

# Лаборатория ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

Фотоника, включающая лазерную и оптоэлектронную технику, играет все возрастающую роль в производственных процессах, науке, здравоохранении, экологии, обороне, а также при передаче и обработке информации, в том числе измерительной, с целью принятия управленческих решений и корректирующих действий. Именно с этой областью науки связывают возможность решения многих стоящих перед человечеством проблем в сфере энергетики, здравоохранения, охраны окружающей среды, влияния изменения климата, информационного обеспечения, промышленного производства, безопасности. По своему значению для технической инфраструктуры современного мира фотоника уступает только энергетике. Лазерная техника, оптоволоконные системы связи и передачи информации с основанными на них системами телекоммуникации, а также информационные технологии и нанофотоника составляют ядро пятого и шестого технологических укладов.



**Вячеслав Длугунович,**  
заведующий отраслевой  
лабораторией испытаний лазерной  
и оптоэлектронной техники  
Института физики НАН Беларуси  
им. Б.И. Степанова, доктор  
физико-математических наук



**Анатолий Исаевич,**  
заместитель заведующего отраслевой  
лабораторией испытаний лазерной  
и оптоэлектронной техники  
Института физики НАН Беларуси им. Б.И. Степанова,  
кандидат физико-математических наук

**В**недрение лазерно-оптических технологий позволяет создавать системы на новых физических принципах, многократно увеличивая их быстродействие, снижая массогабаритные характеристики, энергопотребление систем и обслуживания, а также открывая новые способы их применения. Поэтому степень развития и темпы освоения таких технологий в любой стране однозначно отражают мощь, статус и технологическое положение государства на мировом рынке. При этом потенциалом, позволяющим разрабатывать и производить современные лазерные и оптоэлектронные технологические системы, обладает не более двух десятков стран. К их числу относится и Республика Беларусь.

Основу отечественной оптико-механической промышленности составляют свыше 20 предприятий (ОАО «Пеленг», ОАО «Планар», холдинг «БелОМО» и др.) с уровнем экспорта более 80%. Также огромный парк изделий оптики, лазерной и оптоэлектронной техники широко используется в промышленности, здравоохранении, связи, транспорте, вузах и других организациях страны.

Об экономическом эффекте, обеспечиваемом достижениями фотоники, можно судить по таким примерам:

- **производство светодиодных приборов** позволило, по оценкам экспертов, *снизить к 2025 г. энергозатраты на освещение не менее чем на 50%. И это без учета затрат на борьбу с загрязнениями, обусловленными производством электроэнергии и утилизацией массово используемых старых светильников;*
- **внедрение лазерных и оптоэлектронных технологий ранней диагностики заболеваний, малоинвазивного и хирургического лечения** позволяет заметно сократить продолжительность госпитализации больных, увеличить эффективность лекарственной терапии;
- **в микроэлектронике производство чипов без лазерно-оптических разработок (литография, контроль поверхностных слоев и структуры поверхности и др.)** практически невозможно, и их роль растет с уменьшением минимального размера элемента на чипе.

Эффективность применения изделий фотоники обусловлена уровнем их метрологического обеспечения, поэтому развитие его научных основ, прогнозирование ресурса, повышение уровня точности и достоверности измерений параметров и характеристик оптического излучения, гармонизация требований с международными нормами к методам их определения является актуальной задачей. Без ее решения невозможно в полной мере выйти на мировой рынок продукции лазерной и оптоэлектронной техники и гарантировать ее высокое качество и конкурентоспособность.

Для более результативной работы в этой области, а также для удовлетворения постоянно возрастающих потребностей отечественных предприятий и организаций в обеспечении достоверными и надежными измерениями передовых научных и научно-технических разработок в медицине, аэрокосмогеодезии, приборостроении, оптоэлектронике, информационных технологиях и других областях в 2019 г. в Институте физики НАН Беларуси была создана Отраслевая лаборатория испытаний лазерной и оптоэлектронной техники (ОЛИЛОТ). Основными направлениями ее деятельности стали выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, научное и методическое сопровождение высокоточных измерений параметров оптического излучения, характеристик лазерной и оптоэлектронной техники, а также развитие и совершенствование

эталонно-измерительной, научно-методической и законодательной базы. Лаборатория функционирует в соответствии с Планом совместных работ с Республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ), согласованным Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь.

Еще в 2000 г. в Институте физики НАН Беларуси была организована научно-испытательная лаборатория лазерной техники (НИЛЛТ), в задачи которой входило метрологическое обеспечение разрабатываемых, создаваемых и используемых в стране изделий фотоники. Для ускорения формирования национальной метрологической системы совместным приказом НАН Беларуси и Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 08.08.2003 г. №50/113 для Института физики НАН Беларуси установлен статус научного метрологического центра в области измерений параметров и характеристик лазерно-оптической техники, выполнение его функций возложено на НИЛЛТ. В январе 2015 г. лаборатория преобразована в Центр испытаний лазерной техники (ЦИЛТ) Института физики НАН Беларуси. Он аккредитован на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 как испытательная (аттестат аккредитации ВУ/112 1.1790, действителен до 02.08.2026) и калибровочная (аттестат аккредитации ВУ/112 02.5.0.0013, действителен до 11.07.2030) лаборатория.

В результате деятельности ЦИЛТ сформирована и развивается эталонно-измерительная и нормативно-методическая основа Системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь в области лазерной и оптоэлектронной техники. Совместно с БелГИМ лабораторией разработаны и созданы 8 национальных эталонов единиц физических величин, 4 из которых эксплуатируются в БелГИМ, а 4 – в ЦИЛТ (БелГИМ: Национальный эталон единиц силы света и освещенности; Национальный эталон единицы спектральной чувствительности приемников излучения; Национальный эталон единицы светового потока источников непрерывного излучения и Национальный эталон единиц белизны; ЦИЛТ: Национальный эталон единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации; Национальный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности энергетической освещенности и силы излучения в диапазоне длин волн от 0,2 до 3,0 мкм; Национальный эталон единицы поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне и Национальный эталон единиц

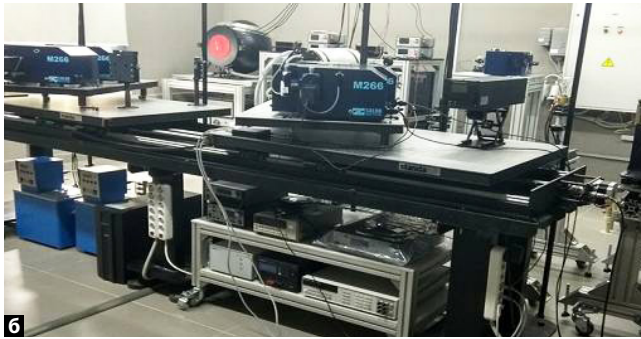
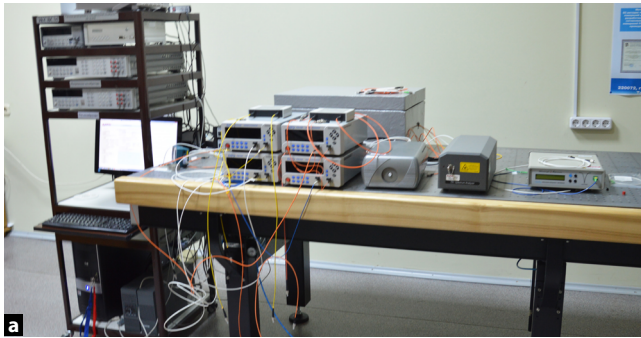


Рис. 1. Национальные эталоны: единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации (а); спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности энергетической освещенности и силы излучения в диапазоне длин волн от 0,2 до 3,0 мкм (б); средней мощности и энергии лазерного излучения (в) и единицы поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне (г)

средней мощности и энергии лазерного излучения (рис. 1). В ЦИЛТ создано 18 установок высокой точности для измерений и калибровки средств измерений энергетических, временных, пространственных, спектральных и поляризационных характеристик излучения изделий лазерной и оптоэлектронной техники.

С целью определения степени эквивалентности эталонов, взаимного признания сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами, проводятся международные сличения в рамках проектов Организации сотрудничества государственных метрологических учреждений стран Центральной и Восточной Европы (КООМЕТ), стран Западной и Центральной Европы (EURAMET). Результаты сличений показали соответствие основных характеристик наших эталонов мировому уровню, что позволило разместить БелГИМ 11 строк (из 301 строки по всей национальной эталонной базе) в базе данных о калибровочных и измерительных возможностях на сайте Международного бюро мер и весов (КСДВ ВРМ).

ЦИЛТ подготовлены и постановлениями Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь утверждены и введены в действие более 100 государственных стандартов. Некоторые из них, например СТБ ИЕС 60825-1 «Безопасность лазерных изделий. Часть 1. Классификация оборудования и требования» и СТБ ISO 11252 «Лазеры и относящееся к лазерам оборудование. Лазерные устройства. Минимальные требования к документации», вошли в качестве взаимосвязанных стандартов в Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования». Методическая база включает разработанные в ЦИЛТ более 80 методик метрологической аттестации, измерений и калибровки установок, которые используются для оценки изделий лазерной и оптоэлектронной техники для организаций Минздрава, Минпрома, Госстандарта, Госкомвоенпрома, Министерства связи и информатизации, Белорусской железной дороги, Минобразования и малых предприятий инновационного профиля.

### Наиболее важные результаты работы

В рамках выполнения ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций» на 2021–2025 гг. совместно с сотрудниками Отраслевой лаборатории молекулярно-пучковой эпитаксии нитридных гетероструктур Института физики НАН Беларуси впервые в мире создан компактный эталонный светодиод-

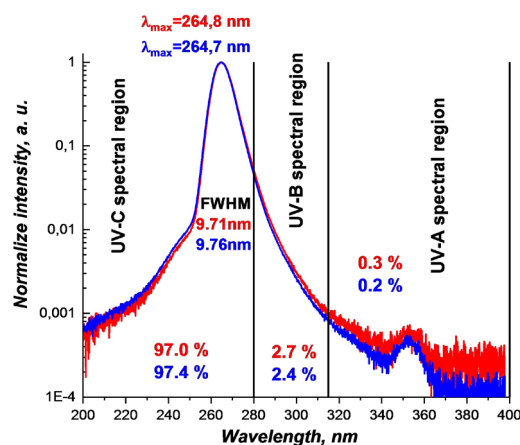


Рис. 2. Внешний вид и спектр излучения компактного эталонного светодиодного источника УФ излучения CIE °C

ный источник в ультрафиолетовой области спектра CIE °C (от 285 до 200 нм) для калибровки радиометров (рис. 2). Имея размер 30×30 мм, он обеспечивает плотность мощности излучения до 400 мкВт/см<sup>2</sup> и нашел применение в Национальном эталоне единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности энергетической освещенности и силы излучения в диапазоне длин волн от 0,2 до 3,0 мкм и в установке высокой точности для испытаний источников УФ излучения.

На разработанный источник получены два охраняемых документа Республики Беларусь.

В результате реализации задания ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» на 2021–2025 гг. создана установка высокой точности для измерений лучевой прочности оптических элементов, используемых в лазерной и оптоэлектронной технике, при воздействии импульсного лазерного излучения наносекундной длительности на длинах волн 266, 355, 532 и 1064 нм (рис. 3). Наличие такого оборудования обеспечивает повышение качества изделий ОАО «Планар», ООО «Изовак», УП НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО, Института физики НАН Беларуси и дает возможность обходиться без обращений в зарубежные сертифицированные метрологические центры, требующих больших финансовых и временных затрат.

Еще одна знаковая разработка, вошедшая в топ-10 результатов деятельности ученых НАН Беларуси за 2024 г., – метрологическая установка высокой точности для измерений временных характеристик импульсов лазерного излучения ультракороткой длительности (рис. 4). Она позволяет в спектральном диапазоне от 500 до 1600 нм определять длительность, временную форму и фазу импульсов в диапазоне от 5 фс до 10 пс с разрешением до 50 ас, а также частоту их следования от 10 Гц до 1 ГГц с относительной неопределенностью измерений

не более 5%. Такая точность обеспечивается использованием метода оптического стробирования с разрешением по частоте (FROG), метода коллинеарной интерферометрии второго порядка, а также методов коллинеарной и неколлинеарной автокорреляции. Потенциальными потребителями установки являются Научно-исследовательский центр оптических материалов и технологий филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»,

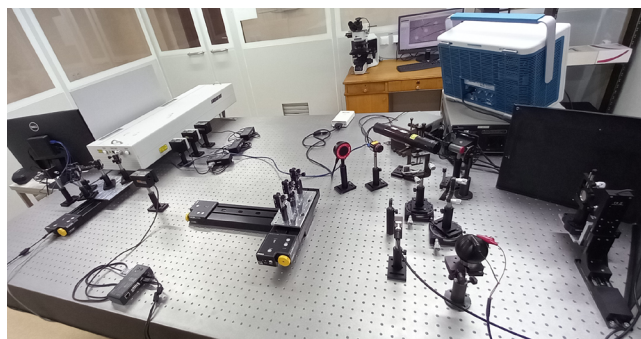


Рис. 3. Установка высокой точности для измерений порога лазерного повреждения оптических элементов

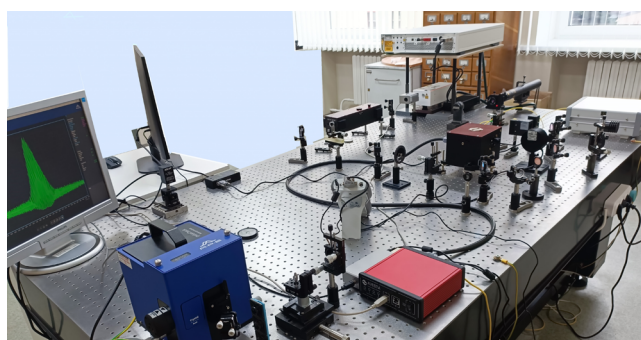


Рис. 4. Метрологическая установка высокой точности для измерений временных характеристик импульсов лазерного излучения ультракороткой длительности

ЗАО «СОЛАР ЛС», учреждения здравоохранения, использующие фемто- и пикосекундные лазеры.

В период с 2020 по 2025 г. утверждены и введены в действие постановлениями Государственного комитета по стандартизации более 30 подготовленных в лаборатории государственных стандартов Республики Беларусь в области лазерной и оптоэлектронной техники по методам измерений оптических характеристик бумаги и целлюлозы, гармонизированных с международными нормами.

Результаты проделанной работы позволяют более качественно и в больших объемах (в среднем свыше 130 хоздоговоров для более чем 100 организаций в год) удовлетворять запросы организаций страны по метрологической оценке производимого и используемого оборудования фотоники. Например, осуществляется калибровка рабочих эталонов РУП «Белтелеком», которые, в свою очередь, применяются для проверки порядка 1500 средств измерений параметров волоконно-оптических линий связи, используемых при их строительстве и приемке в эксплуатацию, а также для выполнения планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ.

По договорам с ОАО «Пелент» проводится калибровка средств измерений характеристик оптического излучения, необходимых для изготовления оптико-электронных систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, а с УП «Медтехника» (Барановичи, Витебск, Гомель, Гродно, Минск, Могилев) и филиалом «Сервисный центр» УП «Белмедтехника» – проверка лазерной и оптоэлектронной техники, с помощью которой затем контролируются монтаж, ввод в эксплуатацию и поддержание в исправном состоянии медицинского оборудования в учреждениях здравоохранения по всей Беларуси.

Согласно договору с ОАО «Гипросвязь» – головной организацией метрологической службы – осуществлены испытания анализатора оптического спектра для внесения его в Государственный реестр средств измерений и стандартных образцов Республики Беларусь и получения разрешения к применению на территории нашей страны.

### Актуальные проекты сегодняшнего дня

В интересах Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь лаборатория совместно с БелГИМ, выполняя задания ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» на 2021–2025 гг.

и ГНТП «Инновационное развитие эталонной базы Республики Беларусь» на 2026–2030 гг., в этом году завершает трехлетнюю модернизацию Национального эталона единиц силы света и освещенности. Следует отметить, что единица силы света – кандела – является одной из основных единиц измерений в Международной системе единиц (СИ). Это будет первый в мире первичный эталон, разработанный с использованием приемника с предсказуемой квантовой эффективностью и эталонных светодиодных ламп, что выведет Республику Беларусь в число международных лидеров в области обеспечения единства измерений фотометрических характеристик источников излучения. Аналогичные работы ведутся в рамках созданного в 2023 г. консорциума, в состав которого вошли 13 европейских национальных метрологических центров (Германии, Великобритании, Франции, Финляндии, Чехии, Турции и др.), а также крупные производители фотометрического и спектрометрического оборудования (Gigahertz Optik GmbH, Instrument Systems GmbH и др.) и ряд исследовательских организаций.

Модернизация эталона позволит гарантировать точность измерений при выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда, по контролю световых параметров энергосберегающего светотехнического оборудования (светильники, светофоры, информационные табло, рекламные экраны, мониторы и т.д.), параметров фотобиологической безопасности и энергоэффективности источников излучения; при осуществлении мероприятий государственного контроля (надзора) в отраслях народного хозяйства: автомобильном, железнодорожном и воздушном транспорте, строительстве и ЖКХ, машиностроении, энергетике, экологии и природопользовании.

В ходе реализации Научно-технической программы Союзного государства «Разработка перспективных базовых технологических процессов получения функциональных материалов, структур, компонентов и модулей для высокоэффективных изделий фотоники в Союзном государстве» («Компонент-Ф») на 2022–2026 гг. в этом году завершится создание установок для измерений лучевой прочности оптических элементов при воздействии непрерывного и импульсного лазерного излучения с длинами волн 1,06 и 1,5 мкм соответственно (рис. 5), а также коэффициентов отражения высокоотражающих оптических элементов лазерных систем (рис. 6). Планируется обеспечить измерения таких коэффициентов от 98,0000% до 99,9995% в спектральном диапазоне от 450 до 2000 нм.

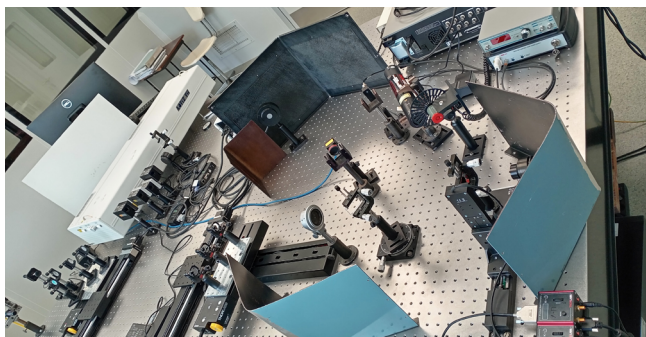
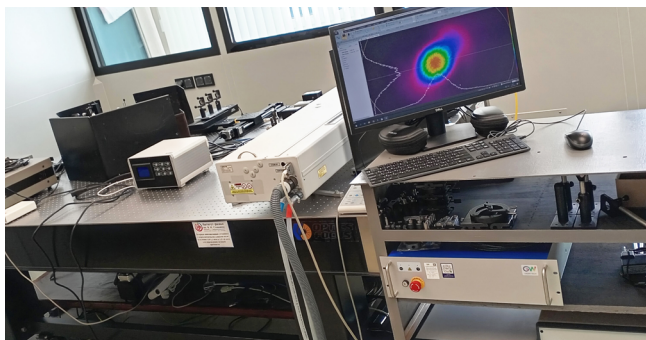


Рис. 5. Опытный образец многоволновой установки для определения лучевой прочности оптических элементов, используемых в лазерной и оптоэлектронной технике



Рис. 6. Опытный образец установки высокой точности для измерений коэффициентов отражения и оптических потерь высокоотражающих оптических элементов лазерных систем

Установки будут использоваться для метрологического контроля элементов, производимых и применяемых ОАО «Пеленг», ОАО «Планар», УП НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО, ООО «Изовак», ЗАО «СОЛАРЛС», Институтом физики НАН Беларуси и др., что позволит повысить качество изделий указанных предприятий и обеспечить импортозамещение, поскольку исключит необходимость обращения в зарубежные профильные центры для проведения соответствующих измерений.

## Перспективные разработки

В рамках ГНТП «Инновационное развитие эталонной базы Республики Беларусь» на 2026–2030 гг. запланирована модернизация Национального эталона единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации и создание национальных эталонов единиц длины и времени распространения сигнала, а также единицы хроматической дисперсии в оптическом волокне.

В ходе выполнения задания ГНТП «Уникальные приборы и комплексы для научных исследований» на 2026–2030 гг. намечена разработка 11 государственных стандартов СТБ в области лазерной и оптоэлектронной техники, гармонизированных с передовыми международными нормами, в том числе в области лазерной техники – 4, волоконно-оптических систем связи и передачи информации – 4 и фото- и радиометрии оптического излучения – 3. Проведение этих работ расширит области аккредитаций ОЛИЛОТ как испытательной и калибровочной лаборатории, номенклатуру параметров лазерной и оптоэлектронной техники и характеристик оптического излучения, повысит точность и надежность их измерений.

Успешное решение указанных задач невозможно без привлечения талантливых молодых ученых, сохранения и продвижения сформировавшейся научной школы. В лаборатории работают 4 молодых ученых, из которых 1 аспирант, постоянно выполняются курсовые и дипломные работы студентов кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета БГУ. В дальнейшем связь ОЛИЛОТ с ведущим вузом страны будет только крепнуть.

Каждые 10 лет точность измерений в мире увеличивается в среднем от 3 до 10 раз, появляются новые технологии, основанные на все более точных измерениях (нанотехнологии, фемтотехнологии и пр.). Для дальнейшего улучшения качества производимых в стране высокотехнологичных оптико-механических и оптико-электронных приборов, изделий, узлов и лазерных систем, импортозамещения, повышения конкурентоспособности товаров белорусского производства на международном рынке нужно продолжать развитие и модернизацию эталонной и измерительной базы лазерно-оптической метрологии, актуализировать нормативно-техническую документацию. Без их обновления и совершенствования невозможна реализация приоритетных направлений в таких важнейших для государства областях, как здравоохранение, экология, передовые технологии (фотоника, нанотехнологии, новые материалы, биотехнологии). ■