₀ моде с параметром качества выходного пучка $M^2 < 1,3$ в широком диапазоне температур окру-

жающей среды – от минус 50 до плюс 70 °С. Потребляемая мощность при этом не превышает 30 Вт при частоте следования импульсов 10 Гц во всем рабочем интервале температур.

Создание параметрических генераторов света на основе задающих Nd: YAG-лазеров с диодной накачкой позволяет решить проблему повышения энергии выходного излучения в условно безопасном для органов зрения спектральном диапазоне 1,5–1,6 мкм до уровней 15–50 мДж с увеличением частоты следования импульсов до 30–60 Гц, что необходимо в ряде современных оптоэлектронных приборов различного базирования. Такие ПГС должны иметь предельно малые вес и габариты, потребляемую мощность не более 200 Вт и при этом характеризоваться высокими временной стабильностью и качеством выходного пучка. В Институте физики создаются параметрические генераторы света с принудительным воздушным охлаждением и кондуктивным охлаждением через основание (рис. 2).

Большинство произведенных учеными Института твердотельных лазеров с диодной накачкой на основе кристаллов и стекол, содержащих ионы неодима, с частотами следования импульсов до 1 кГц базируются на использовании в блоках накачки квантронов с улучшенными мощностными и пространственными показателями. Конвективно-охлаждаемые, без использования охлаждающих жидкостей, квантроны с активными элементами, боковые поверхности которых покрыты патентованным рассеивающим слоем, хорошо зарекомендовали себя в составе



Рис. 4. Твердотельный лазер с диодной накачкой и энергией в импульсе до 5 Дж. Частота следования импульсов до 20 Гц, длительность импульсов $13,5 \pm 0,5$ нс

Nd: YAG ТЛДН, возбуждаемых по схеме поперечной накачки, с энергией выходных импульсов до 200 мДж в режиме модуляции добротности. Для спектроскопических комплексов создан вариант компактного Nd: YAG-лазера с воздушным охлаждением (IFL-N315-UV), генерирующего четвертую гармонику (0,266 мкм) частоты фундаментальной моды. Длительность выходных импульсов – менее 8 нс при частоте следования 15 Гц и энергии 3 мДж. В одном корпусе размерами порядка $100 \times 200 \times 350$ мм интегрированы излучатель и блок электропитания, рассчитанный на напряжение 24 В постоянного тока.

Имеются области, в которых требуются компактные лазеры с более высокими уровнями выходной энергии, не использующие жидкостное охлаждение, для чего применяются оптические системы с усилителями. На рис. 3 представлена серия мощных многоволновых Nd: YAG-лазерных систем с энергией выходных импульсов до 400 мДж, способных работать

одновременно на длинах волн 1,064; 0,532; 0,355 мкм и 0,266 мкм при сохранении относительно высокого качества выходного пучка ($M^2 < 6$). Завершены испытания Nd: YAG-оптической системы с диодной накачкой и водяным охлаждением, генерирующей импульсы излучения с энергией до 5 Дж (длина волны излучения 1,064 мкм) (рис. 4).

Для современных систем формирования пикосекундных и/или фемтосекундных импульсов, а также устройств обработки материалов нужны неодимовые лазеры с высокими частотами повторения импульсов 500–1000 Гц. Для этих целей разрабатывается Nd: YAG-твердотельный лазер с диодной накачкой и водяным охлаждением замкнутого типа, позволяющий получать импульсы с энергиями порядка 50 мДж и частотами до 1 кГц. Экспериментальный образец успешно прошел комплекс измерительных и ресурсных испытаний, и на данном этапе готовится опытный экземпляр излучателя. При выполнении научно-исследовательских и опытно-

конструкторских работ большое внимание уделяется проблемам формирования выходных пучков лазерных излучателей высокого пространственного качества, экспериментально и теоретически изучаются оптические процессы в активных средах твердотельных лазеров с продольной и поперечной диодной накачкой. Полученные научные результаты позволили разработать, создать и оптимизировать ряд компактных полностью твердотельных лазерных излучателей, генерирующих в условно безопасном спектральном диапазоне с рекордными выходными параметрами для перспективных образцов оптических дальномеров, мобильных лазерных спектрометров, лазерно-плазменных двигателей и др.

Современные ТЛДН, разрабатываемые и создаваемые в Институте физики НАН Беларуси, обладают на порядок меньшими уровнями энергопотребления, предельно малыми габаритами и весом. Срок службы лазерных диодных линеек (ЛДЛ) и матриц лазерных диодов (МЛД), используемых в качестве источников излучения накачки, в большинстве случаев на два и более порядка превышает ресурс работы импульсных ламп. Все это объясняет тот факт, что в настоящее время ТЛДН являются практически безальтернативными источниками излучения для систем дальнометрии, подсветки целей (целеуказания), спектроскопии, медицины, космических применений и целого ряда устройств специального назначения. ■

Научные разработки в действии

Академическая наука как форпост познания всегда занималась фундаментальными проблемами и решением приоритетных задач. Так было в советское время, когда трансфер технологий осуществлялся на уровне всесоюзного планирования. К примеру, Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси всегда вел исследования в соответствии с запросами реального сектора экономики. Но система не просто дала сбой после распада СССР, она практически перестала существовать. Отчасти и поэтому фундаментальные изыскания просто повисли в воздухе и не были востребованы. Это стало серьезным испытанием как для самой организации, так и для ее ученых. Вместе с тем это было время возможностей: исследователи, накопившие опыт взаимодействия с промышленностью и понимавшие потребности рынка, смогли трансформировать свои наработки в коммерчески жизнеспособные продукты. Обладая глубокими знаниями в своей области, умением формировать многофункциональные команды, ставить цели и достигать их, самые творческие личности решились на переход из академической в бизнес-среду. И практика показала, что шаг это был верный, потому что они стали не просто успешными руководителями высокотехнологичных компаний, но и открыли новые горизонты для инновационного развития Беларуси и ее экономического роста. Самые успешные новаторы, выходцы из Института физики, рассказывают о том периоде своей жизни и о тех трудностях, с которыми пришлось столкнуться, о том, как удалось их преодолеть, сохранить связь со своей альма-матер и выстроить новую модель взаимодействия науки и бизнеса. Эти истории показывают, что трудности, как неотъемлемая часть пути к успеху, уступают настойчивости, вере в свои идеи и способности адаптироваться к изменениям и помогают преодолевать препятствия и добиваться выдающихся результатов.

Капитан «корабля» в океане неизвестного



Алексей Шкадаревич,
директор
УП НПЦ «ЛЭМТ»
БелОМО, академик

В далеком 1978 г. совместным приказом Министерства оборонной промышленности СССР и Президента Академии наук БССР был создан Межотраслевой конструкторский отдел (МКО), работу которого курировал заместитель директора Института физики, академик В.С. Бураков. В течение полугода должность руководителя МКО оставалась вакантной, на предложение возглавить его работу молодые научные сотрудники не проявили особого рвения, опасаясь шага в неизвестность.

Что касается меня, то, занимаясь фундаментальной наукой, я активно участвовал в выполнении хозяйственных договоров с НИИ газоразрядных приборов (г. Рязань) и производственным объединением «Полярон» (г. Львов). Некоторые из научных результатов, полученных мной, были внедрены на эти предприятия, что подстегнуло мой интерес к приборостроению. Этим и воспользовался академик В.С. Бураков, который активно агитировал меня взяться за практическое применение лазеров. Так, не выдержав напора, я сдался и оказался капитаном небольшого «корабля» в океане неизвестного и таинственного.

После столкновения с реалиями стала очевидна разница между работой в исследова-

тельском институте и конструкторском бюро такого серьезного профиля, как оборонка, которая отличалась «правилами игры»: если движущая сила научной работы – познание нового, поиск, эксперимент и право на ошибку, то в МКО – четкий график и обязательное, неукоснительное решение поставленных задач. Однако моя адаптация к новой роли и перевоплощение из ученого в организатора проходили легко благодаря тому, что наш отдел был частью Центрального конструкторского бюро «Пеленг» – одной из лучших школ страны в своей области. Не оставлял меня без внимания и поддержки и В.С. Бураков.

Высокая ответственность и жесткий спрос за результат компенсировался полной обеспеченностью финансами (годовой бюджет отдела составлял несколько миллионов долларов в сопоставимых цифрах). Поэтому тот период жизни для меня оказался наиболее плодотворным в творческом плане – защита докторской диссертации, получение ученого звания профессора.

Переход в мир прагматичного и сурового бизнеса случился в 1992 г., когда после распада Советского Союза МКО оказался в одночасье без союзного бюджетного финансирования. Вот тогда, сагитировав группу из 55 человек, мы решили создать самостоятельное научно-производственное предприятие «ЛЭМТ» (лазеры в экологии, медицине, технологии) и взять ответственность за свою судьбу в собственные руки.

Становление проходило непросто, сложности поджигали нас, можно сказать, на каждом шагу: это было и отсут-

ствие маркетингового опыта и навыков работы на внешнем рынке, «работа с колес», когда деньги от заказчика получались под изделие или проект, которые разрабатывались и изготавливались в рамках одного контракта. Так что история создания и развития ЛЭМТ, которое вскоре встретит свое 33-летие, – пример того, чего можно достичь, имея коллектив единомышленников с серьезным багажом знаний, уверенностью в своих силах и при этом непрестанно обучающихся и совершенствующихся.

На протяжении всех этих лет мы поддерживаем тесные контакты с профильными лабораториями и отделами Института физики, в том числе финансируем выполнение прикладных исследований для обеспечения более высокого научно-технического уровня собственной продукции. В последние годы с огромным удовлетворением получаем от академических ученых законченные продукты (лазерные передатчики с диодной накачкой) для интегрирования в создаваемые комплексы.

Научные лаборатории больше занимаются не разработками, а исследованиями, и по личному опыту знаю: они не могут быть коммерциализированы только по предписанию свыше. Для того чтобы этот процесс «пошел», чтобы было внедрение у заказчика, должно быть свое конструкторско-технологическое подразделение, которое «оденет» научный результат, то есть создаст прототип будущего коммерческого продукта. Если же ученые предлагают макет или образец некоего изделия сами и стараются найти заказчика, пыта-

ясь дать большую жизнь своему детищу, то тут, скорее всего, их ждет тернистый путь, хотя бы потому, что потенциальный заказчик должен быть готов к рискованной инвестицией, а значит, видеть перспективу и иметь терпение. Деньги нужны на переходный период от единичного изделия до серийного и потом уже и массового производства, на маркетинг. Так что, на мой взгляд, кратчайший путь к успеху научной идеи – работа на конкретного заказчика и под его требования.

В качестве примера следует сослаться на китайский опыт, где при научных лабораториях массово создаются производственно-коммерческие малые предприятия, которые, опираясь на полученные научные знания, занимаются разработкой и реализацией изделий, востребованных на рынке. Очевидно, что это приносит не только моральное, но и существенное материальное вознаграждение их создателям.

Мне приятно констатировать, что подобные структуры созданы и успешно функционируют, в частности, в моем родном институте – к примеру, под руководством доктора физико-математических наук Г.И. Рябцева. Мы с удовольствием закупаем у них ряд лазерных модулей.

Активно рекомендую молодым ученым Национальной академии наук и, конечно, Института физики им. Б.И. Степанова смелее включаться в процесс создания нового продукта, в основе которого лежат ваши научные исследования, поскольку увидеть материализованной свою научную идею – это ни с чем не сравнимые эмоции.

Конечный результат – лучшая награда за труд



Владимир Кононов,
директор
СП «ЛОТИС ТИИ»

Турбулентность, вызванная распадом Советского Союза, привела к стремительному разрыву производственных связей вплоть до закрытия многих предприятий. Основными сложностями того периода для нас, ученых Института физики, стало резкое сокращение рынка лазерного оборудования в Беларуси, России и странах ближнего зарубежья, а также отсутствие необходимых инвестиций. Выход из сложившейся ситуации виделся в поисках заказчиков за рубежом. Понимая это, мы, несмотря на финансовые трудности, нашли возможность посетить крупнейшую европейскую выставку «Лазер 1991. Мир фотоники» (Мюнхен, Германия), которая показала, что имеющийся опыт разработки и создания лазеров вполне может быть востребован и реализован на международном рынке.

Однако советское наследие серьезно сказывалось на наших амбициозных планах, ведь выпускаемое оборудование было ориентировано исключительно на внутренний рынок потребления, на котором ни о дизайне, ни о маркетинге никто особо не задумывался. В этом просто не было необходимости. Считалось, что ученый выше инженера, и если он что-то предлагает, то априори это лучше, да и самой Академии наук

под силу все. Тем не менее, обладая компетенциями, багажом знаний, умений, навыков и огромным опытом в части разработки и создания как лазеров, так и лазерных технологических систем для гигантов индустрии – НПО «Интеграл», НПО «Монолит» и КБТЭМ-ОМО (Планар), Институт физики им. Б.И. Степанова был вне конкуренции на территории СССР, но в новых условиях был неконкурентоспособен. Согласно мировому опыту, в соотношении «исследование – разработка» при создании высокотехнологичных изделий предпочтение обычно отдается разработке. Исходя из этого нам пришлось пересматривать свои позиции, перенаправлять усилия и средства на получение коммерческой высоконадежной продукции, удовлетворяющей по дизайну и удобству эксплуатации требованиям рынка. Пришло понимание, что мы в силах справиться с этой непростой задачей, и в 1992 г. была организована компания «ЛОТИС». Правильность выбранного направления развития подтвердилась интересом, проявленным к нашим изделиям, которые мы представили на выставке «Лазер 1993. Мир фотоники», где был заключен первый контракт на поставку лазера в Японию. Спустя 3 года результатом сотрудничества с фирмой «Tokyo Instruments Inc.», нашим первым заказчиком, дистрибьютором и поставщиком современного лазерного и спектрального оборудования для университетов, научно-исследовательских и производственных центров Японии, стало образование совместного белорусско-японского предприятия «ЛОТИС ТИИ». Особенно сложным в первые годы его работы был переход на западную комплектацию, создание оборудования, соответствующего

международным стандартам. Бесценными в этом плане были опыт, инвестиции и помощь японского партнера. Без знаний японских стандартов и менталитета выход нашей продукции на рынок этой страны был бы просто невозможен. Синергия усилий сотрудников фирмы «Tokyo Instruments Inc.» и научно-технического потенциала специалистов нашей компании позволили разработать ряд лазерных приборов, соответствующих самым высоким требованиям международных стандартов, и выйти на рынки инновационной продукции, поставив порядка 1600 лазеров в 34 страны мира.

Нельзя не отметить тот факт, что сотрудничество СП «ЛОТИС ТИИ» и Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси в рамках Государственной научно-технической программы «ЛАЗЕР» в 1997–1998 гг. привело к созданию в совершенно сжатые сроки типоряда лазерных блоков питания и охлаждения, удовлетворяющих всем мировым стандартам, а также разработке специальной модели лазера с повышенной стабильностью энергетических и пространственных характеристик для использования в установках ретуши дефектов фотошаблонов, выпускаемых концерном «Планар». Тесное взаимодействие и научная поддержка со стороны Института физики, Белорусского государственного университета позволили оснастить ведущие вузы нашей страны, научно-исследовательские учреждения и промышленные предприятия самым современным лазерным оборудованием. Им поставлено более 100 лазерных систем СП «ЛОТИС ТИИ».

Важно понимать, что научные наработки ученых показывают возможность реализации какого-то нового изделия, но для его успеха, с одной стороны, необходим запрос реального потребителя, с другой – разработка должна соответствовать тем требованиям, которые к нему предъявляет потребитель, в том числе и по цене, и по качеству. Мир современного бизнеса устроен так, что над созданием высокотехнологичных изделий трудятся большие коллективы, в которых ученые не всегда являются главными.

Кроме того, нельзя игнорировать роль промышленного дизайнера, а также стоимость нового научного продукта, его долговременную надежность и удобство работы для пользователя. Можно смело утверждать, что в успехе важно объединение усилий ученых, инженеров различных направлений и предпринимателей. От того, насколько слаженно работает этот тандем, зависит положение исследовательской команды, компании, их финансовое благополучие и востребованность их усилий.

Могут ли ученые повторить историю нашего успеха? Вне всякого сомнения, просто надо действовать: принять твердое решение, перебороть страх перед коммерциализацией, собрать сильную, мотивированную команду инженеров-единомышленников для разработки надежного высокотехнологичного продукта, найти инвестора, который поверит в его будущее. И тогда можно добиться высоких результатов в своей профессиональной деятельности. Видеть конечный результат – лучшая награда за труд как ученого, так и предпринимателя.

Надежная защита



Александр Рак,
директор
РУП «Криптотех»
Гознака

Важным атрибутом любого суверенного государства является наличие структуры, обеспечивающей защиту жизненно важных документов и ценных бумаг от подделок и фальсификаций. В Советском Союзе такой организацией являлся Гознак СССР. Однако после распада великой страны все производственные мощности и научно-исследовательские учреждения по этой тематике остались в Российской Федерации. Обретя независимость в 1991 г., Республика Беларусь столкнулась с необходимостью практически с нуля организовывать производство необходимых материалов и начать изготовление защищенных документов. Специфика стоявшей задачи не позволяла купить или заказать разработку за рубежом. Поэтому ее решение было возложено на академическую науку. Уже в 1992 г. совместным постановлением Президиума НАН Беларуси и Гознака был образован научно-технический центр Гознака Беларуси (НТЦ Гознака Беларуси), ставший прародителем современного высокотехнологичного предприятия «Криптотех». Его научными руководителями были избраны академики физик В.А. Толкачев и химик В.С. Комаров. С этого времени весь потенциал отечественной научной школы в области спектроскопии и люминесцен-

ции был направлен на решение задач Гознака. Руководителем центра был назначен Л.С. Корочкин – замдиректора ОКБ «Аксикон» Института физики, его заместителем – А.Я. Гореленко, ученик академика В.А. Толкачева. Одно из подразделений «Криптеха» возглавил сотрудник лаборатории спектроскопии сложных молекул С.П. Плиски.

Для производства бумаги, обладающей защитными свойствами, были необходимы специальные волокна. Учеными Академии наук и их коллегами из НТЦ Гознака были установлены связи с отечественными предприятиями, изготавливающими полимерные волокна, подобраны красители и люминофоры, разработана технология поверхностного окрашивания вискозного волокна с использованием комбинированной золь-гель технологии. Основным предприятием по изготовлению специальной защищенной бумаги была выбрана Борисовская бумажная фабрика. Там в кратчайшие сроки был организован выпуск окрашенных полимерных нитей. Одновременно с этим велась разработка защитных пигментов и люминофоров для печатных красок различных способов печати. Богатый опыт белорусских исследователей и тесное взаимодействие со своими коллегами из центра позволили получить работоспособные экземпляры защитных люминесцентных волокон и пигментов-люминофоров. Координировал и организовывал эту работу на общественных началах академик В.А. Толкачев. В результате был налажен выпуск антистоксовых люминофоров. Следует отметить, что лишь немногие государства обладают таким методом защиты своих документов. К тому же были созданы эксперименталь-

ные прототипы защитных волокон на основе вискозы, полиэтилентерефталата и полиимиды, подобраны подходящие люминесцентные пигменты и методы их введения в полимерную массу, что позволило в конечном счете организовать промышленное производство на одном из химических предприятий Беларуси.

В 2000-х гг. Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси выступил головной организацией в выполнении 2 государственных научно-технических программ «Защита», в рамках которых были предложены новые подходы защиты документов и технологии производства защитных элементов. В выполнении заданий ГНТП активное участие принимали лаборатории физики инфракрасных лучей, свободных сложных молекул и люминесценции.

Сегодня республиканское научно-техническое унитарное предприятие «Криптех» Департамента государственных знаков Министерства финансов – современное высокотехнологичное предприятие, специализирующееся на разработке методов защиты ценных бумаг и документов от подделок и выпуске пластиковых карт, бланков ценных бумаг и документов и специальных материалов, используемых для их защиты от подделки. Обладая собственной научно-исследовательской базой, предприятие по-прежнему сотрудничает с учеными НАН Беларуси, чтобы обеспечивать полный цикл производства продукции высокого качества. В год им выпускается 150 млн RFID-меток, 15 млн пластиковых карт и 10 млн бланков. Среди его постоянных клиентов – компании России, СНГ и Европы.

Голография как смысл жизни и проецирование будущего



Леонид Танин,
доктор физико-математических наук,
заслуженный изобретатель
Республики Беларусь

Одним из наиболее значимых и интереснейших событий для ученых, на мой взгляд, стала первая в СССР Всесоюзная выставка «Голография-78», организованная Институтом физики АН БССР (Б.И. Степанов, А.С. Рубанов, Л.В. Танин), которая проходила сначала на академической площадке, а затем на ВДНХ БССР. В ее рамках было представлено 50 голограмм, созданных советскими учеными из Государственного оптического института им. С.И. Вавилова, Всесоюзного научно-исследовательского кинофотоинститута, Ленинградского института ядерной физики им. Б.П. Константинова АН СССР, Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе АН СССР, Института физики АН БССР.

Продолжением данной выставки стала Международная выставка «Голография в СССР», организованная Научным советом по выставкам Академии наук СССР и союзных республик под председательством тогда еще члена-корреспондента АН СССР Андрея Петровича Капицы. Выставка имела огромный успех за рубежом. Она объехала более 17 стран мира (среди них Австрия, Великобритания, Италия, Австралия,

Япония, Германия и др.) и везде демонстрировала торжество советской голографии.

Мне посчастливилось участвовать в ряде выставок с голограммами от Института физики АН БССР в качестве стендиста и читать лекции «Голография в биологии и медицине».

Можно сказать, что эта история имела свое продолжение, потому что первый голографический промышленный образец в СССР (авторское свидетельство №10534 от 20.05.1980 г. «Олимпийский голографический знак») был выполнен на Минском механическом заводе им. С.И. Вавилова в 1980 г. Именно здесь была разработана технология, налажен серийный выпуск голографических олимпийских значков к XXII Олимпийским играм в Москве и выпущена партия из 30 тыс. штук. Они вручались почетным гостям и участникам Олимпиады и даже были отправлены в космос. Работа по созданию голографического образца была отмечена Дипломом Почета ВДНХ СССР, которым был награжден А.С. Рубанов, и золотой медалью ВДНХ СССР, врученной Л.В. Танину.

Эти события и послужили началом исследований в Институте физики АН БССР по созданию способов получения комбинированных изображений, взаимно дополняющих друг друга. Тогда появилась идея, каким образом можно формировать и восстанавливать комбинированные изображения в объеме, цвете и движении. Итогом этой работы стали патенты «Способы формирования изображений», полученные в СССР, США, Франции, ФРГ, Чехословакии, Болгарии, подачу которых инициировал Госкомитет СССР по делам изобретений и

открытий. В 1993 г. ко мне как основному патентообладателю обратилась компания «Samsung Electronics Corporations Ltd» с просьбой передать права на этот патент Соединенных штатов Америки. В результате переговоров между Институтом физики АН Беларуси и компанией впервые в независимой Беларуси было заключено лицензионное соглашение №1 от 05.05.1993 г.

Спустя 3 года мне было предложено создать предприятие по производству защитных голограмм. Должен заметить, что к этому времени в Беларуси сложились предпосылки для его организации: во-первых, мной было организовано научно-производственное предприятие «Магия света» по изготовлению качественных высокотехнологичных художественных голограмм, подобран коллектив высококвалифицированных специалистов в области голографии; во-вторых, были налажены связи с рядом ведущих мировых компаний похожего профиля. После консультации с руководством компании «Капитал Бизнес Менеджмент» (Швейцария) правительством Беларуси, которое гарантировало заказ на продукцию, было решено создать совместное белорусско-швейцарское предприятие «Голографическая индустрия», и мне предложили его возглавить. Его появление стало своевременным ответом на вызовы того периода – когда возникла потребность в формировании отечественной системы маркировки и идентификации самого широкого круга товаров, ценных бумаг и документов. Это был 1998 г. Не покривлю душой, если скажу, что верил в успех, в потенциал команды и свои силы, в перспективы данной технологии, хотя было не просто.

Пришлось самостоятельно находить инвестиции как внутри страны, так и за ее пределами. Тем не менее, и я этим очень горжусь, в число первых учредителей предприятия вошли заводы «Кристалл», «Белалко», Минский механический завод им. С.И. Вавилова, но при этом мне очень хотелось, чтобы среди них был и Институт физики НАН Беларуси. Но денег, чтобы приобрести акции вновь созданной компании, у Института не было, и необходимую сумму за него внесла из собственных средств фирма «Магия света». Сегодня Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси остается акционером и владеет 18% акций ЗАО «Голографическая индустрия».

Мне выпала великая честь стоять у истоков рождения данного предприятия, быть его основателем и одним из первых создателей и руководителей наукоемкой высокотехнологичной компании в Беларуси, приносящей огромную пользу нашей стране, отвечающей за национальную систему защиты отечественной продукции и потребительских товаров на внутреннем и внешних рынках. Ведь контрафактная продукция все еще остается серьезной проблемой, которая наносит ущерб экономике.

Все эти годы я активно участвую в разработке и внедрении уникальных голографических технологий: юниграмм, кодограмм, кристаллограмм. В свое время руководил государственными программами, связанными с идентификацией и защитой документов. И сейчас принимаю активное участие в жизни компании. И – не перестаю изобретать. ■

Подготовила Жанна КОМАРОВА

Эволюционный анализ развития экономических аспектов качества: зарубежный опыт



Лариса Скрипко,
профессор кафедры
проектного менеджмента
и управления качеством
СПбГЭУ, доктор
экономических наук

Начало изучения экономических аспектов качества можно отнести к концу 1920-х гг. прошлого столетия. Однако чтобы понять, как проходил процесс их становления, прежде всего следует уделить внимание работам зарубежных ученых и специалистов, обратившихся к данной проблематике почти на 40 лет раньше, чем аналогичные изыскания были начаты в бывшем СССР. Кроме того, представляется целесообразным сопоставить развитие экономики качества с современными взглядами на эволюцию качественного менеджмента. Использование терминологического конструкта «качественный менеджмент» обусловлено сформировавшимся в начале 2000-х гг. представлением о Системе менеджмента качества (Quality Management Systems), построенной на основе требований стандартов ISO. Развернувшаяся в этот период на страницах научных изданий дискуссия [1–6] показала, что большинство ведущих экспертов в этой области обоснованно считают некорректным употребление термина «менеджмент качества» и отдают предпочтение понятиям «качество менеджмента» или «качественный менеджмент». Такой точки зрения придерживаются многие специалисты, уточняя при этом, что «согласно более широкой трактовке качество – не только объект, но и характеристика управления, поэтому правильнее говорить не столько о «менеджменте качества», сколько о «качественном менеджменте» [7]. Автор разделяет представленный подход [8, 9]. Однако рассмотрение терминологических вопросов не является предметом данной работы, поэтому будем использовать термины «менеджмент качества» и «качественный менеджмент» как равнозначные (рис. 1).

Общепризнано, что толчком к началу изучения экономических аспектов качества послужили работы американского ученого У.А. Шухарта, под руководством которого в компании «Bell Telephone Laboratories» разработали и применили статистические методы контроля и испытаний, основанные на контрольных картах с границами регулирования. Суть подхода сводилась к возможности отказа от сплошного контроля и перехода к выборочному по заранее составленному плану, что приводило к значительной экономии денежных средств, поэтому такой вид контроля изначально называли экономическим [10].

К концу 1940-х гг., в начале 2-го этапа эволюции работ по менеджменту качества (межфункциональное взаимодействие при решении производственных проблем), определились основные направления исследований. Ключевой работой этого периода следует считать «Справочник по экономике качества» американского специалиста в области менеджмента качества Д.М. Джурана [11], в котором была предложена первая законченная концепция управления затратами, составляющими стоимость качества. В 1962 г. вышла его вторая расширенная и дополненная версия [12], где впервые была приведена классификация затрат на обеспечение качества продукции по 2 базовым категориям – обеспечение качества конструкции и изготовления, а также сформулированы 9 основных (укрупненных) статей затрат на качество.

Этот справочник можно считать отправной точкой научных изысканий в области экономики качества, поскольку все дальнейшие исследования опирались либо на него, либо в той или иной степени использовали его результаты.

В начале 1960-х гг. работы Д.М. Джурана были продолжены одним из основателей Международной академии качества А. Фейгенбаумом, предложившим концепцию комплексного управления качеством, ставшую в то время новой философией в области управления предприятием. В монографии, опубликованной им в 1963 г. [13], была представлена классификация затрат на обеспечение качества продукции, в соответствии с которой они подразделяются на 4 группы: предупредительные, оценочные, или затраты на контроль качества изделий, издержки вследствие внутренних и внешних отказов.

Данная концепция не являлась единственной. В конце 1960-х гг. на основе критического анализа американского подхода к решению экономических вопросов качества японскими специалистами была предложена идея о формировании состава затрат на качество по принципу полезности [14], согласно которой предлагалось все затраты классифицировать на полезные и убыточные. При этом к последним следовало относить все затраты, которые должны исчезнуть при 100%-ном качестве продукции (идеальная ситуация – полное отсутствие несоответствий).

Очевидно, что фундаментом для появления такого подхода послужили также работы Д.М. Джурана, а именно – деление затрат на необходимые и излишние.

Таким образом, к началу 1970-х гг. два метода – американский и японский – в практическом плане были полностью сформированы, и зарубежные исследования, посвященные вопросам определения, учета и анализа затрат на качество, были во многом прекращены. Из наиболее интересных работ того времени следует выделить «Качество без затрат» Ф.Б. Кросби [15], который, изучая вопросы стоимостной оценки качества, пришел к выводу, что изготовителю приходится платить не за него, а за его отсутствие, и доказал, что улучшение качества не требует больших затрат, так как при этом одновременно повышается производительность и снижаются издержки производства. В своей книге он указал, что фирмы, которые не пытаются измерить этот показатель, лишают себя прибыли в виде потерь от брака, переделок и ремонта. Его знаменитый афоризм: «За качество не платят!» стал девизом зарубежных исследований в этом направлении. Кросби считал, что «такого понятия, как экономически обоснованный уровень качества, не существует, ведь всегда дешевле сделать работу хорошо с первого раза, чем ее переделывать» [16]. Понимание важности и необходимости управления затратами на качество привело к созданию соответствующих государственных стандартов, что совпадает с началом третьего этапа развития менеджмента качества – процессного подхода к управлению на основе стандартизации требований к системам качественного менеджмента.

Одним из первых стал Британский национальный стандарт BS 6143:1981 «Руководство (Справочник) по определению и использованию затрат, относящихся к качеству». Он содержал описание РАФ-модели «предупреждение – оценка – отказ». Этот стандарт, основанный на опыте американских и британских специалистов и учитывающий специфику и особенности учета затрат в указанных странах, был одним из наиболее полных справочных материалов в данной области для своего времени.

BS 6143:1981 описывал общий алгоритм применения в организации концепции А. Фейгенбаума [17], согласно которой все затраты на обеспечение качества разделялись на 3 группы: предупредительные, затраты на контроль и убытки из-за внешних и внутренних несоответствий (рис. 2). И хотя эта теория неоднократно подвергалась критике [18, 19 и др.], она была наиболее популярна до середины 1980-х гг. прошлого века.



Рис. 1. Основные этапы зарубежных исследований экономических аспектов качества в сопоставлении с развитием качественного менеджмента

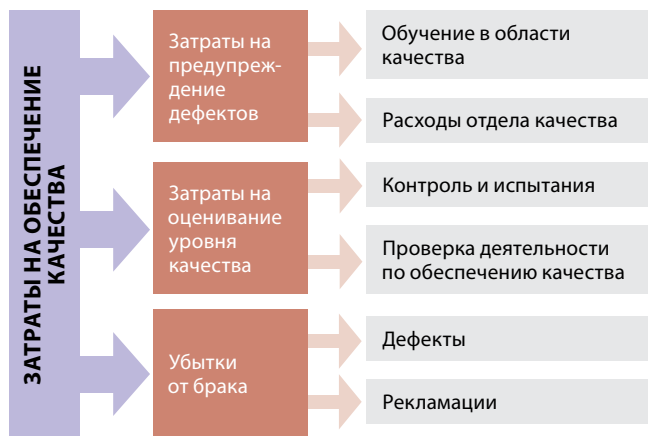


Рис. 2. Классификация затрат на качество А. Фейгенбаума

Кроме того, практическая ценность стандарта заключалась в наличии приложений, таблиц и рисунков, которые представляли собой примеры отнесения затрат по группам и формирования отчетов в различных номенклатурах изделий, организационных структурах, а также информирования и повышения компетентности сотрудников в отношении затрат на качество и дальнейшем использовании аналитических данных для реализации улучшений. Наверное, именно поэтому он нашел признание не только в Великобритании, но и во многих других странах и получил де-факто статус международного.

В 1990–1992 гг. стандарт BS 6143 был пересмотрен и принят в 2 частях: 1-я была названа «Модель затрат на процесс» [20], 2-я – «Модель предупреждения, оценки и отказов» [21]. И если вторая часть в целом сохранила структуру BS 6143 1981 года, то первая ориентировалась на новое в то время направление менеджмента – процессный подход.

Поскольку к 1992 г. единственной законченной концепцией управления процессами являлась модель профессора Гарвардской школы бизнеса Д. Гарвина, исследовавшего вопросы в области общего управления и стратегических изменений с акцентом на биз-

нес- и управленческие процессы, организационное обучение, проектирование и управление крупными сложными организациями [22], то широкого применения стандарт BS 6143, часть 1 не получил. Однако заложенные в нем подходы к формированию затрат на процессы и ресурсы, используемые в процессах, послужили основой для дальнейшей работы в данном направлении. Сам стандарт, так же как и его 2-я часть, содержал не только общие рекомендации по формированию затрат на процессы, но и примеры отчетов по ним, и 6 моделей применительно к различным подразделениям и ключевым работам (одна из них представлена на рис. 3). Нельзя не отметить, что его применение затруднялось тем, что состав приведенных затрат был достаточно сильно привязан к существовавшей в Великобритании системе финансовой отчетности, и некоторые элементы (например, затраты на стажировки спонсируемых студентов) были далеко не в каждой организации.

Согласно подходу, регламентируемому в стандарте BS 6143 Part 1, все затраты делились на 2 группы: на соответствие и затраты вследствие несоответствия. Под первыми подразумевались расходы, необходимые для исполнения всех установленных и предлагаемых потребностей заказчиков (потребителей) при отсутствии недостатков (отказов) в существующем процессе; вторые представляли собой стоимость затраченных времени, материалов, ресурсов, связанных с поступлением, производством, отгрузкой и исправлением неудовлетворительной продукции и услуг. Иными словами, к первой группе относились все расходы по выполнению требований процесса наиболее эффективным способом, а ко второй – полная сумма убытков, включая упущенные возможности и выгоды. Такой подход развивает идею, предложенную в отношении затрат на качество в конце 1960-х гг. японскими специалистами, согласно которому к затратам на несоответствие

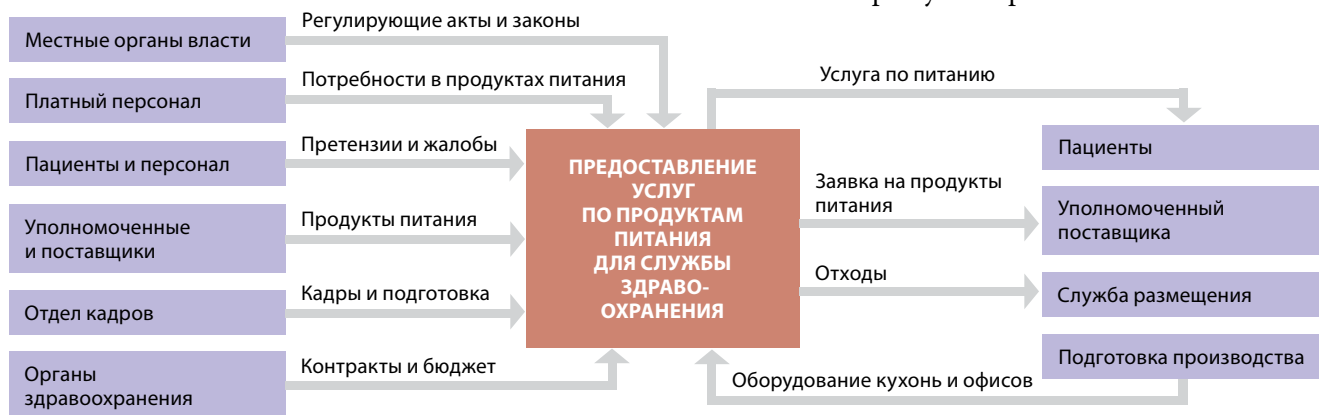


Рис. 3. Идентификация управляющих потоков процесса, ресурсов и источников [21]

отнесены все издержки, возникающие из-за неэффективности процесса.

Немного ранее пересмотра британского стандарта по экономике качества в 1985 г. Техническим комитетом Международной организации по стандартизации (ISO/TC) 176 был издан проект первой редакции стандартов ISO серии 9000. Одним из них являлся ISO 9004–1 «Общее руководство качеством и элементы системы качества», в состав которого был включен раздел «Финансовые аспекты», содержащий рекомендации, как планировать, учитывать и анализировать затраты на качество любым существующим методом по выбору организации. Пересмотренные стандарты ISO 9000 версии 1994 г. также лишь декларировали необходимость оценивания эффективности системы качества и использования финансовой отчетности для «выявления неэффективных видов деятельности и реализации внутренних мер по улучшению качества» [23].

В конце 1998 г. ISO/TC 176 опубликовал Технический отчет ISO/TR 10014 «Руководящие принципы управления экономикой качества» [24], основанный на требованиях британского национального стандарта.

При этом считалось, что для правильного (качественного) управления необходимо реализовывать 2 блока деятельности параллельно друг другу, или одновременно друг с другом. В соответствии с первым организация должна была идентифицировать процессы для каждого из них, установить состав затрат на качество и проводить их мониторинг и формировать отчеты о них. Второй касался взгляда на потребителей, причем различий между внешними и внутренними потребителями не делалось: если результаты процесса выходили за пределы организации, то ориентация была на первых, а если они оставались внутри компании и передавались на другой процесс как его входы, то ориентировались на вторых.

Предусматривалась идентификация факторов, влияющих на удовлетворенность потребителей, и проведение мониторинга их удовлетворенности с подготовкой соответствующих отчетов для принятия решений. Далее оба отчета поступали на рассмотрение руководства для идентификации возможностей улучшения, при этом или повышалась удовлетворенность потребителей за счет увеличения ценности продукции или процесса, или снижались затраты, или использовалась комбинация обоих направлений. Если возможности были найдены, то проводился инвестиционный анализ «затраты/прибыль». В тех случаях, когда его результаты были благоприятными, улучшение считалось целесообразным и реализовывалось.

Единственным существенным недостатком подхода к определению эффективности и необходимости улучшений, приведенного в ISO/TR 10014, являлось наличие временного лага между полученной информацией: данные об удовлетворенности характеризовали предыдущие периоды деятельности организации, а данные о затратах – текущие.

Поскольку сведения по использованию технического отчета указывали на необходимость разработки соответствующего стандарта, то параллельно в 2006 г. была принята первая редакция ISO 10014 «Менеджмент организации. Руководящие указания по достижению экономических выгод в системах качественного менеджмента» [25]. Этот вариант стандарта был ориентирован на применение принципов качественного менеджмента, цикла «планирование – действие – проверка – корректировка» (PDCA) механизмов самооценки и на их основе реализации улучшений для получения экономических выгод (рис. 4).

Кроме того, стандарт содержал вопросник для проведения предварительной самооценки, включав-

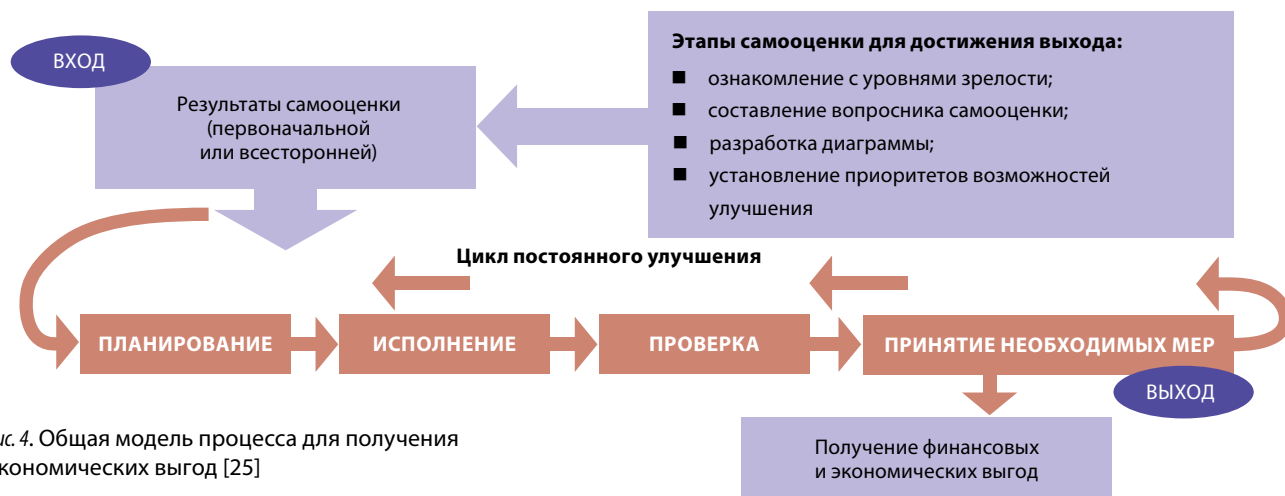


Рис. 4. Общая модель процесса для получения экономических выгод [25]

Год	Исследования в области экономики качества	Автор
1931	Предложен экономический (статистический) контроль качества	В.А. Шухарт
1951	Разработаны основы экономического подхода к обеспечению качества, предложена первая классификация затрат на обеспечение качества и состав основных затрат	Д.М. Джуран
1954	Разработан экономический план контроля качества на основе использования статистических методов и экономические аспекты составления контрольных карт	П. Фридман
1959	Разработаны метод планирования и прогнозирования расходов на качество выпускаемой и новой продукции и метод определения расходов на обеспечение качества проектно-конструкторской документации	П. Аллен
1961	В Американском обществе качества создан комитет, занимающийся вопросами стоимости качества	
1962	Предложен первый вариант общепринятой за рубежом классификации затрат на качество	Д.М. Джуран
1963	Современная версия классификации затрат на качество	А. Фейгенбаум
1966	Разработана концепция учета, планирования и оптимизации издержек фирмы при анализе качества	П. Фридман
1967	Издан справочник «Затраты на обеспечение качества – какие и как они реализуются»	Американское общество качества
1970	Предложена классификация затрат на качество по принципу полезности затрат	Т. Накамура
1972	Уточнен состав затрат на качество на основе классификации А. Фейгенбаума	Ф. Кросби
1977	Справочник «Руководство по снижению затрат на качество»	Американское общество качества
1979	Монография «Качество без затрат»	Ф. Кросби
1981	Принята первая редакция BS 6143 «Руководство по определению и использованию затрат, относящихся к качеству»	
1986	Справочник «Принципы учета затрат на качество»	Американское общество качества
1987	Официально принята первая редакция ISO 9004-1	
1992	Пересмотрен и принят во второй редакции BS 6143	
1994	Пересмотрен и принят во второй редакции ISO 9004-1	
1998	Технический отчет ISO/TR 10014 «Руководящие принципы управления экономикой качества»	
2006	Принят стандарт ISO 10014 «Менеджмент организации. Руководящие указания по достижению экономических выгод в системах качественного менеджмента»	
2021	Пересмотр стандарта ISO 10014 «Системы качественного менеджмента. Управление результатами в отношении качества в организации. Получение финансовых и экономических выгод»	

Таблица. Эволюция зарубежных исследований экономических аспектов качества

ший по 3 вопроса для каждого принципа. Например, для «Системного подхода к управлению» они были следующими:

- *выявляются ли, понимаются ли и эффективно управляются ли взаимосвязанные процессы, чтобы обеспечить систему, позволяющую получить финансовые и экономические выгоды?*
- *понимаются ли возможности и ограничения ресурсов и процессов с учетом взаимозависимости процессов?*
- *обеспечивает ли применяемый системный подход целостное использование конкретных процессов на благо системы?*

Также был разработан более подробный вопросник для всесторонней самооценки. Однако требования стандарта не раскрывали ни понимания, ни критериев, ни механизмов реализации экономических выгод.

Вторая редакция стандарта ISO 10014 [26], принятая в 2021 г., представляет собой синтез 2 предыдущих версий технического отчета и версии стандарта 2006 г.: она также ориентирована на применение цикла PDCA и метода самооценки, но структурирована уже не по принципам качественного менеджмента, а в соответствии с глобальной структурой, которая названа «сверху вниз». Подход реализовывался в 2 этапа: на первом высшее руководство проводит самооценку и определяет общие области для улучшений, на втором – владельцы процессов выполняют действия, назначенные высшим руководством по результатам периодического анализа.

В Приложении был приведен перечень показателей финансовых и экономических выгод, однако часть из них не имеет отношения к экономике и финансам (например, жалобы клиентов или удержание сотрудника), а часть – невозможно соотнести

с конкретными процессами организации, так как они характеризуют деятельность компании в целом (например, долю рынка или чистого дохода).

Кроме того, использование цикла PDCA в его классическом варианте вызывает все больше сомнений как у специалистов-практиков, так и у ученых. Это связано с глобальными характеристиками процессов: результативностью, эффективностью и адаптивностью – характеристикой, говорящей о том, насколько быстро процессы могут изменяться под влиянием изменений контекста.

Обобщая рассмотренные исследования экономических аспектов качества, можно наглядно представить их общую эволюцию с учетом разработки международных стандартов, которые являются исключительно зарубежными (*таблица*).

Рассмотрев эволюционное развитие зарубежных исследований в области экономики качества начиная с 20-х гг. прошлого столетия, можно провести условную параллель данного направления с развитием подходов к менеджменту качества: на первом этапе – «Функциональный подход к управлению на основе профессионального разделения труда и специализации» – экономические аспекты качества практически не изучались, так как происходило формирование основ качественного менеджмента; на втором – «Межфункциональное взаимодействие при решении производственных проблем» – происходит формирование различных взглядов на состав затрат на качество и разработка методик оценки эффективности ими, а на третьем – «Процессный подход к управлению на основе стандартизации требований к системам качественного менеджмента» – в основном формируются стандарты по экономике качества с переводом положительных практик управления затратами на качество в международные признаваемые требования. Однако практика международной стандартизации устанавливает приоритетность развития систем менеджмента качества перед принципами экономики качества и развитием методов управления стоимостью качества, что существенно сужает и ограничивает диапазон исследований и уменьшает вероятность апробации инновационных экономических методик.

При этом продолжают развиваться только 2 основных направления исследований на основе структурирования затрат на качество: изучение и развертывание РАФ-модели (объект – продукция) и исследование затрат на качество, классифицированных по принципу полезности (объект – вид деятельности), появившихся более 50 лет назад. Вместе с тем новые идеи и методы в этой сфере в зарубежной научной литературе практически не встречаются. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шонбергер Р. Премия Малкольма–Болдриджа: Имеет ли она по-прежнему отношение к проблемам качества? // Стандарты и качество. 2003. №1. С. 96–98.
2. Аванесов Е.К., Швеце В.Е. Развитие внутрифирменных систем менеджмента на основе регулярной оценки уровня их совершенства // Сб. докладов XIV Междунар. конф. «От менеджмента качества к качеству менеджмента и бизнеса». – СПб., 2004. С. 64–76.
3. Адлер Ю.П. Сказка про репку, или новый взгляд на менеджмент // Сб. докладов XIV Междунар. конф. «От менеджмента качества к качеству менеджмента и бизнеса». – СПб., 2004. С. 12–18.
4. Воронин Г.П. Качество менеджмента и главные цели общественного движения за качество // Стандарты и качество. 2004. №11. С. 8–9.
5. Свиткин М.З. От менеджмента качества к качеству менеджмента и бизнеса: миф или реальность? // Стандарты и качество. 2004. №1. С. 18–22.
6. Кудрявцева Е.П., Фаерберг Е.И. От качественного менеджмента к менеджменту качества проекта // Качество. Инновации. Образование. 2010. №11. С. 19–25.
7. Трауд М. Мы прислушиваемся к мнению потребителей и находим оптимальные решения // Методы менеджмента качества. 2021. №11. С. 24–27.
8. Скрипко Л.Е. ISO 9001:2015: проблемы, которые нам предстоит решать // Методы менеджмента качества. 2015. №7. С. 20–27.
9. Скрипко Л.Е. Проектирование системы менеджмента качества на предприятии: учеб. пособие. – СПб., 2018.
10. Shewhart W.A. Economic Control of Manufactured Product. – N.Y., 1931.
11. Juran J.M. Quality Control Handbook. – N.Y., 1951.
12. Juran J.M. Quality Control. – N.Y., 1962.
13. Feigenbaum A.V. Total Quality Control. – N.Y., 1961.
14. Накамура Т. Внедрение системы расчета затрат на обеспечение качества // Качество, торговля, экономика. – М., 1970.
15. Crossbea F.B. Quality is free. – N.Y., 1979.
16. Fox M.J. Quality assurance management. – London, 1995.
17. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции. – М., 1986.
18. Качество, торговля, экономика // Сб. докладов междунар. конф. по вопросам управления качеством (Токио). – М., 1970.
19. Рахлин К.М., Скрипко Л.Е. Методология классификации затрат на качество // Стандарты и качество. 1997. №3. С. 49–51.
20. BS 6143 Guide to the economics of quality Part 1:1992 Process cost model // <https://qualitasbiblo.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/01/bs-6143-1-guide-to-the-economics-of-quality-part-1-process-cost-model.pdf>.
21. BS 6143 Guide to the economics of quality Part 2:1990 The prevention, appraisal and failure model // <https://qualitasbiblo.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/01/bs-6143-2-guide-to-the-economics-of-quality-part-2-paf-model.pdf>.
22. Garvin D.A. Managing Quality. – N.Y., 1988.
23. ISO 9004:1994 Part 1 Quality management and quality system elements Guidelines // <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/16541/368f9570e7984e5d91b693a68e1723d4/ISO-9004-1-1994.pdf>.
24. ISO/TR 10014:1998 Guidelines for managing the economics of quality // <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/1516/03309a56d48146f8ad0b306a5f2ebca6/ISO-TR-10014-1998.pdf>.
25. ISO 10014:2006. Enterprise management. Guidelines for realizing economic benefits in quality management system // <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75233/21951c447bb2427e8886785cdf272e09/ISO-10014-2021.pdf>.
26. ISO 10014:2021. Quality management systems. Managing an organization for quality results. Guidance for realizing financial and economic benefits // <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75233/21951c447bb2427e8886785cdf272e09/ISO-10014-2021.pdf>.
27. Скрипко Л.Е. Стандарт по экономике качества ISO 10014:2021. История и новизна // Стандарты и качество. 2022. №6. С. 32–37.

Техники современного качества

Основа устойчивости экономики – выпуск высококачественной инновационной конкурентоспособной продукции, которую выбирает потребитель. Условия для этого создает национальная инфраструктура качества, включающая такие сферы деятельности, как техническое нормирование и стандартизация, метрология, подтверждение соответствия, аккредитация и надзор. Именно этим аспектам посвящен один из важнейших разделов программы «Качество 2021–2025».



Елена Моргунова,
председатель
Государственного комитета по
стандартизации Республики
Беларусь, кандидат
технических наук, доцент

Немаловажный факт: в нашей стране сохранено единое и скоординированное развитие данных направлений под эгидой Госстандарта, в отличие от других стран-партнеров. Во многом благодаря этому высокое качество продукции стало брендом Беларуси.

Пристальное внимание сегодня уделяется и вопросам повышения эффективности бизнес-управления в организациях. В этом видится действенный ресурс увеличения их конкурентоспособности, что принесет пользу экономическому развитию республики в целом.

Что же составляет основу для продвижения современных технологий менеджмента, учитываются ли международные тенденции, есть ли успехи в этом направлении у белорусских предприятий и каковы их перспективы?

Роль стандартов в современной экономике

Являясь базовым элементом национальной инфраструктуры качества, стандартизация помогает находить реальные и эффективные решения актуальных задач в самых разных сферах.

В первую очередь стандарты нацелены на повышение безопасности, качества и конкурентоспособ-

ности продукции, услуг, процессов и систем менеджмента. Их современные требования, основанные на передовом опыте и достижениях, стимулируют производителей к инновационной активности, созданию новых изделий, оптимальному использованию ресурсов и, следовательно, – модернизации производств, совершенствованию методов контроля, технологических и управленческих процессов.

Стандарты разрабатываются открыто и гласно, с участием всех заинтересованных сторон – государства, производителей, потребителей, принимаются на основе консенсуса и, как правило, являются добровольными. Приверженность им как важнейшему условию доверия марке «Сделано в Беларуси» не только со стороны отечественных, но и зарубежных потребителей в нашей стране сохранена и поддерживается.

Фонд этих документов насчитывает сегодня около 32 тыс. В 2024 г. утверждено более 700 государственных стандартов (ГОСТ и СТБ). Они касались легкой, химической промышленности, электротехники и радиоэлектроники, машиностроения, сельского хозяйства и продовольствия, строительства и других сфер. Уровень их гармонизации с международными требованиями превысил 60%. Это предоставляет белорусским изготовителям готовые технические решения, разработанные мировыми лидерами промышленности и признанные на международном уровне. При использовании таких стандартов создаются условия для выпуска продукции, конкурентоспособной не только на внутреннем рынке, но и за его пределами.

При пополнении фонда новыми разработками и актуализации действующих анализируются международные тенденции, а также запросы национальной экономики и социальной сферы.

«Стандартный» менеджмент

Одним из значимых направлений на протяжении многих лет выступает разработка стандартов, предъявляющих требования к менеджменту в различных областях. Это обусловлено тем, что именно системное и эффективное управление может обеспечить организации преимущества в современной конкурентной борьбе, поскольку оборудование, технологии и инфраструктура есть у всех.

В настоящее время в Беларуси разработано более 90 государственных стандартов в области менеджмента качества и системного менеджмента, включая стандарты на техники эффективного менеджмента и отраслевые приложения (табл. 1).

Первые попытки формализации методов управления качеством, основанные на статистических методах, относятся к началу XX в. Затем в середине этого столетия появляется концепция всеобщего управления качеством, предполагающая вовлечение всех сотрудников организации в процесс обеспечения качества. Уже к концу века разрабатывается широко известная сегодня серия международных стандартов ISO 9000. Первая версия ISO 9001 была подготовлена в 1987 г. и сосредоточена на документации и процедурах, обеспечивающих соответствие продукции требованиям; последующие, опубликованные в 1994, 2000, 2008 и 2015 гг., нацелены на потребителя и основаны на риск-ориентированном подходе.

Область менеджмента	Количество стандартов
Методы менеджмента качества (СТБ 1506, СТБ 2582, СТБ ISO 19011, СТБ IEC 31010 и др.)	>20
Менеджмент качества (СТБ ISO 9000, СТБ ISO 9001, СТБ ISO 10013, СТБ ISO 10014 и др.)	15
Менеджмент информационной безопасности (СТБ ISO/IEC 27000, СТБ ISO/IEC 27001, СТБ ISO/IEC 27002 и др.)	9
Менеджмент безопасности пищевой продукции (СТБ ISO 22000, СТБ 1470, СТБ ISO 22004 и др.)	8
Менеджмент инноваций (СТБ ISO 56000, СТБ ISO 56002, СТБ ISO 56003 и др.)	7
«Шесть сигм» (СТБ ISO 13053-1, СТБ ISO 13053-2, СТБ ISO 18404, СТБ ISO 17258)	4
Менеджмент окружающей среды (СТБ ISO 14001, СТБ ISO 14004, СТБ ISO 14040, СТБ ISO 14050)	4
Атомная энергетика (СТБ ISO 19443, СТБ ISO/TR 4450, СТБ ISO/TS 23406)	3
Другие аспекты	< 20

Таблица 1. Государственные стандарты в области менеджмента качества и системного менеджмента

В Беларуси первый стандарт в области менеджмента качества СТБ ИСО 9001–96 был введен в действие 1 января 1997 г. В настоящее время действует его актуальная версия СТБ ISO 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования», акцентирующая внимание на лидерстве, вовлечении сотрудников, улучшении процессов, анализе данных и рисков.

В ближайшие 2 года в этот стандарт, а также в СТБ ISO 9000–2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» планируется внести изменения с целью гармонизации с актуальными международными требованиями (Amd 1:2024). Новые включения расширят базу терминов и определений, введут требования об учете изменения климата как одного из внешних факторов при разработке и внедрении системы менеджмента. Сейчас изменения рассматриваются на международном уровне, и их введение в действие ожидается к концу 2026 г.

Следует отметить, что системный менеджмент получил уверенную «прописку» на отечественных предприятиях. Так, в республике сертифицировано более 7700 систем менеджмента. Наиболее активно организации внедряют и подтверждают соответствие систем менеджмента качества, здоровья и безопасности при профессиональной деятельности, безопасности пищевой продукции, окружающей среды (табл. 2).

Внедрение и сертификация систем менеджмента нацелены на повышение качества и конкурентоспособности белорусской продукции, применение отечественными компаниями новых знаний и современных инструментов эффективного менеджмента и техник качества.

Одновременно следует отметить, что нормативная база в поддержку системного менеджмента последовательно развивается. Так, в 2024 г. введены в действие государственные стандарты в области менеджмента проектов, менеджмента человеческих ресурсов, систем менеджмента качества для организаций, поставляющих продукцию и услуги, важные для ядерной безопасности. Также обновлен государственный стандарт (СТБ 16949–2023) для организаций, участвующих в цепях поставок автотракторного, сельскохозяйственного, погрузочно-транспортного, карьерного, электротранспортного и специального машиностроения.

С 1 января 2025 г. введены в действие 6 государственных стандартов, касающихся требований к системам менеджмента информационной безопасности, средств управления ею, менеджмента рисков

Вид системы менеджмента	Наименование системы менеджмента	Количество сертификатов соответствия
СТБ ISO 9001 (ISO 9001)	Система менеджмента качества	4916
СТБ ISO 45001 (ISO 45001)	Система менеджмента здоровья и безопасности при профессиональной деятельности	1779
СТБ 1470	Система менеджмента безопасности пищевых продуктов на основе HACCP	334
СТБ ISO 14001 (ISO 14001)	Система менеджмента окружающей среды	306
СТБ ISO 22000 (ISO 22000)	Система менеджмента безопасности пищевой продукции	145
СТБ ISO 37001 (ISO 37001)	Система менеджмента борьбы со взяточничеством	56
СТБ 1708	Система лесопользования и лесопользования	55
СТБ ISO/IEC 27001 (ISO/IEC 27001)	Система менеджмента информационной безопасности	43
СТБ 16949	Система менеджмента качества для организаций, участвующих в цепях поставок автотракторного, сельскохозяйственного, погрузочно-транспортного, карьерного и специального машиностроения	32
ГОСТ ISO 13485 (ISO 13485)	Система менеджмента качества медицинских изделий	31
ГОСТ ISO 50001 (ISO 50001)	Система энергетического менеджмента	15
СТБ ISO 21001 (ISO 21001)	Система менеджмента повышения компетентности	4

Таблица 2. Количество действующих сертификатов соответствия на системы менеджмента (по состоянию на 12.12.2024 г.)

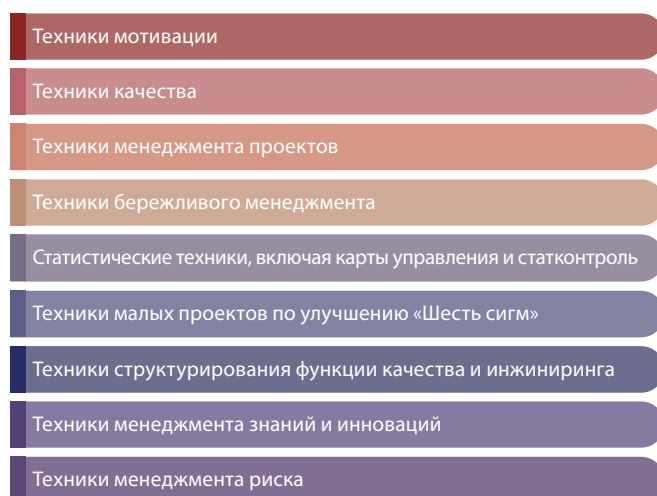


Рис. 1. Ключевые группы техник менеджмента

в данной области. Для повышения конкурентоспособности организаций в 2025 г. будут разработаны стандарты в области управления рисками, изменениями и инновациями.

Инструменты и техники менеджмента

Повышать конкурентоспособность и эффективность организаций помогает применение современных инструментов менеджмента и техник качества (рис. 1), которые аккумулируют в себе лучший практический опыт. Каждый руководитель решает сам, какие из них нужно внедрить, адаптировать, улучшить, создать.

Например, мощным инструментом является методология бережливого производства. Это комплекс мер, направленных на ускорение и качественное улучшение работы организации за счет выявления бесполезных процессов и повышения эффективности. Его можно представить так: в продукте должно быть только то, что нужно потребителю, и ничего лишнего. Применение таких методов позволяет снизить затраты, повысить качество продукции и удовлетворенность потребителей. Однако их внедрение требует значительных усилий и времени, активного участия всего персонала организации, предполагая трансформацию не только ее менеджмента, но и культуры на самом глубинном уровне. И эти изменения должны активно поддерживаться как лидерами, так и сотрудниками, быть быстрыми и целенаправленными.

Для республики реализация соответствующих мероприятий Года качества стала катализатором для внедрения элементов бережливого производства. Так, Министерством экономики совместно с Госстандартом выработана и утверждена дорожная карта мер по внедрению принципов бережливого производства на государственных предприятиях. Они включают разработку и введение в действие государственных стандартов, устанавливающих требования к системам менеджмента в этой области. При этом в качестве ориентира будет взят российский опыт: в данном направлении наши коллеги уже располагают фондом из 16 стандартов.

Будут расширены образовательные программы для приобретения и повышения компетенций руководителей и специалистов. К слову, Госстандартом уже разработана и утверждена «Типовая методология бережливого производства» для содействия тиражированию данной технологии на предприятиях страны. Предстоит разработать и систему оценки результативности такого внедрения.

Все эти мероприятия направлены на то, чтобы требования по наличию сертификатов соответствия принципам бережливого производства поэтапно стали обязательными для всех государственных предприятий. Пилотный перечень организаций-первопроходцев планируется определить к маю 2025 г. Немаловажно отметить тот факт, что одновременно при участии всех заинтересованных участников будут прорабатываться преимущества, получаемые организацией от такой сертификации, включая возможность государственной поддержки, льготного кредитования и др.

Наиболее активную позицию во внедрении принципов бережливого производства занимают предприятия Брестской области, причем различных отраслей, Министерства промышленности, концерна «Белнефтехим». Эти примеры достойны распространения и в других регионах и отраслях.

Близким по контенту к бережливому производству является метод «Шесть сигм», представляющий собой подход к совершенствованию производства через поиск и исключение причин ошибок или дефектов в бизнес-процессах при сосредоточении на критически важных для потребителя выходных параметрах.

В Беларуси в данной области разработано и применяется 4 государственных стандарта. Так, в СТБ ISO 18404–2018 «Количественные методы в улучшении процессов. «Шесть сигм». Компетенции ключевого персонала при внедрении в организации «Шесть сигм» и «Лин» определены компетенции персонала для достижения определенных уровней компетентности: «Шесть сигм», «Лин», а также «Лин» и «Шесть сигм».

В СТБ ISO 13053–1–2014 «Количественные методы в улучшении процессов «Шесть сигм». Часть 1. Методология DMAIC» описана методология, состоящая из пяти фаз: «Определяй», «Измеряй», «Анализируй», «Улучшай» и «Управляй» (DMAIC), которая выступает основой для метода «Шесть сигм».

В СТБ ISO 13053–2–2014 «Количественные методы в улучшении процессов. «Шесть сигм». Часть 2. Инструменты и техники» описаны инструменты и техники, которые предназначены для использования на каждой фазе методологии DMAIC. Они применимы для любой области деятельности и бизнеса, где стремятся получить конкурентные преимущества.

В СТБ ISO 17258–2015 «Методы статистические. «Шесть сигм». Базовые критерии, лежащие в основе бенчмаркинга для «Шесть сигм» в организациях» описана методология для установления

уровня качества, пригодности и производительности процессов, продукции и услуг в соответствии с принципами «Шесть сигм» на основе процесса бенчмаркинга.

Современные тенденции

Внедряя комплексный подход, основанный на понимании потребностей клиента, обеспечении высокого качества продукции и услуг, а также развитии результативных коммуникаций, организации могут достичь значительных успехов и укрепить свои позиции на рынке. В помощь им в этой работе действует СТБ ISO 10002–2021 «Менеджмент качества. Удовлетворенность потребителей. Руководство по обращению с жалобами в организациях», который содержит руководящие указания по реагированию на жалобы, связанные с продукцией и услугами предприятия, включая планирование, проектирование, разработку, операционную деятельность, техническое обслуживание и улучшение. Внедрение этого стандарта – инвестиция в будущее компании, позволяющая не только улучшить качество обслуживания, но и повысить лояльность потребителей, укрепить репутацию и обеспечить долгосрочный успех.

Освоение инноваций – непрерывный процесс, направленный на улучшение существующей и создание новой продукции, услуг и процессов. В Республике Беларусь введены в действие 6 государственных стандартов в области управления инновациями, идентичных международным:

- СТБ ISO 56000–2022 «Менеджмент инноваций. Основные положения и словарь»;
- СТБ ISO 56002–2021 «Менеджмент инноваций. Системы менеджмента инноваций. Руководство»;
- СТБ ISO 56003–2021 «Менеджмент инноваций. Инструменты и методы для партнерства в области инноваций. Руководство»;
- СТБ ISO/TR 56004–2023 «Оценка менеджмента инноваций. Руководство»;
- СТБ ISO 56005–2023 «Менеджмент инноваций. Инструменты и методы менеджмента интеллектуальной собственности. Руководство»;
- СТБ ISO 56006–2023 «Менеджмент инноваций. Инструменты и методы менеджмента стратегической интеллектуальной аналитики. Руководство».

В стремительно развивающемся мире технологий отрасли постоянно эволюционируют. Одна из них – Индустрия 4.0, базирующаяся на интеграции

цифровых технологий в производственные процессы. На ее фундамент опирается «Качество 4.0» – инструмент внедрения принципов и практики менеджмента качества в процесс цифровой трансформации производства.

Его цель – использовать цифровые технологии для улучшения процессов управления и обеспечения качества, повышения прослеживаемости продукции и предоставления предиктивного обслуживания. «Качество 4.0» делает акцент на применении анализа данных в реальном времени, машинного обучения и углубленного анализа для выявления и предотвращения дефектов, снижения вариативности и оптимизации производственных процессов. Внедряя эту систему, организации могут достичь более высокого уровня качества продукции, удовлетворенности потребителей и операционной эффективности.

В нашей стране пока проведен минимальный объем работ по стандартизации в цифровой сфере. Для определения направлений развития в этой области и разработки стандартов в соответствии с международными тенденциями и запросами экономики в 2022 г. был создан технический комитет по стандартизации Республики Беларусь «Смарт-индустрия» (ТК ВУ 40). Областью его деятельности является стандартизация и техническое нормирование в сфере промышленного производства в отношении субъектов хозяйствования, занятых в промышленных видах экономической деятельности, осуществляющих и обеспечивающих разработку, производство и продвижение на рынок продукции с использованием элементов концепции «Индустрия 4.0».

ТК ВУ 40 разработано 5 государственных стандартов, 2 из которых приняты и введены в действие с 01.07.2024 г. Это СТБ ISO 14649–1–2023 «Системы промышленной автоматизации и интеграция. Регулировка физических устройств. Модель данных для устройств с числовым программным управлением. Часть 1. Общее представление и основные принципы» и СТБ ISO 15531–44–2023 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Данные по управлению промышленным производством. Часть 44. Моделирование информации для сбора производственных данных».

Документы направлены на содействие развитию ИТ-отрасли и конкурентных преимуществ в стране при создании цифровой экономики, нацеливая на:

- *объединение интеллектуальных бизнес-процессов благодаря использованию умных операционных систем и технологического оборудования;*

- *повышение производительности и эффективности производства на предприятии;*
- *применение интеллектуальных информационных технологий в цепи поставок (и на протяжении всего жизненного цикла изделия).*

Любое усовершенствование деятельности организации несет в себе как возможности, так и риски. Поэтому необходимо осуществлять мониторинг состояния системы, в которую такие новшества внедряются. О важности отслеживания улучшений свидетельствует ряд примеров. Один из наиболее актуальных – внедрение систем искусственного интеллекта, которое, по мнению многих ученых, наряду с преимуществами подвергает цивилизацию высочайшим рискам в различных областях.

Для отслеживания хода внесенных изменений рекомендуется использовать специально разработанный стандарт ISO/TS 10020:2024 «Системы менеджмента качества. Менеджмент изменений в организации. Процессы». Его назначение – описание процессов управления в организации, которые могут быть использованы ею при проведении улучшений любой формы, в том числе и описание детализации процессов менеджмента изменений. Это передовой способ, позволяющий расставить приоритеты и сфокусировать обновление в точках наибольших потребностей и возможностей.

Конкурсное движение

Мощным стимулом развития производственного сектора и сферы услуг выступает конкурсное движение в области качества и делового совершенства. Участие организаций в нем активизирует их деятельность в реализации важнейших направлений социально-экономического роста, способствует внедрению инноваций и распространению новых подходов к менеджменту, содействует экспорту белорусской продукции и услуг, а также повышает доверие к ней. Получая признание за качество, предприятие подтверждает, что оно идет впереди других в производстве качественной и конкурентоспособной продукции.

Госстандартом проводится ряд конкурсов, охватывающих оценку деятельности организаций, уровня продукции и услуг, а также компетентности персонала и молодых специалистов. Среди организаций это премии Правительства Республики Беларусь за достижения в области качества (с 1999 г.), СНГ – за достижения в области качества продукции и услуг (с 2006 г.), «Компетентность» (с 2011 г.), а также конкурс «Лучший проект улучшения в стране,

организации, отрасли» (с 2024 г.); среди продукции – «Лучшие товары Республики Беларусь» (с 2002 г.), «Лучшие товары Республики Беларусь на рынке Российской Федерации» (с 2024 г.), «Натуральный продукт» (с 2008 г.); среди персонала – «Лучший менеджер по качеству» (с 2006 г.), нагрудный знак «Лидер качества» (с 2008 г.), «Лучший метролог» (с 2022 г.), «Лучший специалист по стандартизации» (с 2022 г.); среди детей и молодежи – «Лучшая дипломная и научно-исследовательская работа в области менеджмента и контроля качества» (с 2007 г.), Республиканская олимпиада по менеджменту (с 2014 г.).

Отличительные особенности конкурсов, проводимых Госстандартом, следующие:

- *каждый конкурс имеет свои модели и критерии, учитывающие запросы национальной экономики и актуальные международные тенденции;*
- *критерии устанавливают высокий уровень требований к менеджменту, применяемым технологиям, инфраструктуре организаций, качеству выпускаемой продукции, квалификации персонала;*
- *полноту и беспристрастность оценки обеспечивают высококвалифицированные эксперты, коллегиальная и объективная работа конкурсных комиссий;*
- *участие и победы в конкурсах являются не только признанием лидерства, но и возможностью благодаря экспертной оценке более широко взглянуть на менеджмент руководства, собственное производство и выпускаемую продукцию, открыть новые аспекты для улучшений и совершенствования;*
- *использование логотипов конкурсов на упаковке, в маркировке, документации и в маркетинговых целях делают организацию и ее продукцию узнаваемой;*
- *сведения о победителях конкурсов размещаются на сайте Госстандарта и портале «Качество.бел».*

Отдельно следует отметить одну из масштабных инициатив Года качества – учреждение Государственного знака качества суверенной Беларуси (рис. 2) как высшей степени признания высокого уровня той или иной продукции и ответственности ее производителя. Такой знак будет ежегодно присваиваться продовольственным, про-

мышленным товарам для населения, продукции производственно-технического назначения, изготовленной юридическими лицами Республики Беларусь.

Знак исполнен в красном цвете в форме пятиугольника, каждая грань которого несет определенное значение: безопасность, экологичность, инновационность, технологичность и эстетичность продукции. Установлены критерии и порядок его присвоения. В настоящее время пройдены все этапы определения товаров, достойных присуждения Государственного знака качества.

Сегодня уверенно можно говорить о том, что объявление главной направленности 2024 г. Президентом страны А.Г. Лукашенко придало новый импульс развитию белорусской продукции, повышению ее узнаваемости и доверия к ней как в республике, так и за рубежом.

Безусловно, в этой работе нельзя останавливаться: качеством нужно заниматься постоянно. Только выпуск высококачественных товаров, отвечающих ожиданиям потребителей, позволяет компаниям быть уверенными в своем будущем, создает имиджевую основу и авторитет для достижения еще более высокого уровня. Новые задачи, направленные на содействие реальному сектору в этой сфере, ставят перед собой и Госстандарт как республиканский орган государственного управления, находящийся на острие вопросов качества.

Это найдет отражение в стратегии деятельности комитета до 2030 г., работа над которой сейчас активно проводится. Документ будет включать те глобальные направления, которые позволят обеспечить совершенствование организационной системы Госстандарта, расширение межотраслевого взаимодействия в вопросах защиты внутреннего рынка (в том числе белорусских брендов от фальсификаций), снятия технических барьеров при экспортных поставках отечественной продукции, а также дальнейшее развитие инфраструктуры качества. Одновременно начнется наработка приоритетов деятельности в рамках программы «Качество» на следующий временной период (2026–2030 гг.).

Наша задача – быть эффективным помощником в реализации актуальных направлений экономики и общественных интересов: содействовать технологическому суверенитету страны, инновационному развитию отраслей, повышению уровня качества жизни граждан. ■

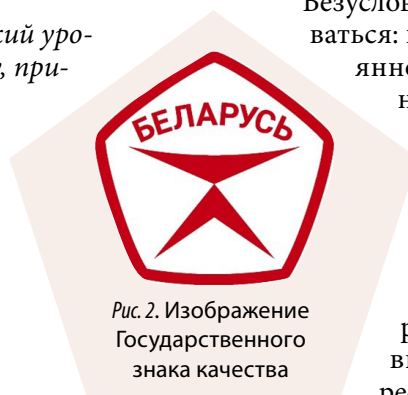


Рис. 2. Изображение Государственного знака качества

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ Республики Беларусь на современном этапе



Автомобилестроение в Республике Беларусь занимает важное место в структуре промышленности, внося значительный вклад в экономическое развитие и обладая весомым экспортным потенциалом. Спрос на электрические и гибридные автомобили, использование альтернативных видов топлива требуют переосмысления подходов к работе автопрома. Определяющую роль играет применение инновационных технологий: это не только способствует укреплению конкурентоспособности белорусской продукции на мировых рынках, но и стимулирует развитие смежных отраслей, включая металлургию, химическую промышленность и станкостроение.



Татьяна Сычева,
завкафедрой промышленного
дизайна и интерьера
Белорусской государственной
академии искусств, кандидат
искусствоведения

Из истории. 2024 г. стал юбилейным для отечественной автомобильной промышленности: датой ее зарождения принято считать 14 августа 1944 г., когда был издан Приказ №1 по Минскому автозаводу о создании первых 4 цехов. Уже в октябре началась сборка автомобилей из поставляемых на предприятие узлов и деталей.

Развитие автопрома ускорилось в послевоенные годы. До этого будущие предприятия-флагманы функционировали в виде фабрик, производивших товары бытового назначения, либо небольших ремонтно-механических мастерских.

К примеру, датой основания ОАО «Амкодор» считается 1991 г., однако его исторические корни ведут к созданию 1 февраля 1927 г. трудового коллектива по изготовлению детских игрушек, позднее преобразованного в фабрику «Возрождение», где также выпускались посуда и мебель из лозы. В годы Великой Отечественной войны предприятие было разрушено, но к 1946 г. восстановило довоенный ассортимент продукции и продолжило развитие как автозавод, выпустив в 1951 г. первую землеройную машину КМ-800.

Еще несколько вех довоенного периода. В 1928 г. началось строительство завода «Гомсельмаш». 15 октября 1930 г. состоялся пуск литейного цеха, давший старт производству простых сельхозмашин. Пережив эвакуацию, восстановив полностью разрушенную материально-техническую базу, завод возродил массовый выпуск зерно- и кормоуборочных комбайнов, косилок и другой сельскохозяйственной техники.

В 1930 г. построено торфопредприятие «Большевик», ставшее основной профильной организацией в области торфяного машиностроения в республике. В 1935 г. начинал свое становление Могилевский автомобильный завод со сборки дорожных скреперов и внедорожной техники малыми тиражами; сегодня его деятельность направлена на производство шахтного транспорта, аэродромных тягачей, строительной и военной техники. 1939 г. ознаменовался основанием Гомельского авторемонтного завода на базе мастерских. Долгое время он специализировался на починке большегрузных автомобилей и автобусов, в последующем выпускал оригинальный авто-

бус малой вместимости, занимался сборкой автобусов марки «Богдан», но под собственным названием – «Радимич».

С освобождением Беларуси началось восстановление разрушенных предприятий и создание новых: в 1944 г. – строительство Минского автомобильного завода (МАЗ), в 1946 г. – Минского тракторного (МТЗ); в 1948 г. налажено производство карьерной техники на Белорусском автомобильном заводе (БелАЗ). 23 июля 1954 г. на МАЗе открыто специальное конструкторское бюро №1 (СКБ-1) по тяжелым колесным артиллерийским тягачам и двигателям к ним с опытной базой – так началась история Минского завода колесных тягачей (МЗКТ).

Процессы урбанизации привели к совершенствованию автопрома. 1 июня 1973 г. в Минске было образовано предприятие «Белкоммунмаш», действовавшее как Минский ремонтный трамвайно-троллейбусный завод и известное впоследствии как ОАО «УКХ «БКМ» – белорусский производитель общественного электротранспорта. В 1984 г. основан автосборочный завод по выпуску автобусов «Неман», в 1986 г. – Брестский машиностроительный завод ОАО «Брестмаш».

Новое время. 1991 г. стал годом создания VOLAT ОАО «МЗКТ» как самостоятельного предприятия, 1994 г. – ЗАО «БелСТАТС», завода по ремонту и модернизации советской аэродромной техники. В 1997 г. заработало совместное белорусско-германское предприятие «МАЗ-MAN» по выпуску грузовиков. В 2013 г. на свободных площадях Борисовского завода «Автогидроусилитель» стартовал выпуск китайских автомобилей Geely. В 2014 г. запущено производство подвижного состава

на базе филиала международного концерна «Штадлер» – ЗАО «Штадлер Минск». 2017 г. отмечен открытием нового сборочного производства СЗАО «БЕЛДЖИ».

Сотрудничество белорусских предприятий с международными автотранспортными компаниями существенно ускоряет развитие автомобилестроения в нашей стране, привнося передовые технологии и инновационные подходы к проектированию и производству. Этот обмен опытом и знаниями позволил улучшить качество выпускаемой продукции, адаптироваться к современным стандартам и расширить ассортимент транспортных средств, что, в свою очередь, повысило уровень их востребованности на мировом рынке.

В 1990 г. на базе МАЗа по лицензии словенского производителя началось изготовление кузовных конструкций различного назначения, которые в дальнейшем стали выпускаться под собственной торговой маркой «Купава».

В 1990-е гг. минский филиал предприятия дорожно-строительной техники «АМКОДОР» собирал автобусы Ikarus-280, которые назывались «Амкодор-Икарус». В 1993 г. благодаря заключению лицензионного соглашения с немецкой компанией «Neoplan» было инициировано производство автобусов под маркой МАЗ.

В 1996 г. ЗАО «Таврия-Минск» на базе 124-го АРЗ осуществлялась сборка ЗАЗ-1102 Таврия; тогда же открылся автосборочный завод Ford ЗАО «Юнисон» (Ford Escort и Ford Transit, иранский Samand, китайский Zotye, а также фургоны Lublin-3). С конвейеров белорусских предприятий сходили грузовики и микро-

автобусы «Люблин-БелАЗ», КамАЗ-1111 «Ока».

С 2011 по 2018 г. российская компания «Ё-Авто» запустила проект «Ё-мобиль», в рамках которого предполагалось создать семейство городских гибридомобилей с пластиковым кузовом, роторно-лопастным двигателем и суперконденсаторами. Разработкой машин занимались конструкторы белорусской группы «Яровит Моторс». Всего было выпущено около 6 прототипов, однако разработка подверглась критике и не дошла до промышленного этапа.

Упомянутые выше ЗАО «Штадлер Минск» с 2014 г. и СЗАО «БЕЛДЖИ» с 2017 г. демонстрируют передовой опыт в области производства и сборки узлов с применением современных промышленных технологий.

В 2019 г. филиал МАЗ «Брест-маш» начал сборку автобусов и фургонов китайской марки JAC под брендом МАЗ.

Становление автомобилестроения в республике характеризуется двумя направлениями: развитием предприятия от ремонтной мастерской до полноценного промышленного производства и интеграцией международного опыта посредством организации сборочных процессов.

Проблемы отечественного автопрома связаны с ограниченными производственными мощностями и технологическими трудностями. Для их преодоления Минский тракторный завод приступает к реализации масштабных проектов модернизации производства, в частности акцентируется внимание на приобретении станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и обновлении технологических парков литейных и кузнечных цехов.

Внедрение инновационных технологий можно наблюдать на СЗАО «БЕЛДЖИ», где используются передовые автоматизированные системы управления производством и качеством. Эти решения также предполагается масштабировать на другие предприятия, что может усилить общий инновационный потенциал отрасли.

Выпуск национальных автомобилей в Беларуси сталкивается с 2 основными ограничениями: нехваткой комплектующих и узким рынком сбыта. Это делает проект разработки собственного автомобиля с нуля экономически невыгодным. Более разумным подходом представляется производственная кооперация с технологическими партнерами и изготовление автомобилей под национальной маркой на базе готовых платформ.

Одна из важных стратегических задач – локализация производства. Например, «БелАЗ» реализует программу по замене импортных двигателей на российские аналоги, что способствует снижению зависимости от иностранных поставщиков и укреплению национальной производственной безопасности.

Роль государства в стимулировании отрасли. Стремление использовать больше местных компонентов и материалов находит государственную поддержку и отражено в стратегиях по развитию индустриального сектора.

В соответствии с перечнем государственных и региональных научно-технических программ на 2021–2025 гг., утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 26.03.2021 г. №173, одним из приоритетных направлений выступает развитие инновацион-

ного машиностроения и машиностроительных технологий [5]. Этот курс подразумевает создание и внедрение в производство конкурентоспособной автомобильной, карьерной, тракторной, комбайновой и другой самоходной техники нового поколения. Цель такой инициативы – повышение эффективности промышленного производства, улучшение качества продукции и усиление позиций отечественного машиностроения на международных рынках. Реализация данной программы предполагает интеграцию передовых технологических решений и научных исследований, что будет способствовать укреплению экономического потенциала страны.

Программа «Инновационное машиностроение и машиностроительные технологии» в первую очередь нацелена на повышение самодостаточности в ключевых отраслях экономики, таких как промышленность, оборона, сельское хозяйство и строительство. Ее ключевыми задачами являются:

- создание и освоение производства конкурентоспособной техники нового поколения, компонентов к ней;
- разработка и внедрение перспективных технологий с глубокой цифровизацией и автоматизацией в целях импортозамещения;
- наращивание объемов экспорта;
- расширение рынков сбыта;
- формирование научно-технического потенциала для дальнейшего развития отечественного автомобилестроения и станкостроения.

В совокупности данные меры направлены на укрепление экономической стабильности и независимости нашей страны, повышение

значимости ее роли в международной торговле.

Инновационные разработки. Анализируя данные Министерства промышленности Республики Беларусь, можно увидеть, что предприятия довольно активно прибегают к формированию современного визуального образа своей продукции. Это делает ее более заметной на мировом рынке: визуальное восприятие транспортного средства играет важную роль для потребителя.

Рассмотрим ситуацию в автомобилестроении Беларуси в различных сегментах. По-прежнему основными направлениями являются производство сельскохозяйственной техники, грузовых автомобилей и общественного транспорта [4].

Сельскохозяйственная техника. Помимо выпуска обновленных моделей тракторов «БЕЛАРУС-1221.4/1523.4/2022.4» и «БЕЛАРУС-1222.3» МТЗ ведет разработку беспилотной техники: в 2021 г. был презентован первый беспилотный трактор «БЕЛАРУС-A3523i», в 2024 г. – новый трактор «БЕЛАРУС 3322».

Предприятие «Гомсельмаш», лидер в производстве сельскохозяйственной техники, активно внедряет передовые технологии, ориентируясь на повышение эффективности и комфорта операторов. В 2024 г. презентованы новинки – зерноуборочный комбайн GH810 (рис. 1) и кормоуборочный FS650, оснащенные кабинами UNI CAB.

Они разработаны с учетом современных требований к эргономике и безопасности. Одно из преимуществ – высокая обзорность, достигнутая благодаря усовершенствованной конструкции и остеклению. Кабина осна-

щена системой климат-контроля, а интегрированные цифровые системы управления и контроля облегчают процесс мониторинга работы комбайна, что значительно улучшает условия труда операторов и повышает привлекательность продукции для покупателя (рис. 2).

Грузовой транспорт. В 2022 г. начался выпуск седельного магистрального тягача «МАЗ-5440М9». В 2024 г. представлена юбилейная модель лимитированной серии «МАЗ-54402L-2531-031».

К проблеме экологизации грузового транспорта на МАЗе подходят со всей ответственностью. В 2023 г. был представлен седельный гибридный электротягач МАЗ-X, отличающийся оригинальным обтекаемым дизайном и инновационной конструкцией низкопольной кабины. Помимо этого, совместно с ОИМ НАН Беларуси создан грузовой электромобиль «МАЗ-4381EE». Также ведется разработка электромусоровоза.

Предприятие «Белкоммунмаш», в свою очередь, представило в 2022 г. первый белорусский электрический грузовик Vitovt Truck Electro Prime (рис. 3).

Общественный транспорт. В данном сегменте наблюдается рост производства машин с электрическим приводом. Это обусловлено рядом факторов, включая необходимость снижения уровня загрязнения окружающей среды и экономическую целесообразность для Беларуси, связанную с уменьшением стоимости электроэнергии в результате запуска Белорусской АЭС. Мировая практика демонстрирует активное расширение парка электротранспорта, что наиболее ярко иллюстрируется примером Китая, стремящегося решить экологические проблемы посред-



Рис. 1. Зерноуборочный комбайн GH810

Источник: <https://gomselmash.by/>



Рис. 2. Кабина UNI CAB

Источник: <https://gomselmash.by/>



Рис. 3. Электрический грузовик Vitovt Truck Electro Prime

Источник: <https://holdingbkm.com/>



Рис. 4. Трамвай модели T811/T856

Источник: <https://holdingbkm.com/>

ством увеличения доли электрических транспортных средств.

В 2017 г. в Минске начали курсировать первые электробусы производства «Белкоммунмаш» E433 Vitovt Max Electro и E420 Vitovt Electro. В 2019 г. предприятие презентует электробус серии OLGHERD E390/E321/E333, а в 2020 г. выпускает электробус «МАЗ 303Е10» на базе дизельного автобуса третьего поколения «МАЗ 303» (на его основе ведется разработка беспилотного электробуса). В 2023 г. компания представила трамвай модели T811/T856 (рис. 4).

Кроме электрического, активно ведутся и разработки общественного транспорта нового поколения с ДВС. Так, в 2019 г. выпущен низкопольный городской автобус третьего поколения «МАЗ-303» и низкопольный автобус «МАЗ 271» для перевозки пассажиров в аэропортах, в 2023 г. – туристический «МАЗ-350».

Спецтехника. В условиях поиска решений по импортозамещению на ОАО «АМКОДОР» используют 70% комплектующих, произведенных на заводах [3]. Акцент делается на разработку и производство дорожно-строительной и мелиоративной техники с компонентами белорусского производства. Следует отметить, что новая линейка данной продукции значительно отличается и внешними характеристиками. Начинает формироваться единый фирменный стиль в пластике и компоновке. Преобладают угловатые геометрические элементы с трапециевидными объемами: бульдозер АМКОДОР DC201 (рис. 5); форвардеры АМКОДОР FF560 и АМКОДОР FF1681 (рис. 6); харвестеры АМКОДОР FH840 и АМКОДОР FH3081 (рис. 7); сне-

гоуборочная машина АМКОДОР SC100 (рис. 8); каток дорожный АМКОДОР RT140A (рис. 9).

БелАЗ осваивает цифровизацию и импортозамещение, электрифицирует горнодобывающие машины (120-тонный самосвал на аккумуляторных батареях БЕЛАЗ 7513Е). В 2023 г. представлен гидравлический экскаватор БЕЛАЗ ВХ20012. Ведется активная разработка беспилотной карьерной техники.

Легковые автомобили. Беларусь начала развивать собственное производство легковых автомобилей благодаря сотрудничеству с китайской корпорацией «Geely». На площадке предприятия «БелДжи», расположенного недалеко от Минска, осуществляется сборка автомобилей Geely, адаптированных под местный рынок. С конвейера завода в 2023 г. сошла первая партия автомобилей BelGeely X50, выпущенных уже под собственным брендом. На базе его платформы в 2024 г. анонсировано создание электромобиля.

В условиях глобального перехода к экологически устойчивым видам транспорта Беларусь также проявляет интерес к разработке и внедрению электрических и гибридных моделей (ACADEMIC ELECTRO; ELECTRO ROADSTER; UNIMO 2.0). Отечественное производство легковых авто находится в стадии активного развития.

Маркетинговые стратегии и позиционирование. В последние годы в машиностроительной сфере активно используются различные маркетинговые стратегии, направленные на повышение интереса к производителям. Важную роль в этом процессе играют мероприятия, презентующие бренд. К примеру, фестиваль



Рис. 5. Бульдозер АМКОДОР DC201

Источник: <https://product-line.amkodor.by/>



Рис. 6. Форвардер АМКОДОР FF1681

Источник: <https://product-line.amkodor.by/>



Рис. 7. Харвестер АМКОДОР FH3081

Источник: <https://product-line.amkodor.by/>



Рис. 8. Снегоуборочная машина АМКОДОР SC100

Источник: <https://product-line.amkodor.by/>

«БЕЛАЗ ФЕСТ», во 2-й раз прошедший в Жодино, уже зарекомендовал себя как культурное и развлекательное мероприятие, притягивающее внимание к городу. Кроме того, здесь проводится международный чемпионат по решению машиностроительных кейсов среди студентов технических университетов – «BELAZ CHALLENGE». В составе коллективных и национальной экспозиций белорусская автомобильная промышленность активно представляет свои достижения на крупных международных выставках за рубежом, агропромышленных форумах в Беларуси. Эти мероприятия способствуют не только увеличению экспортных возможностей, но и установлению стратегических партнерских отношений с зарубежными компаниями.

Важный элемент диверсификации экономической деятельности предприятий – развитие промышленного туризма. Кроме обеспечения дополнительных источников дохода он оказывает положительное влияние на продвижение брендов и продукции, связывая предприятия напрямую с потребителями и формируя у последних более глубокое понимание производственного процесса. Промышленные туры



Рис. 9. Каток дорожный AMKODOR RT140A

Источник: <https://product-line.amkodor.by/>

выполняют еще и функцию профориентации для широкого круга участников, включая школьников, студентов и потенциальных сотрудников.

В развитии такой отрасли не меньше заинтересована и туристическая индустрия. Туркомпании, работающие на внутреннем и внешнем рынках, могут разнообразить свои предложения за счет включения экскурсий на промышленные объекты. Это особенно актуально для маршрутов, адаптированных для иностранных туристов, а также организованных в рамках школьных образовательных программ.

Примерами успешной реализации такой концепции служат БелАЗ в Жодино и Минский тракторный завод, предлагающие тематические экскурсии, популя-

ризирующие их продукцию. Эти примеры демонстрируют потенциал промышленного туризма как инструмента позиционирования бренда и культурного обмена.

В 2024 г. ведущие предприятия Беларуси на один день распахнули свои двери для посетителей. К 80-летию юбилею МАЗ впервые продемонстрировал новые разработки непосредственно в производственных цехах; Бобруйский завод тракторных деталей и агрегатов провел день открытых дверей в честь 79-летия. А вот для таких предприятий, как МТЗ, БелАЗ и «Белкоммунмаш», это уже не первый опыт проведения такого мероприятия.

Дни открытых дверей на известных заводах, как и в случае с промышленным туризмом, – важный инструмент взаимодействия между компаниями и общественностью. Во-первых, они выступают эффективным образовательным компонентом, давая студентам и школьникам уникальную возможность увидеть реальные промышленные процессы в действии, ознакомиться с различными аспектами работы, от инженерных решений до управления производством. Это может значительно усилить заинтересованность учащихся в технических профессиях и поло-



Рис. 10. Каркасно-панельный электромобиль ACADEMIC ELECTRO. Источник: <http://www.promdesign.by/index.html>



Рис. 11. Электрогрузовик MAZ-4381EE
Источник: <http://www.promdesign.by/index.html>

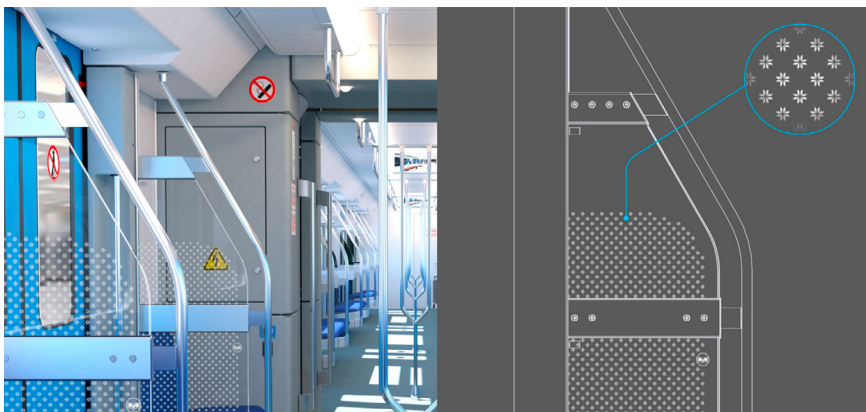


Рис. 12. Дизайн-решение интерьера вагона метро Stadler M110/M111
Источник: <https://www.d3design.by/>

жительно повлиять на выбор карьеры, способствуя в конечном итоге привлечению молодых специалистов в отрасль.

Второй позитивный аспект – укрепление корпоративного имиджа предприятия. Показ достижений и инновационных решений формирует благоприятное общественное мнение, что, в свою очередь, может привести к усилению позиций компании на рынке.

Интеллектуальный потенциал страны. В условиях обострения международной конкуренции и быстрого технологического прогресса автомобилестроение в Республике Беларусь испытывает необходимость в постоянном совершенствовании

и адаптации к новым вызовам. В этом контексте интеллектуальный потенциал выступает неотъемлемым фактором устойчивого развития отрасли. Знания, навыки и опыт – источник формирования инновационных идей, которые затем реализуются и вносят вклад в создание востребованной продукции.

Наличие мощной материально-технической базы для обеспечения научной деятельности, в том числе исследовательских институтов и объединений, подготовка специалистов на уровне высшего и научно-ориентированного образования способствуют разработке и интеграции передовых проектов в производственные процессы.

Подготовку специалистов в области дизайна транспортных средств в нашей стране ведут Белорусская государственная академия искусств (БГАИ) и Белорусский национальный технический университет (БНТУ). Оба учебных заведения вносят значительный вклад в эту работу, но их подходы различаются: БГАИ больше акцентирует внимание на эстетической составляющей объекта проектирования, тогда как БНТУ – на инженерных и технологических аспектах.

Важно отметить рост влияния государственных научно-исследовательских институтов, которые не только проводят фундаментальные и прикладные изыскания, но и играют ключевую роль в трансфере технологий, активно работая с ведущими предприятиями страны.

Примером эффективного взаимодействия науки и практики служит Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси (ОИМ) – ведущий исследовательский центр страны в области механики и машиностроения, сотрудничающий с отечественными машиностроительными холдингами и международными партнерами в научно-технической сфере. Сами за себя говорят проекты команды



Рис. 13. Электробус E321
Источник: <https://www.d3design.by/>



Рис. 14. Электробус VITOVТ
Источник: <https://www.d3design.by/>



Рис. 15. Универсальный городской автомобиль UNIMO 2.0.
Источник: <https://unimo.by/>



Рис. 16. Седельный гибридный электротягач MAZ-X.
Источник: <https://unimo.by/>

отдела промышленного дизайна Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля ОИМ за последние 5 лет [6]:

- *каркасно-панельный электромобиль ACADEMIC ELECTRO (рис. 10);*
- *разработка дизайна экстерьера и интерьера модельного ряда грузовых электромобилей City E-Truck;*
- *перронный автобус «МАЗ-271»;*
- *электромобиль ELECTRO ROADSTER;*
- *экстерьер электрогрузовика «МАЗ-4381EE» (рис. 11);*
- *беспилотное шасси на базе мини-трактора «МТЗ-132Н» для МЧС (пожаротушение, работа в зараженной местности);*
- *прототип беспилотного трактора «БЕЛАРУС-А3523i» (в сотрудничестве с МТЗ);*
- *сортировщик магнитный МС-3.*

В качестве еще одного примера отметим частные компании. Например, проекты «D3design» – бюро дизайна, занимающегося разработкой и совершенствованием машин и оборудования – за последние 5 лет [1] разнообразны: от коммунального

робота-уборщика «Пиксель» компании-производителя «Автономика» до интерьеров, экстерьеров и приборных панелей трамваев и электробусов «Штадлера» и «Белкоммунмаша» (рис. 12–14).

Услуги, связанные с разработкой уникальных продуктов и их подготовкой к производственному процессу в области автомобилестроения, оказывает «UNIMO» – компания, основным проектом которой стал компактный городской электромобиль для людей с инвалидностью (рис. 15). Важны и другие ее продукты [2]: разработка и изготовление совместно с компанией «СВ Планта» кабины трактора МТЗ, дизайн кабины тягача МАЗ-X (рис. 16).

В автомобилестроении Республики Беларусь можно выделить несколько приоритетных направлений, которые определяют дальнейшее развитие в условиях глобальной экономики и международной политической ориентации.

Это локализация производства, которая не только способствует импортозамещению комплектующих, но и стимулирует динамику смежных отраслей внутри страны и снижает зависимость от внешних поставщиков;

электрификация и цифровизация транспортных средств: переход на экологически чистый транспорт и внедрение инновационных цифровых технологий отвечает мировым трендам; усиление роли научно-исследовательских инициатив, что укрепляет интеллектуальный потенциал страны и способствует подготовке высококвалифицированных кадров. Это критически важно для адаптации производства и выпускаемой продукции к быстро меняющимся условиям мирового рынка. Решение этих задач требует стратегического подхода и совместных усилий со стороны государственных и частных структур. **■**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бюро промышленного дизайна D3 // <https://www.d3design.by/>.
2. Инжиниринговая компания «Универсальная мобильность» // <https://unimo.by/>.
3. «Амкодор» презентовал новинки техники // <https://belta.by/economics/view/amkodor-prezentoval-novinki-tehniki-548233-2023/>.
4. Министерство промышленности Республики Беларусь // <https://minprom.gov.by/innovacii/>.
5. Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь // <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100173>.
6. Отдел промышленного дизайна РКЦМП «ОИМ НАН Беларуси» // <http://www.promdesign.by/index.html>.



Татьяна Вертинская,
руководитель центра мировой
экономики Института
экономики НАН Беларуси,
доктор экономических наук,
доцент; vertinskaya.tanya@gmail.com

Аннотация. В статье обоснована целесообразность формирования в Беларуси сектора производства и экспорта халяльной продукции, выявлены ее потенциальные импортеры. Рассмотрен имеющийся потенциал этой отрасли и определены ее проблемы. Сделан вывод о необходимости разработки концепции государственной поддержки развития экспортоориентированной халяль-индустрии в республике, включая предложения по укреплению институциональной среды и созданию центра халяльной продукции; формированию объектов специальной инфраструктуры и механизма финансирования, а также скоординированной политики в этой области в рамках ЕАЭС.

Ключевые слова: белорусские производители, исламские финансы, институты, инфраструктура, система стандартизации и сертификации, халяльная продукция, экспортный потенциал.

Для цитирования: Вертинская Т. Наращивание экспорта халяльной продукции в Беларуси // Наука и инновации. 2025. №1. С. 59–63. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-01-59-63>

Наращивание экспорта халяльной продукции в Беларуси

УДК 338.4

В условиях санкционного давления актуализировалась проблема расширения рынков сбыта белорусских товаров и услуг и установления торговых связей с дружественными странами, в числе которых находятся основные импортеры халяльной продукции. Так, среди них выделяются Индонезия, Бангладеш, Египет, Пакистан, Нигерия. Повышается спрос на данную продукцию в Китае, странах СНГ [1]. В целом более 80% мирового рынка халяльной продукции принадлежит государствам – членам Организации исламского сотрудничества (ОИС), куда входят 57 стран. По оценкам отдельных экспертов, этот сегмент в ближайшие годы будет расти высокими темпами и к 2025 г. достигнет 2,8 трлн долл., при этом 25% в нем будут занимать продукты питания [2].

Предпосылки для развития производства и экспорта белорусской халяль-продукции

Беларусь может рассматривать это направление как перспективную и новую нишу в экспортной стратегии. Для этого имеется ряд предпосылок.

Во-первых, создан определенный производственный и экспортный потенциал, который в настоящее время не реализован в полной мере. В республике работают 104 предприятия, которые сертифицированы на выпуск халяльных продуктов питания и поставляют их на внешний рынок. В числе экспортных позиций можно отметить мясо и мясную продукцию, молоко и молочную продукцию, хлебобулочные изделия (лаваши, лепешки, хлеб, сухари, тесто), зерно и продукты его переработки, масло-жировую, соковую и другую продукцию, соответствующую нормам, правилам и способам, дозволенным шариахом.

Наряду с дальнейшим развитием указанных производств перспективными направлениями в этом отношении могут быть: рыба и рыбная продукция, макаронные изделия, фрукты, овощи, грибы и продукты их переработки, воды питьевые и минеральные бутилированные, безалкогольные напитки, мед и продукты пчеловодства, чай и чайные напитки, пряности и сухие приправы, упаковка, лекарственные средства, а также халяльная косметика.

Формируется торговая сеть такой продукции: в Минске функционируют магазин «Халяль Маркет» ЧТУП «Белатлантика Торг», ООО «ГРИНРозница» (магазины Green); ООО «Гамма Ритейл», ИУПКП «БелВиллесден» (сеть магазинов «Гиппо»); ООО «ПРОСТОРИТЕЙЛ» (магазины «Простор»), Павильон №69 в здании многофункционального центра «Экспобел Маркет», предлагается она и на международной бизнес-платформе flagma.by (говядина, баранина, желатин, эмульгатор, коллаген для колбасных изделий, янтарная кислота и др.).

Во-вторых, в республике развивается система соответствия продукции стандартам халяля, включающая процедуры проверки в рамках норм стандартизации, сертификации и аккредитации, которая позволяет осуществлять поставки товаров в страны исламского мира. Такими организациями являются: Белорусский центр стандартизации и сертификации «Халяль» ООО «БелХаляль»; Евразийский центр стандартизации и сертификации «Халяль» совместно с Духовным управлением

мусульман Российской Федерации и Духовным управлением мусульман Казахстана; орган по сертификации халяль «CERTIN HALAL» общества с ограниченной ответственностью «CERT International» (Республика Узбекистан). К тому же функционирует целый ряд компаний, оказывающих содействие белорусским производителям в получении сертификата халяль: ООО «Стандартнобай» (группа компаний «Стандарт качества»), ООО «Изи Штандарт», Белорусский государственный институт метрологии «БелГИМ», ЧКУП «Белпромстандарт» и др.

В-третьих, перспективы развития в стране халяль-индустрии обусловлены имеющимся спросом на ее продукцию, который определяется, с одной стороны, увеличением во всем мире расходов на продукты питания населения, исповедующего ислам, а с другой – наличием в Беларуси граждан, исповедующих эту религию. Их, в соответствии с переписью населения 2019 г., проживает 16 682 человек. По прогнозам, к 2030 г. население мусульманских стран превысит 2 млрд жителей, а к 2060 г. – 3 млрд, увеличившись на 70%. Кроме того, данная группа людей отличается высокими темпами роста благосостояния: их потребительские расходы ежегодно возрастают на 7–10% [3].

В-четвертых, в сознании потребителей во всем мире укрепляются идеи здорового питания, преобладают внимательное отношение к своему здоровью и употребляемым в пищу продуктам, а также идеи сострадания к животным, заботы об окружающей среде. Например, по результатам модульного обследования по изучению отношения населения к здоровому образу жизни (ЗОЖ), проведенного Национальным статистическим комитетом в марте 2020 г., в целом по республике около 8% населения считают, что они ведут ЗОЖ, и 40% – что имеют приверженность к нему. 87,5% населения согласились, что ЗОЖ – это правильное питание, при этом его соблюдают или придерживаются 64,2% женщин и 52,3% мужчин [4].

Нереализованный потенциал выхода белорусской халяль-продукции на внешний рынок

Как показал анализ, развитие национального рынка халяльной продукции и его интеграция в мировой рынок сопряжены с рядом проблем.

В частности, ее выпуск продолжает осуществляться под единым (зонтичным) брендом с товарами, которые не соответствуют установленным

требованиям, а производители не имеют льгот и преференций при ее изготовлении.

Одной из проблем является множественность стандартов халяльной продукции и отсутствие единой общемировой системы стандартизации и сертификации. Ограничительными факторами выступают нехватка необходимой специальной инфраструктуры – бойней, перерабатывающих заводов и распределительных сетей, логистических центров и др.), недостаток информации об особенностях мирового рынка, отсутствие последовательной и целостной национальной стратегии брендинга.

Имеет место высокий уровень конкуренции на международном уровне и сложности с транспортировкой и логистикой поставок. Беларусь практически не задействована в инвестиционном сотрудничестве по созданию совместных логистических и сбытовых цепочек в исламских странах, в том числе посредством сети Интернет на специализированных торговых площадках.

Значимым барьером является ограниченный доступ к финансированию. Исламский банкинг не получил широкого распространения за пределами стран ОИС. Традиционные финансовые институты во многих странах высоко оценивают риски развития халяльной индустрии по причине отсутствия на национальном уровне государственной политики по поддержке этого сегмента экономики.

Несмотря на существующие проблемы, производители и экспортеры халяльной продукции по итогам анкетирования, проведенного Институтом экономики НАН Беларуси в 2023 г., позитивно оценивают перспективы данного сектора.

О существенном нереализованном потенциале свидетельствуют результаты апробации авторской методики Н.А. Абрамчук по оценке экспортного потенциала халяльной продукции в нашей стране. В основе методической разработки лежало следующее предположение: торговля между Беларусью и возможными партнерами имеет положительную связь с уровнем предложения и уровнем спроса, отрицательную связь с торговыми ограничениями при реализации таких товаров в виде таможенных пошлин. В итоге был определен ряд потенциальных импортеров, которыми могут быть Индонезия (поставки молочной продукции, мяса и мясной продукции; фруктов; сахара и кондитерских изделий); Саудовская Аравия (свекловичный сахар; мясо и мясная продукция; яйца птиц в скорлупе; срезанные цветы и бутоны свежие; молочная продукция; сухое молоко; шоколад и другие продукты

из какао); Малайзия (молоко и молочная продукция; жмых соевого масла; рапсовое масло; мясо и мясная продукция; готовая или консервированная рыба; грибы; овощи); Турция (шоколад, рапсовое масло; мясо; овощи); Объединенные Арабские Эмираты (мясо и мясная продукция; яйца птиц в скорлупе; молоко и молочная продукция; овощи; шоколад); Египет (молоко и молочная продукция; мясо и мясная продукция; рыба; овощи; пищевые продукты для детского питания); Индия (сырое соевое масло; горох сушеный и лущеный; сырое подсолнечное масло; фрукты; шоколад; молоко и молочная продукция; свекловичный сахар и химически чистая сахароза) [5].

Однако важно подчеркнуть, что практическая реализация существующего незадействованного потенциала требует специальных мер государственной политики.

Основные направления концепции формирования экспортоориентированного сектора халяль-индустрии

В программных документах Республики Беларусь, определяющих внешнеторговую политику страны, не содержится специальных мер, нацеленных на наращивание экспортного потенциала халяльной продукции. Поэтому, по мнению автора, необходимы разработка и принятие концепции государственной поддержки развития этого сектора, охватывающей следующие направления.

Формирование соответствующей институциональной среды с созданием Центра по развитию халяль-индустрии, в сферу деятельности которого следует включить:

- *расширение информационной поддержки производителей и экспортеров халяльной продукции, опирающейся в том числе на ресурсы государственных органов (МИД и система зарубежных представительств, Минэкономики, Минсельхозпрод, иные отраслевые министерства и ведомства) и организаций по поддержке экспорта (НЦМиКЦ и портал export.by, БелТПП и ее зарубежные представительства, Агентство внешнеэкономической деятельности);*
- *координация разработки и обеспечения продвижения национального зонтичного бренда «HALAL BEL» в целях повышения осведомленности иностранных потребителей*

о белорусской продукции и формирования устойчивого положительного образа нашей страны как производителя высококачественных продуктов питания, соответствующих требованиям халяль;

- проведение комплексной аналитики по изучению мирового рынка халяльной продукции для выявления дополнительных возможностей развития ее экспорта;
- продвижение таких товаров за рубеж путем содействия в открытии торговых домов, участия ведущих отечественных производителей в региональных и международных ярмарках/выставках, а также в бизнес-миссиях и деловых визитах в государства ОИС и другие мусульманские страны;
- обеспечение экспорта в сфере e-commerce через сеть национальных магазинов на международных маркетплейсах.

Совершенствование инфраструктурного обеспечения производства и экспорта халяльной продукции по следующим направлениям:

- создание специализированного транспортно-логистического центра для ее бесперебойной поставки на внутренний и внешний рынок с учетом того, что подобную продукцию нельзя хранить и перевозить с другими товарами;
- формирование высокотехнологичных лабораторий, специализирующихся на проведении испытаний на предмет халяльности в соответствии с международными и региональными стандартами с последующей их аккредитацией;
- образование национальной ассоциации производителей пищевой халяль-продукции, отвечающей соответствующим техническим требованиям.

Образовательная поддержка производителей и экспортеров продукции халяль, включающая в себя:

- подготовку специализированных кадров в области халяльной пищевой и перерабатывающей промышленности, а также предоставление халяль-услуг;
- повышение квалификации представителей бизнеса, занимающихся маркетингом, транспортировкой, логистикой и реализацией таких товаров;
- дополнительное обучение кадров по сертификационной проверке той или иной фирмы халяль-индустрии;

- проведение обучающих семинаров по вопросам финансовой грамотности в сфере исламских финансов;
- повышение квалификации специалистов в сфере санитарной, ветеринарной и фитосанитарной служб республики.

Учет особенностей исламского финансирования и реализуемых механизмов транзакций за рубежом.

Анализ специальной литературы показал, что отличительными характеристиками исламского финансирования является религиозная основа, а именно, что в его основе лежит запрет на рибх (ростовщические доходы), и все контракты должны быть приемлемы в соответствии с законами шариата. Другими словами, зарабатывать деньги на деньгах не разрешается, чтобы избежать ростовщичества, все транзакции связаны с реальными активами, что делает их менее рискованными. При этом исламские банки выступают в качестве партнеров как для вкладчиков, так и для заемщиков, участвуя в их прибыли, а также обязаны покрывать любые убытки, понесенные бизнесом. Поощряется также инвестирование клиентов в производственные предприятия, а не накопление сбережений [6].

Основной структурой в области финансирования производства халяльной продукции выступает Азиатский банк развития (АБР), который осуществляет кредитование при условии членства в банке и в следующих формах: проектный кредит, секторный кредит, кредит финансового посредничества, механизм многотраншевого финансирования, оплаты малых расходов, кредитование на основе политики, кредитование, ориентированное на результат, техническая помощь, механизм резервного финансирования государственно-частного партнерства [7].

Соглашением о создании АБР предусмотрено, что его резидентами могут быть страны Азиатско-Тихоокеанского региона, а также государства, не расположенные в нем, но являющиеся участниками ООН или ее специальных учреждений. На сегодняшний день членами банка выступают 68 стран, 49 из них – региональные участники и 19 – нерегистрационные. Беларусь не входит в их состав.

Между тем опыт Азиатского банка развития может быть использован нашей республикой через механизм технической помощи на основе его грантов. В этом случае ресурсы будут направлены на развитие правовых и нормативных основ, связанных с исламскими капиталами, а также на наращивание потенциала государственных органов управления и организаций частного сектора для усиления

ния их компетенций в предоставлении исламских финансовых услуг.

В перспективе может стать актуальным создание банковских учреждений с механизмом финансирования производителей и экспортеров продукции, соответствующим шариату, а также внедрение партнерского банкинга путем взаимодействия с такими глобальными банками, как J.P. Morgan, ING, Al Baraka Banking Group и др.

Обеспечение совместного со странами ЕАЭС производства и продвижения на мировой рынок халяльной продукции.

По этому направлению имеется существенный задел. Все государства этого объединения выпускают и реализуют подобные продукты питания. Разработан проект по введению единого знака для обозначения органической продукции, изготовленной в ЕАЭС. Функционирует Автономная некоммерческая организация «Евразийский союз стандартизации и сертификации «Халяль», и страны объединения участвуют в Международном форуме по аккредитации халяль. Созданы условия для доступа к единственной аккредитованной по международным требованиям в ЕАЭС лаборатории «КазСтандарта» для оценки соответствия продукции и получения доступа на рынки стран Персидского залива, то есть ее площадка используется в качестве регионального хаба.

Для дальнейшей совместной со странами ЕАЭС работы по развитию экспортоориентированного сектора халяльной продукции целесообразно следующее:

- обеспечить мониторинг сотрудничества в данной области и оценку достигнутых результатов;
- поддержать предложение Кыргызстана о разработке единой концепции халяль-индустрии, выдвинутое в ходе круглого стола «Аккредитация и сертификация в сфере халяль на пространстве ЕАЭС»;
- провести научное исследование о целесообразности создания в рамках объединения совместных продовольственных компаний, изготавливающих халяльную продукцию;
- образовать единый институт, отвечающий за ее выпуск и экспорт;
- сформировать единый реестр сертифицированных производителей халяль-товаров и халяль-услуг;
- создать наднациональный орган добровольной сертификации халяль и испытательную лабораторию с участием Духов-

ного управления мусульман и Совета муфтиев для установления единых стандартов качества халяльной продукции.

Развитие в Беларуси подобного сектора позволит повысить качество производимой продукции, нарастить объемы и расширить товарную номенклатуру белорусского экспорта, прежде всего в дружественные страны, увеличить производство органической продукции в республике, наработать новые внешнеэкономические компетенции специалистов, занятых в этой области, а также будет способствовать продвижению идеи здорового питания среди населения и достижению целей устойчивого развития белорусской экономики. ■

Статья поступила в редакцию
12.07.2024 г.

■ **Summary.** The article substantiates the feasibility of forming a sector of production and export of halal products in Belarus. The existing production and export potential is considered and the problems of formation of the halal industry in the country are defined. Potential importers of Belarusian halal products are identified. A conclusion is made on the feasibility of developing a concept of state support for the development of an export-oriented sector of the halal industry in Belarus, including proposals to strengthen the institutional environment and create a center for halal products; the formation of special infrastructure facilities and a financing mechanism, as well as a coordinated policy in this area within the EAEU.

■ **Keywords:** belarusian producers, islamic finance, institutions, infrastructure, standardization and certification system, halal products, export potential.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-01-59-63>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. The 2022 annual OIC Halal economy report // <https://www.zawya.com/en/press-release/research-and-studies/the-2022-annual-oic-halal-economy-report-jwnqyqwg>.
2. Global halal economy could grow to 4.96 trillion USD by 2030 // <https://www.middleeasteye.net/news/global-halal-economy-market-reach-496-trillion-2030>.
3. Совокупный спрос на халяльную продукцию в мире оценивается до 1,4 трлн долларов в год // <https://produkt.by/news/sovokupnyy-spros-na-halyalnuyu-produkciyu-v-mire-ocenivaetsya-do-14-trln-dollarov-v-god>.
4. Отношение населения к здоровому образу жизни // Национальный статистический комитет Республики Беларусь // https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/official_statistika/vwbor_obsled_dom_hoz-dorovwy_obraz_zhizni-2020.pdf.
5. Абрамчук Н.А. Методика оценки экспортного потенциала халяльной продукции // Концептуальные основы и практические рекомендации по обеспечению производства и экспорта халяльной продукции в Республике Беларусь / Н.А. Абрамчук [и др.]; Институт экономики НАН Беларуси. – Минск, 2024.
6. IMF Working Paper. An Overview of Islamic Finance // <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2015/wp15120.pdf>.
7. Financial Products and Modalities / Asian Development Bank // <https://www.adb.org/what-we-do/public-sector-financing/financial-products-modalities#1L>.



Павел Шведко,
старший научный
сотрудник Института
экономики НАН
Беларуси



Екатерина Тавгень,
научный сотрудник
Института экономики
НАН Беларуси

ВЫХОД БЕЛОРУССКИХ ЭКСПОРТЕРОВ НА РЫНКИ БЕЛИЗА И ГВАТЕМАЛЫ

Развитие зон свободной торговли, модернизация инфраструктуры воздушных и морских портов для увеличения объемов экспорта и импорта, совершенствование правил государственного управления и реализация программ по стимулированию притока иностранных инвестиций делают Белиз и Гватемалу привлекательными сбытовыми площадками. Эти страны обладают потенциалом для того, чтобы стать ключевым звеном в цепочках поставок, особенно с учетом интеграционных процессов в регионе Центральной Америки. Для белорусских экспортеров перспективы для сотрудничества открываются в энергетике, инфраструктурном строительстве, сельском хозяйстве и переработке пищевых продуктов, сфере обороны и безопасности.



Белиз

Расположенный на северо-восточном побережье Центральной Америки, Белиз представляет собой малую страну с рыночной экономикой, ориентированной на сельское хозяйство. Экспорт сахара, бананов, цитрусовых, морепродуктов, а также сырой нефти является основным источником поступлений иностранной валюты. Это единственное преимущественно англоязычное государство в Центральной Америке, обладающее, по сравнению со своими региональными соседями, более квалифицированной рабочей силой и довольно высоким спросом на иностранные потребительские товары. К другим благоприятным факторам развития экономической деятельности с Белизом можно отнести высококонкурентную туристическую отрасль и политическую стабильность.

Хотя Белиз занимает 3-е место в Центральной Америке по уровню доходов на душу населения, за средним показателем скрывается разница в материальном положении богатых и бедных, и ключевой задачей правительства остается сокращение социального неравенства [1]. Среди других недостатков для ведения внешнеторговой и инвестиционной деятельности можно выделить слаборазвитый производственный сектор; растущий торговый дефицит и тяжелое бремя внешнего долга.

На международную торговлю приходится 116% ВВП страны. Белиз в основном экспорти-

рует тростниковый и свекловичный сахар, бананы, фруктовые соки, морепродукты и нефтяные масла. Машины и транспортное оборудование, горюче-смазочные материалы, промышленные товары, продукты питания и химикаты составляют порядка 60% всего импорта в страну [2]. Ведущими торговыми партнерами являются США, Великобритания, Китай, Мексика, Гватемала, Ямайка, Ирландия, Панама.

Сельское хозяйство и агробизнес – неотъемлемая часть экономики Белиза, которая продолжает оставаться основой производственного сектора. Существует необходимость развития агробизнеса с высокой добавленной стоимостью для создания более устойчивого сектора за счет расширения возможностей в областях, связанных с хранением сельскохозяйственных товаров и обработанных продуктов питания, доступной упаковкой и консервированием, улучшением технологий для поддержки урожайности агрокультур (системы орошения, борьба с нетоксичными вредителями и болезнями). Белиз также испытывает потребность в современном лабораторном оборудовании для тестирования и подтверждения пищевой ценности продуктов питания, фруктов, овощей. В настоящее время для такой проверки приходится отправлять продукцию в другие страны Карибского бассейна или Центральной Америки.

Перспективные для внешнеторгового сотрудничества сферы включают производство сырья в секторах

традиционного сельского хозяйства, аквакультуру; животноводство с высокой добавленной стоимостью; выпуск биотоплива, в том числе для выработки электроэнергии, этанола и биодизельного топлива. Спрос предъявляется на технику и оборудование, системы модернизации и внедрения устойчивых технологий в сельскохозяйственные процессы, например повышение эффективности удобрений, органическое производство. Продажа производственных ресурсов также предоставляет возможности для иностранного бизнеса, поскольку удобрения, упаковочные материалы и оборудование в основном поступают из Центральной Америки. В больших объемах закупается потребительские продукты питания (кондитерские изделия, джемы и желе, пищевые смеси).

В качестве одного из главных источников иностранной валюты выступает туризм, отчасти в результате увеличения частоты прибытий круизных судов. Поэтому открыты перспективы для сотрудничества в сферах, поддерживающих данную индустрию, включая оборудование и расходные материалы для гостиничного сектора (например, для отелей и ресторанов); полиграфические материалы; упаковка продуктов питания, в особенности экологически безопасная; строительное оборудование и материалы.

Хотя Белиз испытывает дефицит природных ресурсов, разработка месторождений полезных ископаемых включает добычу глины, известняка, мрамора, песка и гравия для строительной отрасли. Помимо этого ведется россыпная золотодобыча. Наблюдается сильная зависимость от импорта минерального топлива, энергоносителей и электроэнергии, однако при этом часть последней вырабатывается внутри страны за счет топливной древесины и других продуктов из биомассы. Жмых, побочный продукт при производстве сахара из сахарного тростника, также используется в качестве топлива. Государство активно развивает альтернативную энергетику: около 35% общего энергоснабжения вырабатывается из местных возобновляемых источников. К перспективным подсекторам относятся производство энергии из биомассы и отходов, гидро- и солнечная энергетика (солнечные мини-энергосети и уличные фонари на солнечных батареях) и электромобили. Правительство продолжает расходовать значительные ресурсы на улучшение дорожной инфраструктуры. Многие общественные работы и проекты финансируются за счет грантов доноров или заимствований у региональных и многосторонних банков развития. Так, например, панамская компания Intercoastal Marine работает

Год	Экспорт товаров, тыс. долл.	Импорт товаров, тыс. долл.	Внешне-торговый оборот, тыс. долл.	Сальдо внешней торговли, тыс. долл.
2011	1 929	0	1 929	1 929
2012	970	5	975	965
2013	825	11	836	814
2014	115	58	173	57
2015	0	0	0	0
2016	633	0	633	633
2017	416	3	419	413
2018	19	0	19	19
2019	144	0	144	144
2020	308	0	308	308
2021	0	1	1	-1

Объемы внешней торговли товарами Республики Беларусь с Белизом в 2011–2021 гг. Источник: [2]

над строительством новой пристани для круизных судов в порту Корал стоимостью 67 млн долл. [3].

При инвестировании приветствуется создание совместных предприятий, однако для ведения деятельности на местном рынке это не обязательно. Зарубежным инвесторам разрешено полное владение компаниями и собственностью в Белизе.

Другим способом проникновения иностранных экспортеров на рынок страны является поиск местного импортера или оптовика, который будет выступать в качестве агента или дистрибьютора. Использование таких услуг – наиболее удобный, практичный и экономически выгодный механизм продаж в этом государстве. При этом их обязательное привлечение не требуется по закону.

Малая численность населения и небольшая территория Белиза означают, что географическая дифференциация потребительского рынка весьма узкая, как и его сегментирование по культурным признакам. Здесь отсутствует адекватная система поддержки клиентов и послепродажного обслуживания. Она ограничивается предприятиями, занимающимися электронным оборудованием, например копировальными аппаратами, компьютерами, кондиционерами, сотовыми телефонами, автомобилями и грузовиками. В стране проводятся две крупные ежегодные выставки. Одна из них – национальная выставка сельского хозяйства и торговли, организуемая Министерством сельского хозяйства в апреле, другая – Belize Market Place – курируется Торгово-промышленной палатой Белиза, крупнейшей организацией частного сектора в стране. Это двухдневное мероприятие, которое обычно проводится в сентябре.

Таким образом, государство является одним из самых маленьких потребительских рынков в регионе Центральной Америки и Карибского

бассейна и не так конкурентоспособно, как его соседи. Относительно высокая стоимость ведения бизнеса во многом обусловлена большими затратами на коммунальные и телекоммуникационные услуги, топливо. Тем не менее правительство Белиза прикладывает усилия для укрепления инфраструктуры страны, развития туризма и привлечения иностранных инвестиций. Еще в 2019 г. началась реализация первой национальной торговой политики, которая призвана повысить конкурентоспособность экономики и стимулировать устойчивый социально-экономический рост. Она направлена на снижение затрат на ведение бизнеса, создание эффективных промышленных систем и мощностей, улучшение показателей торговли товарами и услугами, диверсификацию производства.



Республика Гватемала

Гватемала – крупнейшая и одна из наиболее стабильных экономик Центральной Америки с ВВП в размере 95 млрд долл. и темпами роста порядка 4,1%. Страна также является самой густонаселенной в регионе – 17,4 млн жителей, а ВВП на душу населения составляет 5473 долл. [4]. Экономика характеризуется наличием крупного первичного сектора. Так, на сельское хозяйство приходится 11,5% ВВП и 31% занятости, на промышленность – 22% и 18% соответственно. Многие предприятия работают в малых масштабах, поскольку небольшой внутренний рынок традиционно ограничивал промышленный потенциал. Туризм – один из важнейших источников доходов для страны, приносящий миллиарды долларов каждый год.

К благоприятным факторам развития экономической деятельности с Гватемалой можно отнести: умеренный внешний долг и эффективное управление текущим счетом; соглашения о свободной торговле с государствами Центральной и Южной Америки; потенциал для развития туризма, сельского хозяйства, добычи полезных ископаемых, производства гидроэлектро- и геотермальной энергии.

Среди недостатков можно выделить: высокую зависимость от сырьевых товаров с низкой добавленной стоимостью и торговли с США, на которые приходится 36,5% экспорта и 37,9% импорта страны; подверженность внешним шокам (стихийные бедствия и колебания цен на сырье); неполную занятость и обширный теневой сектор [5].

Переработка пищевых продуктов является ключевой отраслью экономики: Гватемала занимает лидирующие позиции в Центральной Америке.

На производство продовольственных товаров и напитков приходится 3,8% ВВП [6]. Для улучшения их качества часто импортируется ряд готовых и промежуточных ингредиентов. Некоторые переработчики используют внутренние ресурсы, но обеспечение постоянных поставок практически невозможно, поэтому предприятия полагаются на другие страны.

В Гватемале наиболее востребованы шоколад и прочие кондитерские изделия; белковые концентраты, ингредиенты и полуфабрикаты для напитков; готовые и консервированные мясные продукты (бескостная свинина, свинина для производства бекона, субпродукты, животные жиры); молочные (сыры, сывороточный белок, сливки, сухое и сгущенное молоко, йогурты); хлебобулочные изделия (смеси для блинов, мука для выпечки); растительные масла; детское питание. Зарубежные производители пищевых ингредиентов, которые хотят выйти на рынок Гватемалы, могут связаться с местными переработчиками напрямую или через локальных импортеров в зависимости от типа предлагаемого товара. Крупные компании предпочитают закупать продукты непосредственно у поставщиков, в то время как средние и мелкие предприятия иногда не в полной мере знакомы с процедурами импорта и полагаются на агентов или дистрибьюторов [6]. Ключом к успеху здесь выступает выбор оптимального соотношения конкурентных цен и более качественных материалов.

Республика продолжает оставаться важным рынком сбыта автомобильных запчастей и аксессуаров. К наиболее перспективным направлениям для сотрудничества относятся поставки тормозных жидкостей, жидкостей для гидравлических трансмиссионных систем, свинцово-кислотных аккумуляторов для поршневых двигателей, бывших в употреблении пневматических шин и резины, деталей для систем подвески, масел и топливных фильтров, бамперов, накладок, задних фонарей, колес, звуковых систем, систем сигнализации, радиальных шин, глушителей, воздушных фильтров, выхлопных систем, свечей зажигания, колпаков колес и рулевых систем. Спрос предъявляется и на сервисное оборудование (подъемники, наборы для ремонта шин и балансировки колес, техника для электронной диагностики, компрессоры, инструменты для станций технического обслуживания). Порядка 37% этого ассортиментного ряда ввозится из США, а оставшийся импорт приходится на Республику Корея, Мексику, Японию, Китай, Бразилию, Индию и Европу [7]. Рынок наполнен большим количеством азиатских производителей недорогой продукции. Почти 75% автомобилей в Гватемале – азиатские бренды. Поэтому

Год	Экспорт товаров, млн долл.	Импорт товаров, млн долл.	Внешне-торговый оборот, млн долл.	Сальдо внешней торговли, млн долл.
2011	19,5	1,1	20,6	18,4
2012	0,5	4,8	5,3	-4,3
2013	1,4	2,3	3,7	-0,9
2014	8,7	0	8,7	8,7
2015	9,2	1,1	10,3	8,1
2016	9,9	0,8	10,7	9,1
2017	13,2	1,4	14,6	11,8
2018	29,4	1,1	30,5	28,3
2019	17,3	0,4	17,7	16,9
2020	13,1	1,4	14,5	11,7
2021	0,3	1,9	2,2	-1,6

Объемы внешней торговли товарами Республики Беларусь с Республикой Гватемала в 2011–2021 гг. Источник: [2]

торговля инновационными товарами и сохранение конкурентоспособных цен – главные факторы успеха для белорусских поставщиков.

В стране наблюдается рост спроса на системы безопасности. Данный сектор динамично развивается; примерно от 10 до 12% бюджета компаний инвестируется в охрану. Камеры видеонаблюдения приобрели огромную популярность в различных сферах применения. Активное использование таких систем в школах, больницах, на улицах и объектах розничной торговли способствует расширению рынка этой продукции. Все средства обеспечения безопасности поставляются из-за рубежа, так как местного производства нет. Налог на импорт составляет 0–15%.

Государственные инвестиции в инфраструктуру являются одним из приоритетов правительства. Зарубежный опыт востребован в области городского планирования, модернизации морских и воздушных портов, общественного транспорта, строительства автомагистралей. Национальное агентство ANADIE определило 7 перспективных инфраструктурных проектов стоимостью от 80 до 770 млн долл.: возведение государственного административного центра; прокладка северо-восточного шоссе, магистрали к портовым объектам в южной части страны и городской железной дороги; создание интермодального сухого порта; модернизация международного аэропорта Ла-Аврора; строительство метро.

Обслуживание регионального рынка – основа ведения бизнеса в Центральной Америке. Именно на него ориентируются производственные и сбытовые объекты. Все более популярными становятся региональные менеджеры, которые несут ответственность сразу за несколько стран. Поэтому для успешного осуществления внешнеторговой деятельности

белорусским экспортерам необходимо разработать комплексный план выхода на региональный рынок и подбирать партнеров с учетом их возможностей по реализации товаров в нескольких государствах.

Наиболее распространенный путь для этого – поиск местного агента или дистрибьютора, обладающего благоприятно расположенными точками продаж в ключевых торговых комплексах. Это значительно увеличит шансы на охват большей доли потребителей. Экспортер назначает лицо или фирму, которая, в свою очередь, либо продвигает товары на комисионной основе, либо покупает и перепродает их. Конечные пользователи и розничные продавцы, как правило, не имеют времени или опыта для прямого импорта, что связано со сложностями таможенного оформления. Прямые продажи наиболее успешны, когда продукт уже хорошо известен или когда существует ограниченное число крупных покупателей.

Гватемальский рынок отличается высоким уровнем конкуренции и чувствительностью к цене. Местные партнеры рассчитывают на качественное послепродажное обслуживание. Белорусские экспортеры должны понимать, что на рыночные условия сильно влияет распределение доходов, и между гватемальцами из внутренних районов страны (за исключением туристических регионов Антигуа, Панахачель и Пуэрто-Барриос) и столичными жителями существует большая разница в потребительских предпочтениях и механизмах принятия решений о покупке.

В целом государство заинтересовано в технологическом развитии и стремится стать региональным центром. В Гватемале действует 8 свободных экономических зон, предлагающих инвесторам налоговые льготы. Имея доступ через порты к Тихому океану и Карибскому морю и общие границы с Мексикой, Белизом, Гондурасом и Сальвадором, страна служит хорошими воротами для выхода на рынок Центральной Америки. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Belize: Economic Outline / Standard Bank // https://www.tradecub.standardbank.com/portal/en/market-potential/belize/economy?clear_s=y.
2. Trade Map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre // <http://www.trademap.org/Index.aspx>.
3. Trade and Investment in Belize / Belize Chamber of Commerce and Industry // <https://www.belize.org/trade-investment-zone/>.
4. The World Bank in Guatemala / The World Bank // <https://www.worldbank.org/en/country/guatemala/overview>.
5. Guatemala / Coface for trade // <https://www.coface.com/news-economy-and-insights/business-risk-dashboard/country-risk-files/guatemala>.
6. Guatemala / Foreign Agriculture Service, US Department of Agriculture // <https://fas.usda.gov/regions/guatemala>.
7. Exporting guide to Guatemala / Department for Business and Trade // <https://www.great.gov.uk/markets/guatemala/>.

История Руси в историографии и истории IX—X вв.



Николай Смахович,
зав.центром истории Беларуси конца
XVIII—XXI вв. Института истории
НАН Беларуси, доктор исторических
наук, доцент

Полоцкое княжество (Полоцкая Русь), Туровское княжество (Туровская Русь) — первая историческая форма белорусской государственности. У наших предков в глубокой древности были свои политические лидеры, которые отстаивали интересы народа. Первый полоцкий князь, происходивший из рода варягов-викингов, Рогволод был независимым правителем. В его правление наша земля находилась в шаге от судьбоносного исторического решения, но, увы, ему не суждено было сбыться.



Термины и определения

Термина «Киевская Русь» в известных летописных источниках нет. Он понадобился российским историкам в первой половине XIX в. для того, чтобы в их сочинениях процесс формирования государства восточных славян приобрел целостный характер. Такую же политико-идеологическую функцию выполняли и выполняют термины

«Древняя Русь», происхождение которого также не связано с историческими источниками, и «княжество», которого в политической лексике IX–XI вв. не было, нет его и в известных летописных источниках. Изначально термин «земля» был политонимом: «Греческая земля» – синонимом Византийской империи, а «Деревьска земля» – обозначением независимого государственно-политического образования – княжения древлян. Такими же образованиями были и другие летописные княжения-земли: Полоцкая, Новгородская, Черниговская, Волынская, Смоленская и др. Это значит, что князья, политическая и властная элита того времени, вкупе с церковным клиром осознавали главное, а именно то, что обязательным атрибутом земли, княжения, волости была власть и только власть. «Повесть временных лет» (ПВЛ) прямо указывает на то, что князь – «глава есть земли» [8, с. 73], в современном понимании – глава государства, следовательно, основным признаком государства была власть. Если обратиться к термину «славяне», можно лишь констатировать наличие многих концептуальных толкований его сути. В сравнении с ним еще более сложным является термин «русь». Первым, кто попытался его осмыслить, были авторы «Повести временных лет». В их версии он, с одной стороны, использовался для именования этноса, с другой – стал олицетворением новых государственно-политических образований. Эта противоречивость сказывалась на всех последующих исследовательских толкованиях этимологии слова «русь». Версию летописцев многие поддерживали, но и до первой четверти XXI в. решить этот вопрос в форме общепризнанной трактовки не удалось.

Вывод очевиден: осмысление указанной терминологии в области изучения истории становления белорусской государственности – актуальная задача отечественной историографии.

Историография

История Полоцкой земли нашла отражение в значительном количестве трудов разного жанра. В научном отношении приоритет в осмыслении истории Полоцкого княжества принадлежит В. Игнатовскому и М. Довнар-Запольскому. В 1920–1930-х гг. пионерами в изучении истории Полоцкой земли стали археологи, в частности А. Лявданский, Б. Рыбаков, Л. Алексеев. В 1982 г. В. Седов, основываясь на изучении материалов археологических раскопок, создал концепцию субстратного происхождения белорусского этнического сообщества, которая оказала большое влияние на обобщающие выводы отечественных археологов, но в свете исследований генетиков не нашла подтверждения и утратила актуальность. В 1970–2010 гг. приоритет в изучении полоцких древностей принадлежал одному из основателей национальной археологической школы – Г. Штыхову. Кроме того, история Полоцкого княжества была предметом исследования М. Каргера, В. Тарасенко, С. Тарасова, Д. Дука, Л. Дучиц, М. Гурина, А. Войтеховича. В той или иной степени история Полоцкой земли нашла отражение в трудах дореволюционной российской, советской, украинской историографии. К их числу относятся работы С. Геденова [1], А. Горского [2], Б. Грекова [3], В. Мавродина [4], А. Насонова [5], А. Никитина [6], А. Новосельцева [7],

М. Покровского [9], Б. Романо-ва [10], Б. Рыбакова [11], А. Сахарова [12], П. Толочко [13], И. Фроянова [14] и многих других. Конечно, работы этих советских и российских историков, которые стали своего рода историографической классикой, рассматривать можно и нужно, но у них был существенный изъян: выстраивая свои концепции, которые касались истории становления государственности у восточных славян, авторы не уделяли должного внимания Полоцку. Приведем характерный пример. В своей монографии Б. Греков писал: «Под Киевским государством мы понимаем то большое государство, которое возникло в результате объединения Новгородской Руси с Киевской Русью» [4, с. 445]. И ни слова о Полоцке и полочанах, а также по поводу того, почему в составе большого войска, которое собрал «новгородский князь Олег», оказались кривичи, нет и объяснения, чьи это были кривичи.

Вместе с тем за 95-летний период существования Института истории НАН Беларуси в белорусской историографии не было предъявлено диссертаций по источниковедению истории Беларуси IX–XII вв.

Полоцк в истории Руси, Русская земля в IX–X вв.

В связи с тем, что на протяжении длительного времени российскими историками Полоцкое княжение было «отлучено» от процесса образования Древнерусского государства, в историографии дискурса о Полоцкой Руси не было. Поэтому в вопросе исследования истории становления белорусской государственности необходимо отталкиваться от осмысления существующей

источниковой базы. Основным летописным источником по предмету статьи являются известия, изложенные в «Повести временных лет». Центральным, ключевым событием, связанным со становлением государственности, стало летописное сказание о призвании варяг. Среди сторонников норманской концепции происхождения государства восточных славян, кроме ее основателей, были Х. Френ, М. Погодин, М. Карамзин, С. Соловьев, В. Ключевский. К лагерю антинорманистов принадлежали М. Ломоносов, В. Татищев, И. Эверс, М. Каченовский, Н. Надеждин, И. Беляев, Д. Иловайский, С. Геденов, А. Никитин, другие историки. Летописец поведал, что в 859 г. славянские роды кривичей и новгородцев, а также роды чуди и мери находились в даннической зависимости от заморских варягов, но в 862 г., объединившись, эти роды полностью освободились и стали независимыми. Однако это не принесло мира и согласия, они пошли войной друг на друга, поскольку не смогли решить вопрос о власти, то есть избрать на вече общего для их княжений правителя. В результате решили пригласить на княжение тех же заморских варягов, выбрали своих представителей, и общая делегация подалась за море. Согласие на верховное правление дал варяжский конунг Рюрик, который прибыл с дружиной в Новгород. После этого своих наместников он послал и к другим родам, участвовавшим в призвании, в том числе в Полоцк. Поскольку сами призванные именовали себя русью, летописец констатировал: «И от тех варягъ прозвася Руская земля» [8, с. 31]. Так земля славянская получила другое имя. Действительно, если новгородцы добро-

вольно отказались от свободы и независимости, а иноземец Рюрик возглавил их княжение, тогда в соответствии с вековой родовой традицией с этого момента новгородские славяне должны были именоваться «от рода варяжска, Руской землей». Некоторые современные российские историки пишут, что «лексема “варяг” или “варяги” появляется в древнерусской письменности не ранее первой половины XII в., ретроспективно обозначая социальное положение человека (“наемник”), а не его этническую принадлежность» [6, с. 94, 95]. Конечно, киевские летописцы начала XII в. мыслили и излагали историю в понятиях своего времени, а не времени середины IX в. Но современные ученые ставят под сомнение летописное сказание все с той же целью – объяснить, что «варяжская (нормандская) проблема» действительно является затянувшейся ошибкой русской (и мировой) историографии» [6, с. 95]. Автор данной статьи с этим утверждением не согласен. Между тем тенденция к опровержению летописного сказания в российской историографии набирает обороты. «Таким образом, если Рёрик и Рюрик – одно лицо, то у русских князей было родство по браку с Каролингами. <...> Очень похоже, что археологические находки во Фрисландии являют собой свидетельства “предпосылок” перемещения Рюрика в Восточную Европу <...>. Итак, оба главных этнических компонента, участвовавших в складывании государства Русь, – восточные славяне и “варяги”, – получили импульс политического развития от франков» [2, с. 19–25]. Необходимо прямо сказать, что когда/если российские историки примут «полную внеисторичность легенды о

«призвании», – по отношению к Новгороду на Волхове и древнерусскому государству в целом» [6, с. 168, 169], тогда Русь Рогволода – Полоцкая Русь – остается единственной истинной Русью.

Но почему же летописец в новелле о призвании ничего не сказал о Полоцке? Ведь и полочане добровольно призывали Рюрика и должны были именоваться «от рода варяжска, Руской землей». Полагаю, не сказал умышленно по трем причинам. Первой из них была военно-политическая конфронтация между правителями Киева и Полоцка. Скажу прямо, ни один известный исследователь не принимал этот фактор в расчет. Но мы обязаны учитывать, что в 1065 г. Всеслав, правивший в Полоцке, напал на Псков, в 1066 г. – на Новгород, город был захвачен и разграблен. В отместку 3 марта 1067 г. в битве на Немиге Ярославичи победили, Всеслав бежал. Его пленение и заключение в темницу закончилось 7-месячным княжением в Киеве. В 1069 г. Всеслав вновь воюет с Новгородом, в 1077 г. Владимир Мономах дважды пытался захватить Полоцк. В 1078 г. Всеслав напал на Смоленск, где княжил Мономах, сжег город. После смерти Всеслава его сыновья вели отчаянную борьбу с Владимиром Мономахом. И как же в условиях непримиримой военно-политической конфронтации киевский летописец, а основное содержание ПВЛ было очерчено именно в конце XI – начале XII вв., мог лояльно относиться к Полоцку и без пристрастия описывать его изначальную историю? Ведь упоминание наравне с Новгородом о Полоцке ставило точку в вопросе о территориальной и этнической локализации «Руси» и «Руской земли». Безусловно, по

политико-идеологическим соображениям решиться на такой шаг автор ПВЛ не мог. Кроме того, мы должны помнить, что историю всегда писали, пишут и будут писать победители.

Вторая причина заключалась в том, что рюриковские наместники правили в Полоцке недолго. Нам неизвестно, направлял ли киевский князь Игорь своего наместника в Полоцк, но после его смерти полочане сами пригласили на княжение новую русь, на этот раз варяжский род конунга Рогволода. И примерно начиная с 945–946 гг. этот род варягов-викингов княжил в Полоцке, а род конунга-варяга Тура княжил в Турове. Поэтому по причине смены династии киевский летописец и решил не именовать Полоцкую землю «Руской землей».

Не менее значимой была и третья причина. Летописная новелла о расселении восточных славян сообщает: «...инии седоша на Двине и нарекошася полочане, речьки ради, яже втечетъ въ Двину, имянемъ Полота, от сея прозвашася полочане» [8, с. 26]. В другой новелле ПВЛ сообщает, что у славянских родов были княжения, было княжение и «на Полоте, иже полочане. От нихъ же кривичи, иже седять на верхъ Волги, и на верхъ Двины и на верхъ Днепра, их же градъ есть Смоленск; туда бо седять кривичи. Таже северъ от нихъ» [8, с. 27]. То есть полочан прямо называют родоначалием всех кривичей, – «от нихъ же кривичи». «Повесть» говорит, что у полочан было княжение, но по прошествии времени полочские славяне были наречены прозвищем «кривичи», то есть кривичи – их житейское прозвище. В этой новелле Полоцк не назван, но сообщение о том, что на Полоте было княжение, указы-

вало на факт существования его столицы, что снимало вопрос о Полоцке. Вместе с тем летописец не только указал регионы и города, но и конкретизировал: «от нихъ же», то есть от полочан-кривичей, и ими же заселены (указаны направления расселения) Подвинье, верховья Волги, Днепра, основаны Псков и Смоленск. Об этом знали в Полоцке, а также в Новгороде, Пскове и Смоленске, поэтому полоцкие князья еще долгое время претендовали на владение Псковом и Смоленском. Кроме того, в недатированной ПВЛ, говоря современным языком, в ее вводной части есть весьма конкретное высказывание: «Се токмо словенскъ языкъ в Руси: поляне, деревляне, ноугородцьци, полочане, дреговичи, северъ, бужане, зане седоша по Бугу, после же велыняне» [8, с. 27, 28]. В этой новелле среди родов, отнесенных к Руси, нет кривичей. Никакого объяснения этому факту никто из историков не давал. Так почему же их нет среди славян? Их нет по той причине, что указано их родоначалие – полочане. Между тем в новелле о варяжском призвании сообщается следующее: «а перьвии насельници в Новгороде словене, въ Полотьски кривичи» [8, с. 31]. Вот и получается, что, если в предыдущих новеллах летописец широко расселившийся род не включил в состав родов «Се токмо словенскъ языкъ в Руси», он не мог именовать этот род «Руской землей». С другой стороны, указанные противоречия и нестыковки подтверждают предположение А. Шахматова о том, что не только новелла о призвании, но и другие известия были включены в ПВЛ другими летописцами и в другое время. Принимая во внимание тот факт, что из городов, основанных полочанами-кривичами, только

в Полоцк Рюрик послал своего наместника, можно уверенно утверждать, что в 862 г. делегацию кривичей представляли только полоцкие кривичи. Это значит, что и в других известиях, называемая кривичей, летописец говорит о полочанах.

В новелле о походе Аскольда и Дира на Константинополь термины «русь», «язычники русские» послужили для именования только воинских отрядов варягов-викингов – указание на то, что кроме рода Рюрика к «руси» принадлежали и другие варяжские роды. Следует сказать, что в IX–X вв. варягов-викингов, воинов киевского князя Олега, именовали термином «русьские», но киевские летописцы в конце XI – начале XII вв. под влиянием церкви вместо «русьские» стали писать «русские». В 882 г. Олег город Киев (род мужской) нарек «матерью» городов русских. Но из контекста новеллы вполне очевидно, что Киев был захвачен силой оружия, очевидно и то, что землю полян подчинили варяги, полочане и «прочие, прозвашася русью» и пришедшие с Олегом. Видим мы и неожиданный поворот летописного повествования. В этой новелле впервые термин «русь» стал именовать землю-территорию. Князь Олег сказал, что Киев будет «мати градомъ русьскимъ» на момент этого утверждения только тем городам, которые были под властью Олега. Из славянских городов это касалось Полоцка, Новгорода и Смоленска. Следовательно, «Русь, Русьская земля» к концу IX в. охватывали только территории Полоцкого, Новгородского, Смоленского княжений, то есть это была территория Новгородской Руси и Полоцкой Руси.

«И бе обладая Олегъ поляны, и деревляны, и северяны, и ради-

ми, а съ уличи и тверци имяше рать» [8, с. 33]. Летописец подытожил, что Олег правил захваченными княжениями-землями, именно княжениями, которые платили ему дань, но эти земли не именованы терминами «Русьская земля», «Русь». Это были княжения, подчиненные силой оружия, а не единое добровольное этно-территориальное объединение. И что характерно, летописец не назвал ни одного города из тех, которые были у древлян, северян, радимичей, не назвал потому, что Киев не был им матерью.

Стало быть, ко времени кончины князя Олега никаких твердых правовых основ его владычества над другими государственно-политическими княжениями не существовало. Да и государства как единой социально-политической организации в том понятии, которым спустя века его наделили историки, то есть с единой властью, единой территорией, единым народом, не существовало. Поэтому другие князья не признали над собой власть князя Игоря и прекратили с ним отношения. Не признали его радимичи и древляне. Территориально княжение Олега фактически «развалилось».

В 945 г. греки прислали к киевскому князю Игорю своих послов, которые предложили заключить мирное соглашение, но не с «Руской землей», а с «князем руским». И опять же ни о какой клятве, принесенной «Руской землей», ПВЛ не говорит. Неопровержимым фактом было и то, что событие происходило в Киеве, но летописец не назвал ни Киев, ни Киевщину этой самой «Руской землей». В 955 г. княгиня Ольга побывала в Константинополе, приняла крещение. Когда же она попыталась обратиться в христианство сына Святослава, тот

ей ответил: «Како азъ хочу инъ законъ прияти единъ? А дружина моа сему смеяться начнуть» [8, с. 46]. Сей факт указывает на то, что в киевском княжении князь не обладал всей полнотой власти, не был самовластным верховным правителем. Ольга же сказала: «Воля божья да будетъ; аще богъ хоцетъ помиловати рода моего и земле Руские, да възложить имъ на сердце обратитися къ богу, якоже и мне богъ дарова» [8, с. 46]. Совершенно очевидно, что здесь понятие «Руская земля» не несет никакой этнической нагрузки, в данной цитате это христианская идеология от имени летописца.

Киевский князь Святослав, не будучи христианином, в 968 г. принял кардинальное решение. Он заявил своей матери Ольге: «Не любо ми есть в Киеве быти, хочу жити в Переяславци на Дунаи» [8, с. 48]. Святослав не называет свою землю «Руской землей», а поскольку он не был полновластным верховным правителем, значит, вся властная элита питала неприязнь к Киеву. Это был осознанный выбор Святослава и его правительства. В 971 г. греки пошли на заключение нового мирного договора. В нем Святослав клялся от самого себя, то есть от «князя руския» и от подвластных ему «русских» («по до мною Русь»), но ни разу не назвал свою землю и не клялся от «Руския земли». При наличии таких фактов нет предпосылок и оснований вести речь о Киевской Руси, Русской земле, которую якобы представлял только Киев.

А сейчас обратим внимание на еще один неоспоримый исторический факт. Зададимся вопросом: почему новгородские посланники в 970 г. пригрозили Святославу: «Аще не поидете к намъ, то налеземъ князя собе» [8, с. 49]. Проще

говоря, новгородцы прямо заявили: «Не беда, что у Новгородской Руси нет правителя, мы пригласим на княжение другого варяжского князя». Ведь они знали, что полочане уже пригласили к себе варяжского правителя.

Далее события начали развиваться только после трагической гибели Святослава. В 973 г. в Киеве начал править его старший сын Ярополк. Князем он был, но, как и его отец, всей полноты власти не имел. Именно этим обстоятельством руководствовался внебрачный сын Святослава Владимир, который послал сватов к своему соседу – варяжскому князю Рогволоду, правившему в Полоцкой Руси. Причина сватовства была веской: только женитьба на варяжской принцессе открывала (и открыла) Владимиру «дверь на княжеский трон» в Киеве. Принцесса Рогнеда совершенно справедливо отказала Владимиру, поскольку, согласно родовому праву, он оставался сыном рабыни. Однако междинастические браки были делом политическим, и, хотя отказ прозвучал из ее уст, конечно, это была позиция правительства Рогволода. Летописец пояснил, что полочане готовились к свадьбе, а не к войне. «В се же время хотячу Рогънедь вести за Ярополка». В случае этого брака были бы породнены династии Рогволода и Рюрика, после этого течение истории Руси вошло бы в «естественные» берега. Чтобы не допустить такого развития событий, «и приде Володимеръ на Полотескъ и уби Рогъволода и сына его два, и дъщерь его поя жене» [8, с. 53]. В свою очередь полоцкое правительство рассчитывало, что между Полоцкой Русью и Новгородской Русью сохраняются союзные договорные отношения, сложившиеся в 862 г. Оно не предполагало, что

следствием отказа станет разрыв этих отношений, вероломный внезапный удар в спину, коварное нападение на город. Владимир фактически без сопротивления захватил его и жестоко расправился с семейством князя Рогволода. Однако своего наместника в Полоцкой Руси он не оставил и никакой дани город ему не платил. Вместе с тем в новелле о сватовстве Владимира киевский летописец был вынужден открыть то, о чем ранее не сообщал, что умышленно скрывал, так как этот факт разрушал все его утверждения и известия относительно Русской земли. «Бе бо Рогъволодъ пришелъ и-заморья, имяше власть свою в Полотьске, а Туры Турове, от него же и туровци прозвашася» [8, с. 52]. Но здесь не сообщается, каким путем Рогволод пришел из-за моря и как к его княжению относился киевский правитель Святослав. Следовательно, летописец знал об этом пути, который ничем не отличался от Рюрикова пути. Учитывая тот факт, что воинственный и решительный Святослав не протестовал, а имена Рогволода и Тура упоминаются вместе, это значит, что и Тур был варягом и пришел «и-заморья». Отметим и тот факт, что летопись не называет жителей Турова дреговичами, а именует их «туровцами», что является еще одним доказательством «варяжскости и русьскости» князя Тура. В свою очередь Владимир во время 3-летнего заморского пребывания был осведомлен о Рогволоде, возможно, именно там ему посоветовали породниться с полоцким князем. Эти летописные факты являются неопровержимым доказательством того, что Полоцкая Русь – это истинная Русь, «Руская земля». С другой стороны, осмысление летописного источника обязывает сказать

о том, что вывод, относящийся к Полоцкому княжению, в полной мере относится и к Новгородскому княжению. Таким образом, в IX в. у истоков Руси было два политических центра восточных славян – Новгород и Полоцк. Следовательно, Полоцк – отец городам белорусским, а Новгород Великий – отец городам российским. В X в. территория этих княжений-государств являлась зримым воплощением Руси и Русской земли. Именно поэтому даже в период Великого Княжества Литовского за нашей землей оставалось ее изначальное имя, таковым оно является и поднесь. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гедеонов С.А. Варяги и Русь / С.А. Гедеонов. – СПб., 1986.
2. Горский А.А. «Бесчисленные рати и великия труды...»: Проблемы русской истории X–XV вв. / А.А. Горский. – СПб., 2018.
3. Греков Б.Д. Киевская Русь / Б.Д. Греков. – М., 1949.
4. Мавродин В.В. Образование Древнерусского государства / В.В. Мавродин. – Л., 1945.
5. Насонов А.Н. «Русская земля» и образование территории древнерусского государства / А.Н. Насонов. – СПб., 2006.
6. Никитин А.Л. Основания русской истории: мифология и факты / А.Л. Никитин. – М., 2001.
7. Новосельцев А.П. Образование древнерусского государства и его первый правитель / А.П. Новосельцев // Вопросы истории. 1991. № 2–3.
8. Повесть временных лет // Повести Древней Руси. XI–XII века. – Л., 1983.
9. Покровский М.Н. Избранные произведения в четырех книгах / кн. 1. Русская история с древнейших времен. Т. I–II. / М.Н. Покровский. – М., 1966.
10. Романов Б.А. Люди и нравы древней Руси. Историко-бытовые очерки XI–XIII вв. / Б.А. Романов. – М., Л., 1966.
11. Рыбаков Б.А. Киевская Русь и русские княжества XII–XIII вв. Происхождение Руси и становление ее государственности / Б.А. Рыбаков. – М., 2014.
12. Сахаров А.Н. Дипломатия Древней Руси: IX – пер. пол. X века / А.Н. Сахаров. – М., 1980.
13. Толочко П.П. От Руси до Украины: пути исторической памяти / П.П. Толочко. – М., 2020.
14. Фроянов И.Я. Начала русской истории. Избранное / Фроянов И.Я. – М., 2001.

ИЗМЕНЕНИЕ АРХИТЕКТониКИ МЕМБРАНЫ ЭРИТРОЦИТОВ у пациентов с COVID-19 и после него

УДК [577.352.336:616-008.851]:[616.98:578.834.1]-06



Александр Шафорост,
старший научный сотрудник
научно-исследовательской
лаборатории Гомельского
государственного
медицинского университета



Евгений Воропаев,
проректор по научной работе
Гомельского государственного
медицинского университета,
кандидат медицинских наук,
доцент; voropaev.evgenii@gmail.com

Аннотация. Проанализировано изменение механических свойств мембраны эритроцитов у пациентов с протекающей или перенесенной инфекцией COVID-19 по сравнению с контролем в период наблюдения с 2021 по 2023 г. Выявлены значимые различия величин силы трения Fl ($p < 0,001$) и шероховатости Rq ($p < 0,0032$); максимальные трансформации наблюдаются в период наибольшей заболеваемости коронавирусом. Показатели Fl и Rq могут быть применимы для оценки тяжести перенесенной инфекции, а в перспективе и иных заболеваний.

Ключевые слова: эритроциты, COVID-19, атомно-силовая микроскопия, механические свойства, сила трения, шероховатость, архитектоника.

Для цитирования: Шафорост А., Воропаев Е. Изменение архитектоники мембраны эритроцитов у пациентов с COVID-19 и после него // Наука и инновации. 2025. №1. С. 74–77.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-01-74-77>

Острые респираторные инфекции (ОРИ) занимают лидирующее положение среди всех инфекционных заболеваний [1]. В период с 2020 по 2022 г. структура заболеваемости ОРИ изменилась вследствие пандемии COVID-19, что привело к активизации исследований в области изучения механизмов их протекания. Кровь и ее клеточные элементы играют важную роль в патогенезе острых респираторных инфекций. Они выступают в качестве маркеров протекания инфекционного процесса (увеличение/уменьшение количества отдельных популяций клеток, их размера, появление незрелых форм и изменение скорости оседания эритроцитов), анализируя которые можно судить о природе и тяжести его течения [2, 3]. Организм на размножение

вирусов или бактерий отвечает путем клеточного, а затем и гуморального иммунного ответа, что приводит к трансформации физико-химических условий, в которых существуют клетки крови, что не может не отразиться на них. Благодаря атомно-силовой микроскопии (АСМ) появилась возможность непосредственного исследования морфологии, структуры и механических свойств клеток.

Эритроциты – одни из наиболее изученных объектов. Участие, посредством гемоглобина, в переносе O_2 , CO_2 и поддержании гомеостаза (регуляция рН крови, ионного состава плазмы и водного обмена), а также существенная роль в специфическом и неспецифическом иммунитете, свертывании крови и сосудисто-тромбоцитарном гемостазе опре-

	Группа 1 (COVID-19, пост-COVID-19)	Группа 2 (контроль)
Количество	n=17	n=17
Средний возраст (мин.; макс.), лет	56,56 (28,00; 81,33)	50,60 (19,00; 73,32 лет)
Мужчины, %	11,76	23,53
Женщины, %	88,24	76,47
Наличие острых/хронических заболеваний (количество пациентов)		
COVID-19, пневмония	4	0
Сахарный диабет	3	2
Ишемическая болезнь сердца (ИБС)	2	0
Цирроз печени	4	6
Бронхиальная астма	0	1
Ревматоидный артрит	0	1
Отсутствие острых/хронических заболеваний	4	7

Таблица. Характеристика сформированных групп

деляют актуальность их исследования [4, 5]. Появление новых нозологических единиц и вовлеченность в их патогенез эритроцитов, а также поиски инновационных методов диагностики и терапии уже известных заболеваний делают эти клетки актуальным объектом биомедицинских исследований и в настоящее время.

Доказано, что у пациентов с бронхитом, пневмонией и респираторно-синцитиальной инфекцией наблюдается увеличение количества сфероцитов по сравнению с контрольной группой, а также изменяется жесткость мембраны дискоцитов и сфероцитов [6]. По имеющимся данным, вирус гриппа способен попадать внутрь эритроцитов посредством взаимодействия белка гемагглютинаина оболочки вируса с остатком сиаловой кислоты в молекуле ганглиозида на поверхности мембраны клетки. Следствием инфицирования являются гемолиз эритроцитов и нарушение процессов газообмена [7].

Есть сведения и о возможности проникновения вируса SARS-CoV-2 внутрь эритроцитов посредством взаимодействия шиповидного белка S1 вируса с белком RBC Band3 на мембране этой клетки. В результате происходит денатурация гемоглобина, что приводит к нарушению метаболизма железа, изменению биохимических процессов, дегенерации митохондрий и в конечном итоге – апоптозу клетки, усугублению гипоксии и повышению тяжести течения заболевания [8].

Ответом на описанные процессы выступает модификация физико-механических параметров мембраны эритроцитов. При COVID-19 наблюдаются

изменения микрореологических свойств крови и снижается деформируемость красных кровяных телец [9], выявляются грибовидные клетки и увеличивается количество аномальных форм эритроцитов (сфероцитов, стоматоцитов) с анизоцитозом и полихромазией [10]. Также при коронавирусной инфекции вследствие длительного воздействия воспалительных молекул (веществ, концентрация которых увеличивается при развитии воспалительного процесса) происходит активация клеточной гибели эритроцитов (эриптоза), который сопровождается их сморщиванием, вздутием клеточной мембраны, ее скремблированием (перемещением фосфолипидов с одной ее стороны на другую) с транслокацией фосфатидилсерина (ФС) на поверхность клетки [8, 9]. При этом отмеченные изменения из-за отсутствия системы биосинтеза белков не могут быть восстановлены и сохраняются некоторое время после перенесенного заболевания.

Цель нашей работы – проанализировать изменение механических свойств мембраны эритроцитов у пациентов с протекающей или перенесенной инфекцией COVID-19 по сравнению с контролем.

Материалы и методы

Для исследования были использованы образцы крови из банка научно-исследовательской лаборатории Гомельского государственного медицинского университета, разделенные на 2 группы: 1 – пациенты с протекающей ($n=4$) или перенесенной не более чем за 12 месяцев до забора крови инфекцией COVID-19 ($n=13$) в период 2021–2023 гг.; 2 – контрольная группа пациентов с отсутствием коронавирусной инфекции или перенесших ее более чем за 12 месяцев до забора крови ($n=17$). Описание групп приведено в таблице.

При приготовлении препаратов для АСМ полученные из венозной крови эритроциты фиксировали в течение 30 мин в 1%-ном растворе глутарового альдегида забуференного PBS, отмывали трижды свежим раствором PBS и два раза дистиллированной водой, затем помещали на предварительно подготовленные стекла и высушивали при комнатной температуре. АСМ-исследования проводили на атомно-силовом микроскопе НТ-206 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь) в контактном режиме с использованием зонда CSC38 (игла В, коэффициент жесткости 0,03 Н/м). Для анализа карт рельефа и латеральных сил использовали АСМ-изображения размером 2,5×2,5 мкм с разрешением 256×256 точек. Обработку полученных данных осуществляли с помощью программы «SurfaceExplore 1.3.11»

(ОДО «Микротестмашины», Беларусь). В режиме карты латеральных сил оценивали показатели силы трения (F_l или F_f) и шероховатости (R_q). Величину силы трения рассчитывали как полуразность латеральных сил при прямом и обратном проходе зонда [13]. Результаты представлены в виде $\bar{X} \pm 95\%$ доверительный интервал (ДИ). Выборки сравнивались с помощью непараметрического U-критерия Манна – Уитни и теста Крускала – Уоллиса.

Результаты и обсуждение

Было обследовано 17 пациентов 1-й группы и столько же 2-й. Обе имели близкую половозрастную структуру (таблица): 1-я группа (COVID-19, пост-COVID-19) – средний возраст 56,56 года (28,00;81,33), мужчины 11,76% ($n=2$), женщины 88,24% ($n=15$); 2-я (контроль) – средний возраст 50,60 года (19,00;73,32), мужчины 23,53% ($n=4$), женщины 76,47% ($n=13$).

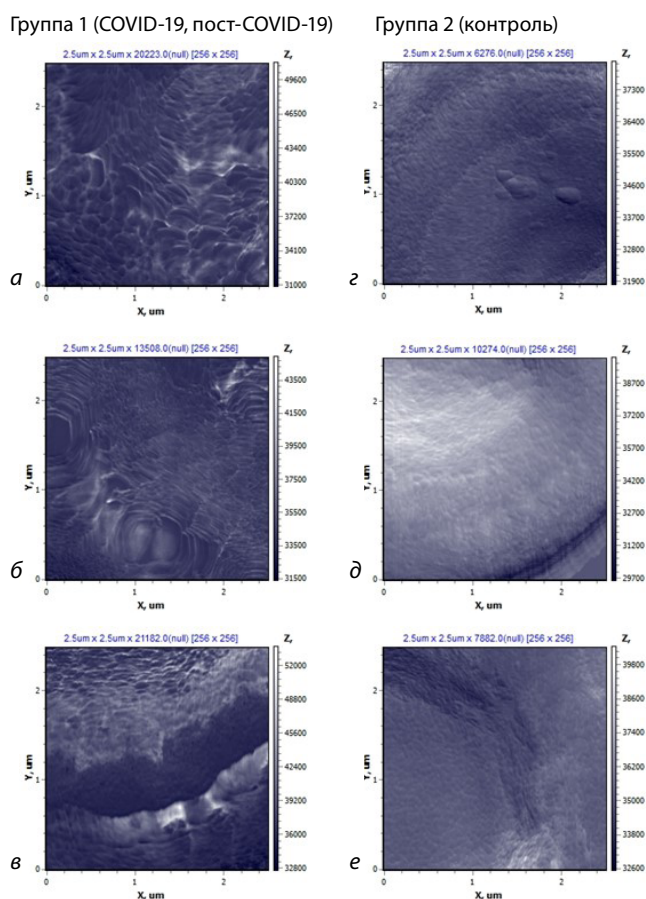


Рис. 1. Изображения поверхности мембраны эритроцитов в режиме карты латеральных сил у пациентов с острой/перенесенной коронавирусной инфекцией (а, б, в) и пациентов из контрольной группы (г, д, е)

Наиболее распространенными заболеваниями были: в группе 1 – COVID-19, пневмония ($n=4$), цирроз печени ($n=4$), сахарный диабет ($n=3$) и ИБС ($n=2$); в группе 2 – цирроз печени ($n=6$), сахарный диабет ($n=2$), бронхиальная астма ($n=1$) и ревматоидный артрит ($n=1$). Отсутствие острых/хронических заболеваний отмечено у 4 пациентов 1-й и 7 – 2-й группы.

В рамках настоящего исследования для анализа механических свойств мембраны эритроцитов было получено 385 изображений поверхности клеток размером 2,5×2,5 мкм (198 – экспериментальная группа, 187 – контроль). Примеры изображений данного участка красных кровяных телец представлены на рис. 1.

Поверхность эритроцитов в режиме карты латеральных сил у пациентов из группы 1 характеризуется увеличением размера отдельных элементов и наличием неоднородностей структуры мембраны (рис. 1 а, б, в). В контроле количество клеток с подобными характеристиками существенно ниже. Большинство эритроцитов имеют более упорядоченную структуру поверхности, образуемую более мелкими элементами (рис. 1 г, д, е), чем в первой группе.

Морфологические особенности мембраны в сравниваемых группах согласуются с изменениями величин силы трения и шероховатости, полученными при обработке АСМ-изображений с использованием программы «SurfaceExplore 1.3.11». Величина F_l в 1-й группе равна $1798,60 \pm 180,28$ усл. ед., что в 1,58 раза выше, чем в контроле ($1139,77 \pm 90,70$; $p < 0,001$). Подобное увеличение силы трения наблюдается при бронхите, пневмонии и респираторно-синцитиальной инфекции [6] и свидетельствует о повышении жесткости мембраны эритроцитов, что может оказывать влияние на их способность проникать сквозь стенку сосудов и содействовать развитию локальной гипоксии. Выявлены значимые различия R_q поверхности эритроцитов: $1601,65 \pm 179,01$ усл. ед. в 1-й группе против $1156,48 \pm 114,86$ усл. ед. ($p < 0,0032$) во 2-й. Анализ взаимосвязи значения F_l и R_q с диагнозом острого или хронического заболевания, в том числе внутри экспериментальной и контрольной групп, не выявил значимой зависимости между данными показателями.

Параметры механических свойств мембраны эритроцитов у пациентов обеих групп в различные сроки наблюдения представлены на рис. 2.

Максимальные значения величины силы трения отмечаются в образцах эритроцитов из 1-й группы в 2021 г. ($2343,16 \pm 461,10$ усл.ед.) и 2022 г. ($2417,75 \pm 308,84$ усл.ед.), что в 1,54 ($p = 0,159$) и 1,59 ($p = 0,0003$) раза выше, чем в образцах контрольной

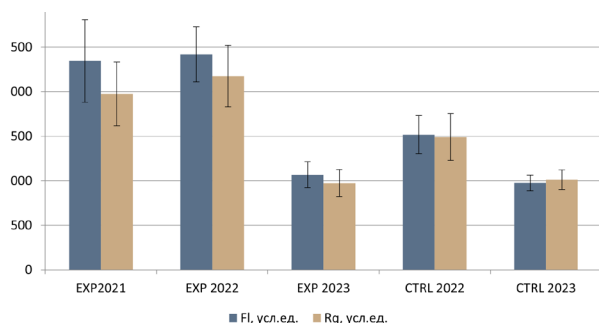


Рис. 2. Параметры механических свойств силы трения и шероховатости мембраны эритроцитов пациентов с острой/перенесенной коронавирусной инфекцией (EXP) и пациентов из контрольной группы (CTRL) в период наблюдения с 2021 по 2023 г.

группы 2022 г. Различия FI между группами в 2023 г. носят незначительный характер. Аналогичным образом ведет себя и показатель Rq. Таким образом, более значительное изменение архитектоники мембраны эритроцитов отмечается в период наибольшей заболеваемости COVID-19 в результате ее повреждения при взаимодействии с коронавирусом SARS-CoV-2.

Выводы

У пациентов экспериментальной группы с острой/перенесенной коронавирусной инфекцией выявлено значимое увеличение значений силы трения ($1798,60 \pm 180,28$ усл. ед.; $p < 0,001$) и шероховатости ($1601,65 \pm 179,01$ усл. ед.; $p < 0,0032$) поверхности эритроцитов по сравнению с контролем. Наиболее явно эти изменения были выражены в 2021 и 2022 гг., с нормализацией относительно контроля в 2023 г. Описанные различия механических свойств мембраны эритроцитов могут быть связаны с высокой заболеваемостью COVID-19 в 2021–2022 гг., относительно более тяжелым протеканием заболевания (в том числе более сильным иммунным ответом с

гиперсекрецией провоспалительных цитокинов), что приводило к выраженным повреждениям мембраны исследуемых клеток.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования параметров архитектоники эритроцитов для оценки тяжести перенесенной коронавирусной инфекции, а в перспективе – и иных заболеваний.

Работа проводилась на базе НИЛ ГомГМУ в рамках выполнения НИР «Разработать алгоритм прогнозирования пост-COVID-19 ассоциированной патологии на основании изучения клиничко-лабораторных и функциональных показателей» ГПНИ «Трансляционная медицина» и НИР «Изучить особенности микробиоты различных биотопов организма человека в норме и при патологических состояниях, оценить ее значение в развитии связанных с ними заболеваний» ГПНИ «Трансляционная медицина».

Статья поступила в редакцию
11.07.2024 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

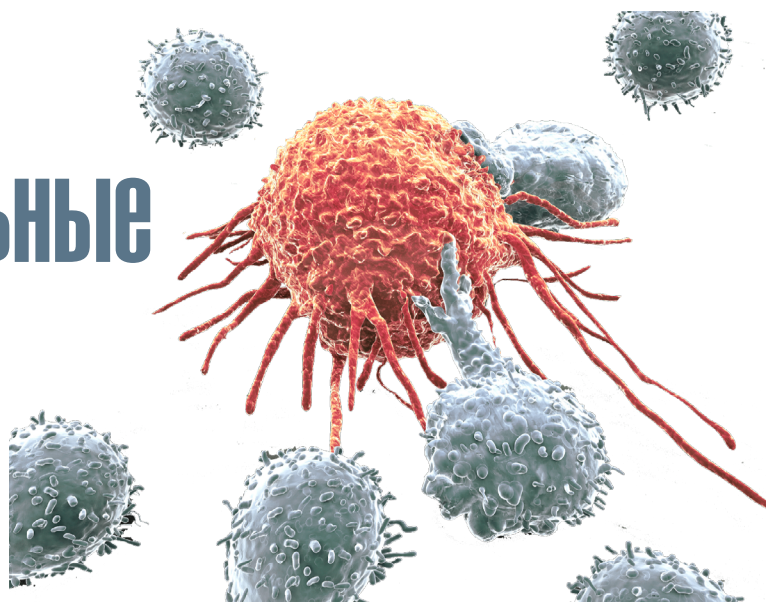
- WHO European health information at your fingertips // https://gateway.euro.who.int/en/indicators/hfa_290-1960-sdr-acute-respiratory-infections-pneumonia-and-influenza-under-5-years-per-100-000/.
- Dysregulation in erythrocyte dynamics caused by SARS-CoV-2 infection: possible role in shuffling the homeostatic puzzle during COVID-19 / M.M. Mendonça [et al.] // Rev Bras Hematol Hemoter. 2022. Vol. 44, №2. P. 235–245.
- Гематология // Б.В. Афанасьев [и др.]. – СПб., 2019.
- Шейко Л.М. Практикум по медицинской и биологической физике. Раздел «Биологическая физика»: Методы биофизических исследований // Л.М. Шейко, С.Б. Бокунь. – Минск, 2011.
- Erythrocytes morphology and hemorheology in severe bacterial infection / A.F. Silva [et al.] // Mem Inst Oswaldo Cruz. 2019. Vol. 114. P. e190326.
- АСМ-диагностика патологии эритроцитов на основе физико-механического образа клеточной поверхности / М.Н. Стародубцева [и др.] // Проблемы здоровья и экологии. 2015. №2 (44). С. 99–104.
- Макарова Е.С. Изучение взаимодействия вируса гриппа с единичными клетками эпителия и эритроцитами / Е.С. Макарова, И.В. Яминский // Медицина и высокие технологии. 2016. №1. С. 39–55.
- Cavezzi A. COVID-19: hemoglobin, iron, and hypoxia beyond inflammation. A narrative review / A. Cavezzi, E. Troiani, S. Corrao // Clin Pract. 2020. Vol. 10, №2. P. 1271.
- Filterability of Erythrocytes in Patients with COVID-19 / D.S. Prudinnik [et al.] // Biomolecules. 2022. Vol. 12, №6. P. 782.
- Are mushroom-shaped erythrocytes an indicator of COVID-19? / D. Gérard [et al.] // British Journal of Haematology. 2021. Vol. 192, №2. P. 230–230.
- Soma P. Pathophysiological changes in erythrocytes contributing to complications of inflammation and coagulation in COVID-19 / P. Soma, J. Bester // Front Physiol. 2022. Vol. 13. P. 899629.
- Eryptosis in health and disease: A paradigm shift towards understanding the (patho) physiological implications of programmed cell death of erythrocytes / S.M. Qadri [и др.] // Blood Rev. 2017. Vol. 31, №6. С. 349–361.
- Применение атомно-силового микроскопа в медико-биологических исследованиях: Приложение к руководству пользователя атомно-силового микроскопа NT-206 / М.Н. Стародубцева [и др.]. – Гомель, 2013.

Summary. The change in the mechanical properties of the red blood cell membrane was analyzed in patients with ongoing or past COVID-19 infection compared to the control during the observation period from 2021 to 2023. Significant differences in the friction force ($p < 0,001$) and roughness ($p < 0,0032$) of the red blood cell membrane were found in patients with acute/past coronavirus infection compared to the control. It was noted that the maximum changes in the properties of the red blood cell membrane are observed during the period of the highest incidence of COVID-19. The friction force (FI) and roughness (Rq) of the red blood cell membrane can be used to assess the severity of past coronavirus infection, and in the future, other diseases.

Keywords: red blood cells, COVID-19, atomic force microscopy, mechanical properties, friction force, roughness, architectonics.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2024-01-74-77>

Дендримерные многофункциональные комплексы для генетической терапии рака



Алеся Становая,
научный сотрудник
лаборатории
нанобиотехнологий
Института биофизики
и клеточной инженерии
НАН Беларуси, аспирант;
alesiastanovaya@gmail.com

Мария Терехова,
научный сотрудник
лаборатории
нанобиотехнологий
Института биофизики и
клеточной инженерии
НАН Беларуси;
maryja.cierachava@yandex.by

Виктор Абашкин,
завлабораторией
нанобиотехнологий
Института биофизики
и клеточной инженерии
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук

Егор Улащик,
научный сотрудник
лаборатории химии
биокопьюгатов
Института физико-
органической химии
НАН Беларуси

Дмитрий Щербин,
завотделом медицинских
биотехнологий Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН Беларуси,
доктор биологических
наук, профессор

Аннотация. В статье представлен обзор синтезированных к настоящему времени наночастиц, перспективных для применения в терапии онкозаболеваний в качестве носителей лекарств и нуклеиновых кислот, а также для снижения токсичности противоопухолевых препаратов. Затрагиваются вопросы взаимодействия различных наноматериалов с малыми противораковыми РНК. Приведены данные использования некоторых нетоксичных и эффективных многофункциональных наноконъюгатов в генной терапии для лечения и диагностики онкологических заболеваний.

Ключевые слова: наноматериалы, дендримеры, миРНК, наноконъюгаты, наноносители, нанокомпозиты, рак, фототермическая терапия, фотодинамическая терапия, генная терапия.

Для цитирования: Становая А., Терехова М., Абашкин В., Улащик Е., Щербин Д. Дендримерные многофункциональные комплексы для генетической терапии рака // Наука и инновации. 2025. №1. С. 78–83.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-1-78-83>

Поиск эффективных способов лечения онкозаболеваний – одна из важнейших задач современной медицины. Большое внимание уделяется развитию генной терапии, в том числе такому подходу, как доставка противораковых малых РНК (малые интерферирующие РНК, микроРНК) в опухолевые клетки. Терапевтическое действие в данном случае осуществляется посредством метода РНК-интерференции,

подразумевающего использование систем доставки ввиду малой устойчивости молекул РНК в окружающей среде. Нанотехнологии и связанные с ними науки объединяют такие классические дисциплины, как химия, биология, физика и молекулярное моделирование, и новые подходы к созданию инновационных наномедицинских препаратов и лекарств, получению действенных и безопасных наноматериалов для доставки терапевтических агентов, в том числе малых РНК, в раковые клетки.

В данной статье представлен обзор мировых и анализ отечественных результатов по изучению взаимодействий между различными наночастицами (липидными, дендронизированными золотыми, амфифильными дендронами) и малыми противораковыми РНК для разработки эффективных и не вредных здоровью носителей. В этом отношении дендримеры и другие наночастицы неиммунногенны, обладают самой высокой результативностью трансфекции среди других невирусных систем и не имеют недостатков, характерных для вирусных систем. Выявление их токсичности как *in vitro*, так и *in vivo* является важным моментом, который пристально изучался. Также в данной статье обсуждаются некоторые нетоксичные и эффективные многофункциональные наноконъюгаты для доставки генов.

Комплексные наноносители, модифицированные дендронами, ПЭГ и фолатами для эффективной доставки противораковых миРНК

В качестве невирусных векторов для нескольких клеточных линий, включая раковые и стволовые клетки, М. San Anselmo с соавт. [1] предложили серию дендронизированных гиперразветвленных полимеров с концевыми аминогруппами разных поколений на основе диметилпропионовой (bis-MPA) или бис(глицилоксиметил)пропионовой (bis-GMPA) кислот. Исследователи обнаружили, что дендронизация повышает эффективность наноносителей при применении к линии мезенхимальных клеток. В свою очередь Y. Sun и др. [2] создали нанокристаллы целлюлозы, модифицированные ПАМАМ-дендримерами, для доставки противоопухолевой плазмидной ДНК или миРНК в раковые клетки. Наноконкомплекс включал систему, состоящую из проапоптотического гена и предшественника лекарственного средства (цитозиндезаминаза/5-фторцитозин – CD/5-FC) и оказывал противораковое действие *in vivo*. Механизм РНК-интерференции для лечения онкологических заболеваний также применили Y. Wu и др. [3]. В качестве носителей миРНК в данном случае выступали дендримеры пептидов, состоящие из остатков глутаминовой кислоты и лизина. В результате экспрессия генов hTERT и TRF2 и концентрация соответствующих белков в опухолевых клетках линии A549/PTX снижались. Подавление регуляции генов hTERT и TRF2 наблюдалось *in vivo* у мышей, что приво-

дило к ингибированию роста опухолевых тканей. В качестве наносистемы для доставки миРНК был синтезирован и полимер катехол-ПЭГ, покрытый на поверхности дендримерами ПАМАМ 5-й генерации, модифицированными фенилборной кислотой [4]. Наноконкомплекс *in vivo* на мышах были стабильны в присутствии сыворотки и обладали способностью подавлять экспрессию генов в опухолевых клетках.

Наноносители на основе липидов, амфифильных дендримеров и дендронов для доставки и визуализации миРНК

Амфифильный дендример, несущий гидрофобную алкильную цепь и гидрофильные ПАМАМ-дендроны, объединил преимущества липидных и дендримерных векторов для доставки миРНК HSP 27, а также индуцировал сильное подавление экспрессии генов и противоопухолевую активность *in vitro* и *in vivo* на модели рака предстательной железы. Этот вектор имел гидрофобную алкильную цепь и гидрофильный ПАМАМ-дендрон с 7 третичными аминами внутри и 8 первичными аминами на концах. Важно, что таким образом был предложен новый способ терапии кастрационно-резистентного рака предстательной железы, для которого до сих пор не существует эффективного лечения [5]. М. Ebrahimian и др. [6] разработали сложный наноконкомплекс, состоящий из ПАМАМ-дендримера ТАТ-пептида и гиалуроновой кислоты, модифицированный липосомами с усиленным зеленым флуоресцентным белком для обеспечения визуализации раковых клеток. Анализ применения данного наноконкомплекса на мышах со злокачественными новообразованиями C26 (кишечного тракта неуточненной локализации) показал отсутствие значительной токсичности, эффективное биораспределение и высокую экспрессию гена зеленого флуоресцентного белка в опухолевых тканях. L. Farbiak и др. [7] использовали липидные наночастицы на основе дендримеров для создания системы CRISPR/CAS для коррекции гомологически направленной репарации (homology-directed repair, HDR) *in vivo*. Было обнаружено, что наноконкомплекс редактирует >91% всех клеток с эффективностью HDR 56% *in vitro* и >20% *in vivo* в ксенотрансплантатных опухолях. E. Yuba и соавт. [8] для транспорта противораковой миРНК в клетки синтезировали дендронсодержащую липидную наносистему, модифицированную

сверхразветвленным лауриловым эфиром полиглицидола. Такой наноконкомплекс обладал высокой эффективностью трансфекции в отношении раковых клеток. L. Ding и др. [9] исследовали амфифильные дендримеры с радионуклидами In^{3+} для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, которая генерирует высококонтрастный профиль биораспределения, сопровождающийся резко сниженным поглощением в печени, и приводит к значительному улучшению визуализации опухолей. Группой исследователей был предложен оригинальный подход к использованию РНК в качестве строительного блока для построения дендримеров [10]. Были созданы дендримеры на основе РНК с поколениями от G1 до G4 и включенным противораковым препаратом паклитакселом. В результате комплексы продуктивно ингибировали рост раковых клеток. Инкапсуляция клеточно-связывающих лигандов и гидрофобных препаратов внутри дендримера значительно снижает эффективность клеточного и белкового связывания соответственно и демонстрирует экранирующий эффект РНК-дендримеров.

Магнитные наноконкомплексы и мультинаночастичные гибриды в лечении рака

Для создания сложной системы для зондирования опухолей на основе комплексов с магнитными наночастицами, модифицированными стрептавидином, X. Meng и др. [11] конъюгировали фолиевую кислоту с поверхностью ПАМAM-дендримеров, модифици-

рованных ПЭГ и биотином. Была показана высокая эффективность визуализации на клеточной линии SKOV3 (аденокарцинома яичников). D. Li и др. [12] синтезировали многофункциональные наногриды желтых флуоресцентных углеродных точек (у-CD) с дендримерами для ультразвуковой флуоресцентной визуализации и химиотерапии опухолей. Комплексы были нагружены противораковым препаратом доксорубицином и эффективно связывали лекарственные средства, отличались значительной интенсивностью флуоресценции, индуцированной у-CD, и высокой скоростью высвобождения доксорубицина в опухолевых тканях. Кроме того, действие наноконкомплекс может быть усилено за счет эффекта сонопорации. R.C. Соорер с соавт. [13] разработали синтетический пептид ядерной локализации, конъюгированный с ПАМAM-дендримером 4-й генерации, в качестве системы для доставки плазмиды, кодирующей зеленый флуоресцентный белок, в раковые клетки NIH3T3 (эмбриональные фибробласты мыши).

Мезопористые наноносители в терапии рака

Для химиотерапевтического, фотодинамического и фототермического лечения рака H.W. Choi с соавт. [14] были синтезированы мезопористые кремнеземорганические наноконкомпозиты, нагруженные глутатионом в качестве антиоксиданта, гиалуронидазой в качестве фермента и доксорубицином. Были показаны их усиленное высвобождение и высокая терапевтическая эффективность

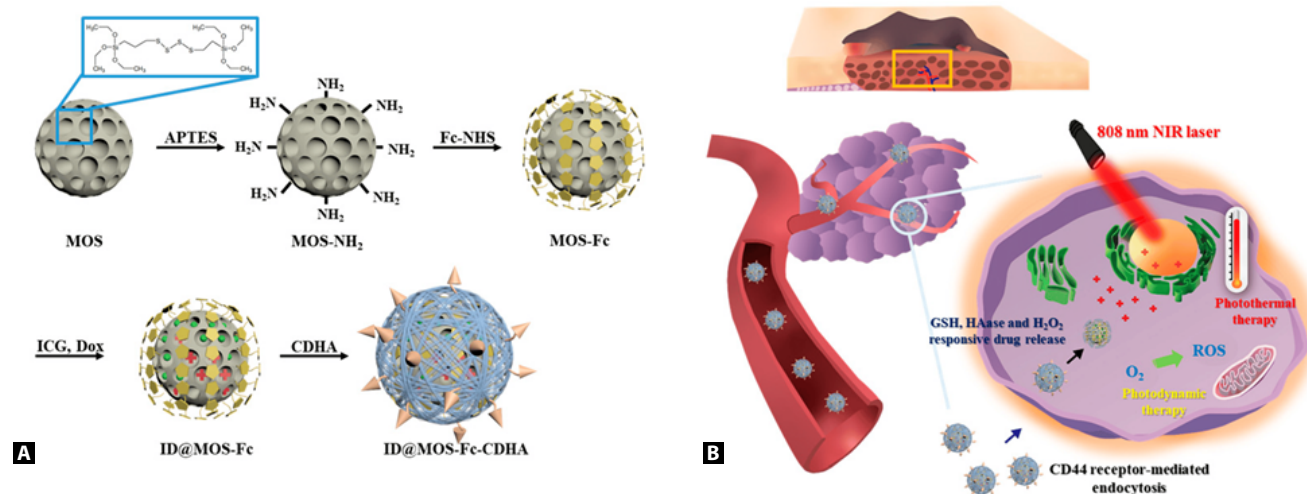


Рис. 1. А – процесс синтеза мультитриггерного наноконкомпозита, нацеленного на меланому; В – высвобождение лекарственного вещества, реагирующего на глутатион, гиалуронидазу и H_2O_2 [14]

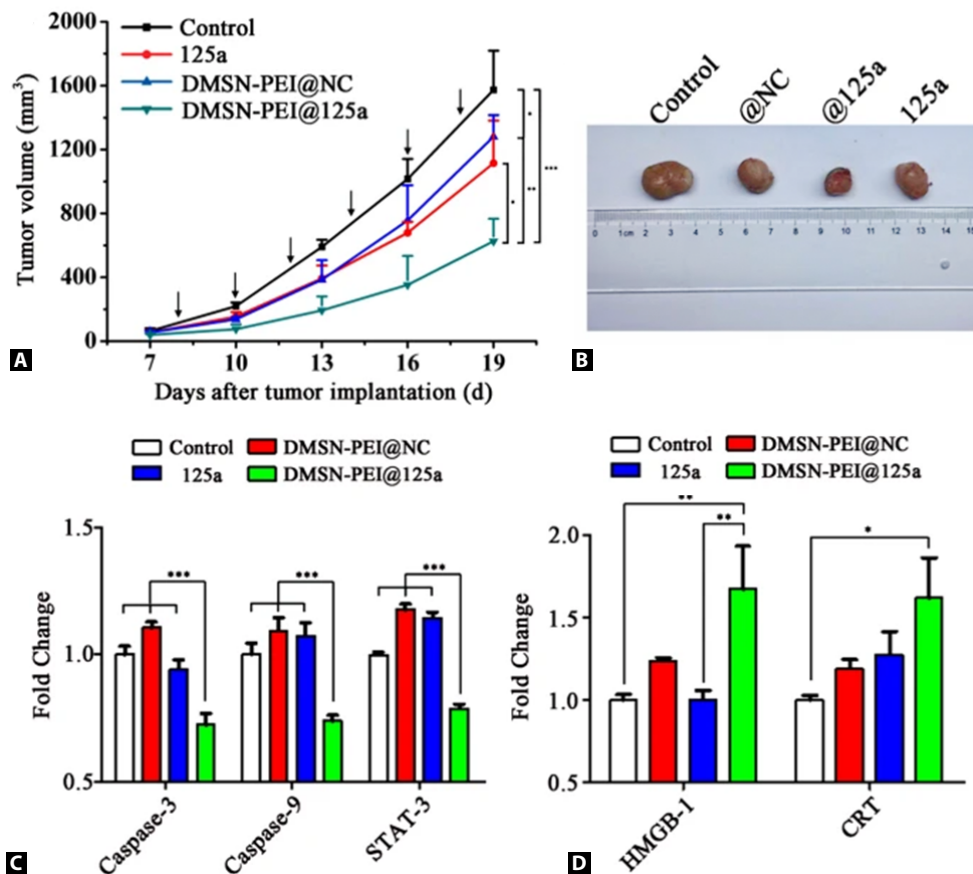


Рис. 2. Противоопухолевый эффект DMSN-PEI@125a *in vivo*. А – графики роста опухоли при различных методах лечения; В – фотоизображения типичных опухолей на 20-й день после имплантации опухоли; С, D – уровни экспрессии мРНК генов, связанных с апоптозом (caspase-3, caspase-9, STAT-3), и молекулярных паттернов, связанных с повреждением в опухолях [17]

при лазерном облучении на клетках меланомы со сверхэкспрессией CD44 (рис. 1).

J.G. Croissant и др. [15] создали золото-мезопористые кремнийорганические наноконпозиты для двухфотонной фотодинамической терапии раковых клеток, которые индуцировали гибель 63% клеток рака молочной железы (PMЖ) линии MCF-7. Для лечения этой патологии W. Zhan и др. [16] синтезировали биоразлагаемые наноконпозиты мезопористого кремнезема с доксорубицином и противораковым препаратом IR780. Результаты *in vivo* показали, что они накапливаются преимущественно в опухолевых тканях и проявляют усиленное противоопухолевое действие на моделях мышей с PMЖ. L. Yang и др. [17] разработали модифицированные полиэтиленгликолем (PEG) дендритные мезопористые наноконпозиты кремнезема (DMSN), модифицированные микроРНК-125a (DMSN-PEI@125a), для индукции иммунного ответа и реверсии иммуносупрессии в раковых клетках. Данные *in vitro* показали, что наноконпозиты индуцировали реполяризацию опухолеассоциированных макрофагов до неракового типа M1 и способствовали иммуногенной гибели клеток линии клеток рака шейки матки TC-1. При

исследованиях *in vivo* на мышах отмечалось ингибирование роста опухоли TC-1 (рис. 2).

Также были созданы магнитные мезопористые наночастицы кремнезема, нагруженные фотосенсибилизатором хлорином е6 (Ce6) и доксорубицином, для фотодинамической терапии рака [18]. Исследования *in vivo* на мышах Balb/c с опухолями показали синергетический противоопухолевый эффект как е6, так и доксорубицина. Другая группа исследователей синтезировала и оценила золотые нанобипирамидально-мезопористые наноконпозиты диоксида кремния, загруженные агентом фотодинамической терапии IR780, производящие нанозимные носители с фотоусиленной пероксидазной активностью [19]. Они стимулировали высокий уровень продукции активных форм кислорода, вызывая противоопухолевый иммунный ответ на разрушение опухолевых тканей. Были получены и наночастицы мезопористого кремнезема, нагруженные доксорубицином и выбранным фитоэстрогеном таншиноном ПА для лечения рака молочной железы [20]. Данные *in vivo* показали хорошее таргетное и противоопухолевое действие на моделях мышей с PMЖ, а также низкую токсичность в здоровых органах.

Применение наноконплексов для противоопухолевой иммунотерапии и фототермической терапии

Комплексы дендримеров с лекарственным препаратом, содержащие тойокамицин, созданные G. Yunqi и соавт. [21], вызывали апоптоз опухолевых клеток и их иммуногенную гибель за счет как опосредованного тойокамицином усиления стресса эндоплазматического ретикулума, так и дисфункции митохондрий, опосредованной содержащими медь (II) наноконплексами. Кроме того, последние повлияли на иммунотерапию опухолей с использованием антитела к лиганду запрограммированной клеточной гибели. S. Shen и др. [22] синтезировали комплексную нановакцину на основе фенилбороновой кислоты в комплексе с ПАМAM-дендримером 5-й генерации, наночастицами сульфида меди и циклическим ГМФ-АМФ в качестве иммунного адъюванта для фототермической противораковой терапии.

Разработка обладала хорошим поглощением ближнего инфракрасного диапазона и адсорбцией белков, поэтому ее можно было использовать для фототермической терапии первичных опухолей меланомы. Многофункциональный белок иммунной системы лактоферрин может быть эффективен в качестве лиганда, воздействующего на опухоли. Также были получены золотые наноклетки, конъюгированные с диаминомасляным поли(пропилениминовым) дендримером [23].

Их оценка на клетках рака простаты РС-3 свидетельствует о высокой результативности трансфекции лактоферриновым наноконплексом плазмидной ДНК в клетки рака предстательной железы.

Фотодинамическая терапия с использованием наноконплексов

Фотодинамическая терапия – метод лечения злокачественных новообразований, основанный на использовании специального препарата – фотосенсибилизатора и лазеров, генерирующих излучение с определенной длиной волны. L. Ye и др. [24] разработали модифицированные дендримерами золотые наностержни, модифицированные пептидом GX1, в качестве наноносителя гена FAM172A для лечения

рака толстой кишки. Этот наноконплекс доставлял FAM172A в раковые клетки с высокой эффективностью проникновения в них, а при лазерном облучении его действие значительно усиливалось, что было подтверждено *in vivo* на модели мышей с раком толстой кишки.

Исследования в Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси

Совместно с Университетом Донхуа (Китай) нами изучена способность мультифункциональных дендримерных наноконплексов обеспечивать МРТ-изображение опухоли и одновременно снижать закисление ее микроокружения с помощью снижения концентрации лактата. Указанные наноконплексы способствовали существенному увеличению продолжительности жизни у мышей с глиомой по сравнению с контролем [25, 26].

Совместно с Казанским федеральным университетом (РФ) нами установлена способность наноконплексов на основе дендримеров и тиокаликс[4]аренов обеспечивать доставку антираковых миРНК в опухолевые клетки. Запланированы исследования их эффективности на животных [27].

Выводы

Наноматериалы, применяемые для транспорта лекарственных веществ при лечении рака, позволяют улучшить биодоступность и уменьшить выраженность побочных эффектов используемых препаратов за счет нацеливания их в конкретные ткани и органы.

Наночастицы в генной терапии онкозаболеваний способны играть ключевую роль, выполняя функцию векторов для доставки малых некодируемых РНК в опухолевые клетки. Однако для эффективной адресной доставки малых РНК необходимо, чтобы вектор соответствовал ряду требований, в том числе был нетоксичным и избирательно проникал в опухолевые ткани.

Наноматериалы уже нашли применение в фототермической терапии, которая заключается в избирательном нагреве живых тканей инфракрасным излучением. Его воздействие на раковые клетки, в которых присутствуют наночастицы, приводит к тому, что опухолевые ткани будут нагреваться сильнее, чем здоровые, что позволяет снизить негативное влияние на них. ■

■ **Summary.** Every year there is a rapid increase in cancer, which is one of the main causes of death. Methods used to treat cancer often do not produce the desired results and can cause various side effects. Therefore, to effectively combat cancer, it is necessary to find new solutions. The use of nanotechnology opens up new opportunities in the diagnosis and treatment of human malignant tumors. Nanoparticles used in antitumor therapy can act as carriers of drugs and nucleic acids, and also reduce the toxicity of anticancer drugs. This review is devoted to the analysis of the interaction of various nanomaterials with small anticancer RNAs. Data are presented on the use of some non-toxic and effective multifunctional nanoconjugates in gene therapy for the treatment and diagnosis of cancer.

■ **Keywords:** nanomaterials, dendrimers, siRNA, nanoconjugates, nanocarriers, nanocomposites, cancer, photothermal therapy, photodynamic therapy, gene therapy.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-01-78-83>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dendron-functionalised hyperbranched bis-MPA polyesters as efficient non-viral vectors for gene therapy in different cell line / M. San Anselmo [et al.] // *Biomater Sci.* 2022. May 17. №10. P. 2706–2719. Doi: 10.1039/d2bm00365a.
2. PAMAM-Functionalized Cellulose Nanocrystals with Needle-Like Morphology for Effective Cancer Treatment / Y. Sun [et al.] // *Nanomaterials (Basel)*. 2021. №11 (7). P. 1640. Doi: 10.3390/nano11071640.
3. A tumor-activatable peptide supramolecular nanoplatfor for the delivery of dual-gene targeted siRNAs for drug-resistant cancer treatment / Y. Wu [et al.] // *Nanoscale*. 2021. №13 (9). P. 4887–4898. Doi: 10.1039/d0nr08487e.
4. Nanoassemblies with Effective Serum Tolerance Capability Achieving Robust Gene Silencing Efficacy for Breast Cancer Gene Therapy / H. Liu [et al.] // *Adv Mater.* 2021. №33 (7). P. e2003523. Doi: 10.1002/adma.202003523.
5. An amphiphilic dendrimer for effective delivery of small interfering RNA and gene silencing *in vitro* and *in vivo* / T. Yu [et al.] // *Angew Chem Int Ed Engl.* 2012. №51. P. 8478–8484.
6. Development of targeted gene delivery system based on liposome and PAMAM dendrimer functionalized with hyaluronic acid and TAT peptide: *In vitro* and *in vivo* studies / M. Ebrahimian [et al.] // *Biotechnol Prog.* 2022. №38(5) P. e3278. Doi: 10.1002/btpr.3278.
7. All-In-One Dendrimer-Based Lipid Nanoparticles Enable Precise HDR-Mediated Gene Editing *In Vivo* / L. Farbiak [et al.] // *Adv Mater.* 2021. №33(30). P. e2006619. Doi: 10.1002/adma.202006619.
8. Yuba E. Hydrophilic Hyperbranched Polymer-Coated siRNA/Polyamidoamine Dendron-Bearing Lipid Complexes Preparation for High Colloidal Stability and Efficient RNAi / E. Yuba, T. Korenaga, A. Harada // *Bioconjug Chem.* 2021. №32 (3). P. 563–571. Doi: 10.1021/acs.bioconjchem.1c00035.
9. Surface Charge of Supramolecular Nanosystems for *In Vivo* Biodistribution: A MicroSPECT/CT Imaging Study / L. Ding [et al.] // *Small.* 2020. №16 (37). P. e2003290. Doi: 10.1002/smll.202003290.
10. Li X. Self-assembly of four generations of RNA dendrimers for drug shielding with controllable layer-by-layer release // X. Li, M. Vieweger, P. Guo // *Nanoscale*. 2020. №12 (31). P. 16514–16525. Doi: 10.1039/d0nr02614j.
11. Folic acid-functionalized magnetic nanoprobe via a PAMAM dendrimer/SA-biotin mediated cascade-amplifying system for the efficient enrichment of circulating tumor cells / X. Meng [et al.] // *Biomater Sci.* 2020. №8 (22). P. 6395–6403. Doi: 10.1039/d0bm01212b.
12. Ultrasound-enhanced fluorescence imaging and chemotherapy of multidrug-resistant tumors using multifunctional dendrimer/carbon dot nanohybrids / D. Li [et al.] // *Bioact Mater.* 2020. №6 (3). P. 729–739. Doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.09.015.
13. Cooper R.C. Duplex of Polyamidoamine Dendrimer/Custom-Designed Nuclear-Localization Sequence Peptide for Enhanced Gene Delivery / R.C. Cooper, H. Yang // *Bioelectricity*. 2020. №2 (2). P. 150–157. Doi: 10.1089/bioe.2020.0009.
14. Antioxidant, Enzyme, and H2O2-Triggered Melanoma Targeted Mesoporous Organo-Silica Nanocomposites for Synergistic Cancer Therapy / H.W. Choi [et al.] // *Antioxidants (Basel)*. 2022. №11. P. 2137. Doi: 10.3390/antiox11112137.
15. Multifunctional Gold-Mesoporous Silica Nanocomposites for Enhanced Two-Photon Imaging and Therapy of Cancer Cells / J.G. Croissant [et al.] // *Front Mol Biosci.* 2016. №3. P. 1. Doi: 10.3389/fmolb.2016.00001.
16. Hyaluronic acid functionalized biodegradable mesoporous silica nanocomposites for efficient photothermal and chemotherapy in breast cancer / W. Zhan [et al.] // *Nanotechnology*. 2021. №32 (16). P. 165703. Doi: 10.1088/1361-6528/abda74.
17. Multifunctional silica nanocomposites prime tumoricidal immunity for efficient cancer immunotherapy / L. Yang [et al.] // *J Nanobiotechnology*. 2021. №19 (1). P. 328. Doi: 10.1186/s12951-021-01073-2.
18. Chemo-photodynamic combined gene therapy and dual-modal cancer imaging achieved by pH-responsive alginate/chitosan multilayer-modified magnetic mesoporous silica nanocomposites / H. Yang [et al.] // *Biomater Sci.* 2017. №5(5). P. 1001–1013. Doi: 10.1039/c7bm00043j.
19. Confining Prepared Ultrasmall Nanozymes Loading ATO for Lung Cancer Catalytic Therapy/Immunotherapy / A. Zhang [et al.] // *Adv Mater.* 2023. №35 (45). P. e2303722. Doi: 10.1002/adma.202303722.
20. Phytoestrogen-derived multifunctional ligands for targeted therapy of breast cancer / Y. Zhang [et al.] // *Asian J Pharm Sci.* 2023. №18(4). P. 100827. Doi: 10.1016/j.ajps.2023.100827.
21. Chemotherapy Mediated by Biomimetic Polymeric Nanoparticles Potentiates Enhanced Tumor Immunotherapy via Amplification of Endoplasmic Reticulum Stress and Mitochondrial Dysfunction / G. Yunqi [et al.] // *Adv. Mater.* 2022. 34 P. 2206861.
22. Photothermal-triggered dendrimer nanovaccines boost systemic antitumor immunity / S. Shen [et al.] // *J Control Release*. 2023. №355 P. 171–183. Doi: 10.1016/j.jconrel.2023.01.076.
23. Lactoferrin- and Dendrimer-Bearing Gold Nanocages for Stimulus-Free DNA Delivery to Prostate Cancer Cells / J. Almowalad [et al.] // *Int J Nanomedicine*. 2022. №17. P. 1409–1421. Doi: 10.2147/IJN.S347574.
24. Dendrimer-modified gold nanorods as a platform for combinational gene therapy and photothermal therapy of tumors / L. Ye [et al.] // *J Exp Clin Cancer Res.* 2021. №40(1). P. 303. Doi: 10.1186/s13046-021-02105-3.
25. Dendrimer-Cu(II) Complexes Mediate Enzyme Delivery for Lactate Depletion-Enhanced Combinational Treatment of Leukemia and Glioma / A. Li [et al.] // *Adv. Funct. Mater.* 2024. 24 Nov. Doi: 10.1002/adfm.202420825.
26. Dendrimer/Copper(II) Complex-Mediated siRNA Delivery Disrupts Lactate Metabolism to Reprogram Local Immune Microenvironment Against Tumor Growth and Metastasis / G. Yue [et al.] // *Biomacromolecules*. 2024. №21. Doi: 10.1021/acs.biomac.4c01249.
27. Non-viral systems based on PAMAM-calix-dendrimers for regulatory siRNA delivery into cancer cells / P. Padnya [et al.] // *Int. J Mol. Sci.* 2024. №25 (23). P. 12614. Doi:10.3390/ijms252312614.

Статья поступила в редакцию
24.06.2024 г.

Sergey Gaponenko, Ekaterina Zharnikova

High science as the basis of high technologies4

The authors discuss the history, achievements and discoveries in the field of physical science, and consider the new research areas of the B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus.

Sergey Kilin

From quantum optics to quantum information science 11

The author describes the formation and development process of two important areas of modern science, those of quantum optics and quantum information science, which arose at the junction of quantum mechanics, optics, information theory, discrete mathematics and laser physics.

Yuri Kurochkin

Research in the field of fundamental interactions 18

The author gives a brief review of the origin, formation and current state of research in the field of fundamental interactions at the Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus.

Evgeny Lutsenko

Gallium nitride opto-, micro- and microwave electronics 22

The article considers the nitride technologies development history in the Republic of Belarus, as well as the formation and main achievements of domestic epitaxy of III-nitride nanoheterostructures.

Maxim Bogdanovich, Gennady Ryabtsev, Andrey Ryabtsev, Alexander Grigoriev

High-tech solid-state lasers with diode pumping 29

There are presented the approaches to the design and creation of modern laser emitters with diode pumping and modeling of their operating characteristics.

Zhanna Komarova

Scientific developments in action 33

Successful innovators, former researchers of the B.I. Stepanov Institute of Physics, talk about their experience in the R&D commercialization and the science and business interaction model.

Larisa Skripko

Evolutionary analysis of the economic aspects of quality: foreign experience 39

The article reviews the foreign research on the economic aspects of quality evolution from the beginning of the last century to the latest version of the ISO 10014 standard adopted in 2021.

Elena Morgunova

Modern quality techniques 45

The article considers the national quality infrastructure formation, the promotion of modern management technologies and their opportunities, as well as the successes of Belarusian enterprises in this area.

Tatsiana Sychova

Automobile industry of the Republic of Belarus at the modern stage 51

The author examines the history and succession in the domestic automobile industry, analyses the main problems of the industry, methods for solving them, scientific and technical discoveries and further economic prospects.

Tatyana Vertinskaya

Increasing the export of halal products in Belarus 59

There are given the reasons for the sector of halal production and export development in Belarus, and identified its potential importers.

Pavel Shvedko, Katsiaryna Tauhen

The Belarusian exporters entry into the markets of Belize and Guatemala 64

The article analyses the foreign trade development prospects of the Republic of Belarus with Belize and the Republic of Guatemala.

Nikolay Smekhovich

History of Rus in historiography and history of the 9th-10th centuries 68

The first historical form of Belarusian statehood was studied based on the most ancient chronicles. It was proven that in the 9th century Polotsk was the political center of the Eastern Slavs.

Alexander Shaforost, Evgeny Voropaev

Changes in the architecture of the erythrocyte membrane in patients with COVID-19 and after it 74

Changes in the mechanical properties of the erythrocyte membrane in patients with ongoing or past COVID-19 infection were analyzed. The identified significant differences in the indicators can be used to assess the severity of the disease.

Alesya Stanovaya, Maria Terekhova, Viktor Abashkin, Egor Ulashchik, Dmitry Shcherbin

Dendrimer multifunctional complexes for genetic therapy of cancer 78

A review of nanoparticles promising for use in the treatment of oncological diseases as carriers of drugs and nucleic acids is given, as well as data on the use of multifunctional nanoconjugates in gene therapy and cancer diagnostics.



Яркие представители дикой природы Беларуси / А. И. Чайковский [и др.] ; науч. ред. А. И. Чайковский, Т. В. Волкова ; фото: П. А. Гештовт [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2024. – 127 с. : ил.

ISBN 978-985-08-3229-0.

В книге собраны данные о наиболее известных видах млекопитающих и птиц, обитающих на территории Республики Беларусь, а также растений и грибов, являющихся самыми яркими представителями флоры нашей страны. Каждый очерк сопровождается цветными иллюстрациями, приводятся как наиболее важные отличительные характеристики вида, так и интересные факты о нем.

Для широкого круга читателей.



Беларуская мова ад А да Я / І. Л. Капылоў, А. М. Лапцёнак, Н. В. Паляшчук ; аўтар ідэі праекта У. Р. Гусакоў. – Мінск : Беларуская навука, 2024. – 167 с. : іл.

ISBN 978-985-08-3228-3.

У кнізе ў папулярнай форме расказваецца пра галоўныя падзеі ў гісторыі развіцця нацыянальнай мовы, яе адметныя рысы, знаковыя пісьмовыя помнікі і сучасныя слоўніковыя выданні. Прыводзяцца цікавыя моўныя факты, выказванні паэтаў і пісьменнікаў пра роднае слова, самабытная лексіка, прыказкі, якія адлюстроўваюць каларыт беларускай мовы. Інфармацыя суправаджаецца багатым ілюстрацыйным матэрыялам.

Выданне адрасавана ўсім, хто цікавіцца мінулым і сучасным беларускай мовы і жадае далучыцца да яе скарбаў.



Кириллические издания XVII века из коллекции Центральной научной библиотеки НАН Беларуси. Каталог. Выпуск 5. 1648–1654 гг. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. науч. б-ка им. Якуба Коласа ; сост.: Е. И. Титовец (отв. сост.), О. А. Губанова ; редкол.: С. С. Юрецкий (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2024. – 421 с. : ил.

ISBN 978-985-08-3212-2.

Каталог содержит научное описание 28 экземпляров 20 кириллических изданий 1648–1654 гг., вышедших из российских, белорусских и украинских типографий, знакомит с одной из наиболее значимых коллекций ЦНБ НАН Беларуси.

Издание предназначено для работников библиотек и музеев, книговедов, историков, филологов, а также всех, кто интересуется книжным наследием Беларуси.

РУП «ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «БЕЛОРУССКАЯ НАУКА»

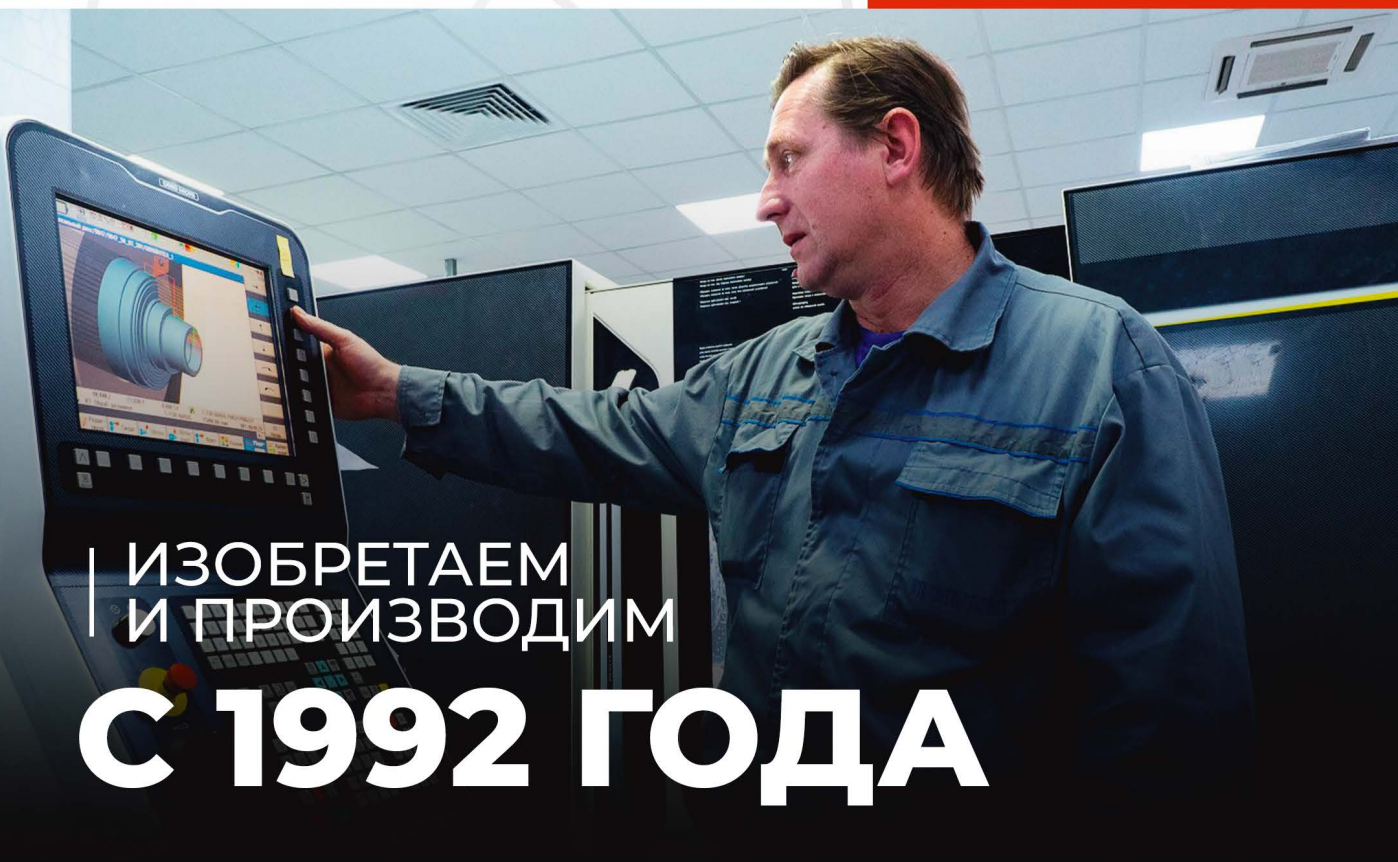
предлагает литературу

- по медицине
- искусствоведению
- литературоведению
- языкознанию
- этнографии
- фольклору
- естественным наукам

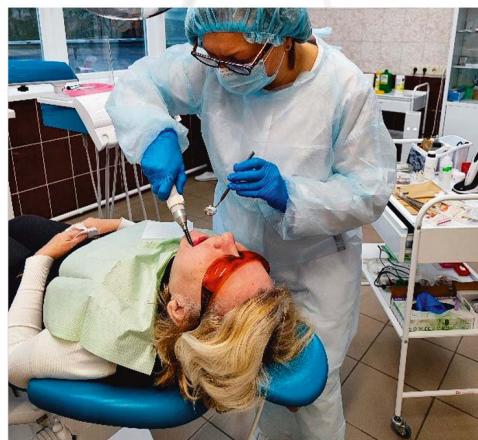
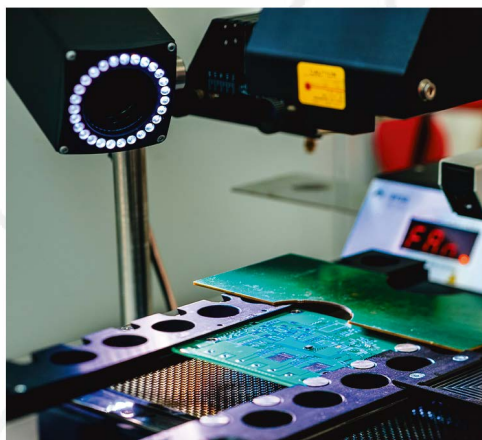
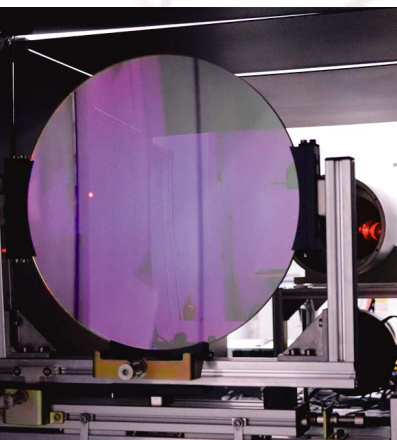
принимает заказы на печать

- бланки формата А₅, А₄, А₃
 - грамоты ● дипломы
 - канцелярские книги
 - блокноты ● блоки для записей
 - календари ● буклеты
 - проспекты (с разработкой дизайна)
- тираж от 1 экземпляра*

Получить информацию об изданиях и оформить заказ можно по телефонам: +375 (17) 396-83-27, 370-64-17, 320-33-74. Адрес: ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск, Республика Беларусь; e-mail: belnauka@mail.ru; сайт: www.belnauka.by



ИЗОБРЕТАЕМ
И ПРОИЗВОДИМ
С 1992 ГОДА



Научно-технический центр «ЛЭМТ» БелОМО специализируется на научных исследованиях, разработке и производстве наукоемких высокотехнологичных лазерно-оптических, оптико-механических и оптико-электронных приборов, узлов и лазерных систем для промышленности и медицины.

Среди конструкторских разработок нашего предприятия — также лабораторное оборудование, оптика и оптические покрытия.

ПРОВЕРЕНЫ ВРЕМЕНЕМ,
СТРЕМИМСЯ К СОВЕРШЕНСТВУ

Унитарное предприятие «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО»
Республика Беларусь, г. Минск, 220114, ул. Макаенка, 23, корп. 1

+375 (17) 311-65-65

+375 (17) 311-65-72

office@lemt.by