ЛАЗЕР ИНФОРМ
Информационный бюллетень ЛАЗЕРНОЙ АССОЦИАЦИИ
ВЫПУСК N 12 (819), июнь 2026

Лазеры в космической технике: опыт использования, задачи и перспективы

***А.Л.Соколов**, д.т.н., гл. научн. сотр. НПК СПП, Москва*

Лазерные технологии играют важную роль в космической технике. Ниже приведены основные области их применения и требования к лазерам соответствующего направления.

Области применения лазеров

(требования):

► **Дальнометрия**
(пикосекундная длительность импульса, частота следования импульсов 1 – 10 кГц)

► **Лазерная связь**
(частота следования импульсов свыше 10 ГГц, радиационная стойкость, устойчивость к механическим нагрузкам)

► **Передача энергии с помощью лазерного пучка**
(высокий КПД преобразование световой энергии в электрическую)

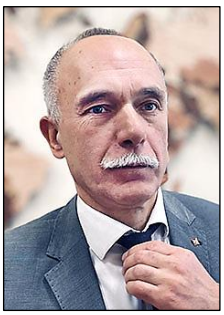
► **Подсвет космических объектов, находящихся в тени Солнца**
(высокая мощность (свыше 10 кВт) малая расходимость (<10”)

Остановимся кратко на всех этих направлениях.

Дальнометрия

Прецизионные измерения наклонной дальности до геодезических и навигационных космических аппаратов (КА), оснащенных лазерными ретрорефлекторными системами, проводятся с целью:

- определения орбит геодезических КА, геоцентрических координат наземных пунктов и их текущих изменений,
- определения компонент гравитационного поля Земли и их временных вариаций,
- определения параметров вращения Земли,
- установления и поддержания глобальных геоцентрических систем координат, в том числе в части привязки начала систем координат к центру масс Земли и определения масштаба систем координат;
- верификации высокоточных эфемерид и часов навигационных КА;
- сличения удаленных стандартов частоты.



В мире существует несколько фирм, где разрабатываются и изготавливаются лазеры для космических дальномеров. Вот некоторые из них: Photonics Industries (США); Passat (Канада), EXPLA (Литва); АО «НПК «СПП» (Россия), АО

В номере:

- **Лазеры в космической технике: опыт использования, задачи и перспективы**
  А.Л.Соколов
- **Представляем победителей Конкурса ЛАС-2026**
  ► «Мощный импульсный полупроводниковый лазер, интегрированный с системой накачки и термостабилизации»
  ► «Мультиспектральная видеосистема для дистанционного картирования показателей сельскохозяйственных угодий»
- **Конкурс-2026 по присуждению молодым учёным медали имени В.С.Летохова**
- **Памяти А.Г.Игнатова**
- ***ХРОНИКА***
- ***ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ***

«ЛОС» (Россия), Институт прикладной физики РАН (Россия).

Интересно, что не существует единого принципа формирования основных частей таких лазеров. Каждая фирма получает нужный результат, комбинируя блоки, работающие на разных физических принципах. Разница оказывается в цене, в условиях эксплуатации, сроке службы, при этом общая тенденция состоит в увеличении до 10 кГц частоты повторения импульсов, что диктуется необходимостью повышения производительности квантово-оптических станций, в которые входят лазеры.

Все используемые в космической дальнометрии лазеры работают по схеме «задающий генератор – усилитель», поскольку невозможно в одном резонаторе создать пикосекундные импульсы требуемой энергии.

Перечислим основные варианты создания задающих генераторов. Это лазеры с синхронизацией мод и непрерывной накачкой; микрочип-лазеры с пассивной модуляцией добротности, лазерные диоды с модуляцией усиления и лазеры с компрессией излучаемых им наносекундных импульсов за счет таких нелинейных эффектов, как вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). Обычно обеспечивается укорочение импульсов до ~100 – 400 пс .

Существует два основных метода создания усилителей: схемы прямого усиления: «задающий генератор – усилитель мощности» и регенеративные усилители (РУ) – многопроходовые



усилители с управляемым количеством обходов. При этом используются различные виды активных сред – объёмные кристаллы, оптические волокна, гибридные системы;

В лазере, созданном в АО «НПК «СПП», используется пикосекундный DFB-лазерный диод, управляемый импульсами тока и обладающий низким значением временного джиттера, что принципиально важно при измерении малых временных интервалов. Выходная энергия импульсов DFB-лазерного диода составляет ~1 пДж. Длина волны генерации λ=1064 нм точно настраивается на центр линии усиления Nd:YAG за счет изменения температуры диода. В режиме модуляции усиления лазерный диод генерирует спектрально-ограниченные импульсы со стабильной симметричной колоколообразной формой. Ширина спектра генерации составляет $\Delta\lambda$ ~ 0,1-0,2 нм.

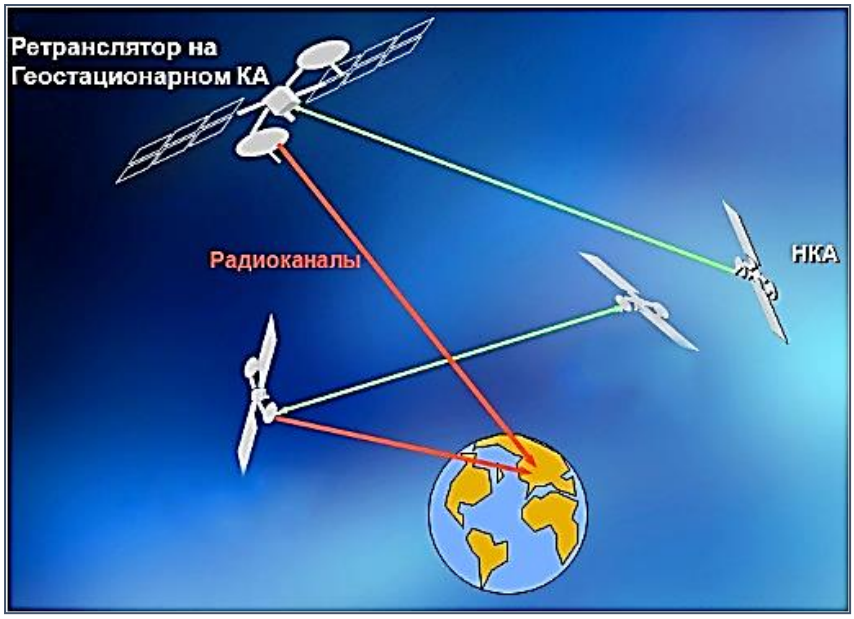
Для получения энергии импульса на второй гармонике >2,5 мДж требуется достичь уровня энергии импульса ~5 мДж на длине волны 1064 нм. Требуемое усиление реализуется в регенеративном усилителе, который представляет собой резонатор, в который впрыскивается излучение задающего генератора. После выпуска импульса от задающего генератора резонатор «закрывается» при помощи оптического переключателя, излучение многократно усиливается в резонаторе РУ, и в тот момент, когда энергия импульса достигает максимального значения, резонатор «открывается» и усиленный импульс выходит наружу. Такой подход позволяет достигать высокого интегрального коэффициента усиления $G>10^9$ при относительно небольшом коэффициенте ненасыщенного усиления на обход усилителя G_0~3.

В настоящее время измерение дальности до космических объектов, таких как навигационные спутники типа ГЛОНАСС, Галилео и др., геодезические спутники Лагеос, Эталон, Ларец и др., а также ретрорефлекторные системы на Луне, осуществляется с субсантиметровой точностью. Ключевое требование для используемых в таких измерениях лазеров – это длительность импульса не более 50 пс.

Лазерная связь

Достоинства оптических линий связи:

- увеличение скорости передачи информации до 200 Гбит/с;
- уменьшение массы и габаритов бортовой спутниковой аппаратуры;
- устранение проблем электромагнитной совместимости с любыми системами радиодиапазона, а также с другими лазерными системами;
- увеличение помехоустойчивости канала связи;
- повышение скрытности передачи и невозможности перехвата данных.



История развития лазерной связи в России имеет давнюю историю. В 2011-2013гг. был проведен уникальный для своего времени космический эксперимент по передаче изображения с борта МКС на пункт, расположенный на станции оптических наблюдений «Архыз» (Северный Кавказ) − филиал АО «НПК «СПП». Скорость передачи данных составила 622 Мбит/с на длине волны 1550 нм. Длина волны излучения маяка, который осуществлял захват объекта с точностью 10 угл. сек, была 810 нм. Сегодня в АО «НПК «СПП» осуществляется лазерная связь между спутниками ГЛОНАСС и наземными пунктами.

В 2024 году был поставлен рекорд по удаленной лазерной связи − с расстояния 390 миллионов километров американский спутник «Психея» передал информацию на Землю со скоростью 8,3 мегабит в секунду.

В спутниках «Старлинк», начиная с версии 1.5, имеются терминалы лазерной связи, которые обеспечивают обмен данными со скоростью свыше 100 Гбит в секунду. В ближайшее время мы ожидаем прорывной результат по лазерной связи и между отечественными спутниками, который станет важным шагом к созданию спутникового интернета – запуск системы «Рассвет» компанией «Бюро 1440».

В части квантовых коммуникаций именно космический/атмосферный сегмент в ближайшем будущем станет дополнением для оптоволоконных систем связи. В КНР передачу квантовой информации осуществили со спутника «Моцзы» еще в 2017 году, в частности, произошел обмен ключами квантового шифрования между Пекином и Веной на расстоянии около 7600 км.

Поэтому в России уже сейчас необходимо развивать сеть наземных станций, готовых к сопряжению со спутниками посредством протокола квантовой коммуникации. Это позволит обеспечить подключение наземных станций к магистральной квантовой сети в точках ее присутствия, поскольку сам по себе спутниковый сегмент квантовых коммуникаций без сопряжения с общей инфраструктурой не представляет большой ценности с точки зрения оказания конечных услуг потребителям.

Передача энергии с помощью лазерного пучка

Идея преобразования солнечного излучения в электрическую энергию, а затем передачи её на Землю с помощью лазерного пучка появилась в 60-е годы XX века, однако в настоящее время можно говорить лишь о том, что сформулированы требования к такой системе:

- наведение с точностью 1";
- расходимость лазерного луча менее 2";
- наличие аккумуляторных батарей с удельной энергией свыше 1 МДж/кг;
- наличие фотоэлектрических преобразователей солнечной или лазерной энергии с КПД более 40%.

Существующие твердотельные (волоконные) лазеры имеют КПД не выше 30%, а КПД преобразования лазерного излучения в электрическую энергию – не более 60%, что в результате дает общий КПД не выше 20%. Реализация наземного источника электрической энергии, питаемого лазерным пучком из космоса, пока экономически не целесообразна. Вместе с тем, очевидно, что развитие ядерной энергетики в космосе приведет рано или поздно к созданию таких систем.

Подсветка космических объектов

Данная задача возникает в ряде практически важных случаев, например, при анализе нештатных ситуаций с низкоорбитальными космическими аппаратами.

Заметим, что при расходимости лазерного излучения всего 4″, что близко к пределу, который в общем случае задает турбулентность атмосферы, площадь освещения оказывается равной 100 кв. метров на расстоянии 500 км. При мощности 10 кВт это 100 Вт на кв. метр, что в несколько раз меньше облученности от Солнца в видимой области спектра даже при наклонном падении. В инфракрасной области спектра ситуация намного лучше. Поэтому именно такие системы с длинами волн 1,1-1,7 мкм востребованы в космической технике.

По материалам доклада на Пленарном заседании XIV Конгресса техплатформы «Фотоника» 31.03.2026г.

Представляем победителей Конкурса ЛАС на лучшую отечественную разработку в области лазерной аппаратуры и лазерно-оптических технологий, вышедшую на рынок в 2024-2025гг.*

Номинация «Источники лазерного излучения и их компоненты, устройства управления лазерным лучом и его транспортировки» (конкурс им. М.Ф.Стельмаха)

Диплом II степени

ООО «Эльфолюм», Санкт-Петербург

Мощный импульсный полупроводниковый лазер, интегрированный с системой накачки и термостабилизации

Авторский коллектив: ***Н.А.Пихтин**, ген. директор, **А.А.Климов**, инженер, **В.А.Дементьева**, инженер, **Д.А.Веселов**, инженер*

Измерение расстояния до Луны с точностью до сантиметра, распознавание объектов на конвейере, оценка обстановки на дороге беспилотным транспортом – все эти задачи можно решать методами анализа временных задержек оптических сигналов. Однако если лазерный дальномер для астрономических задач является уникальным, громоздким и дорогостоящим инструментом, то массовое машинное зрение требует иного подхода: компактности, надёжности, энергетической и экономической эффективности. Импульсные полупроводниковые лазеры уже совершили тихую революцию, обеспечив основу для функционирования множества лидарных систем, используемых на транспорте и на производствах. Развитие технологии полупроводниковых лазеров позволяет расширять функциональные возможности систем на их основе, а также создавать качественно новые приборы.

ООО «Эльфолюм» на протяжении более 20 лет занимается разработкой и изготовлением полупроводниковых лазеров диапазона 850-2000 нм, в том числе для импульсных излучателей. Мы представляем новое устройство − мощный импульсный полупроводниковый лазер, интегрированный с системой накачки и термостабилизации, предназначенный для широкого круга практических задач, включая дальнометрию.

Накачка полупроводниковых лазеров короткими (длительность менее 100 нс) импульсами тока высокой амплитуды (до 100 А) представляет значительную проблему. Основными трудностями являются различные негативные эффекты, возникающие в высокочастотных системах, связанные с паразитными индуктивностями и ёмкостями, а также волновыми эффектами в линиях связи [1-3]. Очевидный и неизбежный метод борьбы [4] с паразитными электрическими параметрами – предельное уменьшение геометрических размеров цепи накачки и, соответственно, расстояний между лазерным кристаллом и элементами схемы – приводит к необходимости совмещения лазера и платы накачки в едином корпусе. В предельном случае кристалл лазера должен быть установлен непосредственно на плате накачки вплотную к компонентам цепи формирования импульса.

Для реализации этой концепции нами ранее была разработана конструкция импульсного лазерного диода в корпусе HHL (*High Heat Load*), интегрированного с платой накачки, показанная на ***рис.1*** [5].

В данной конструкции объединялись мощный полупроводниковый лазер, интегрированный с платой накачки, элемент Пельтье и термистор, а также оптическая система для вывода излучения. В простейшем случае излучение выводится через окно, однако луч можно коллимировать или фокусировать посредством линзовых систем, в том числе с использованием микролинз. В качестве альтернативного варианта доступен вывод излучения через многомодовое оптоволокно. Несмотря на плотную компоновку, прибор был специально разработан для возможностей модификации и гибкой настройки параметров под требования заказчика.

Импульсные полупроводниковые лазеры в компактном корпусе HHL с интегрированной платой накачки позволили нашему производству импульсных лазеров совершить качествен-

* *Продолжение, начало в «Л-И» №10,11 (817-818). Описания разработок-представлены руководителями авторских коллективов.*

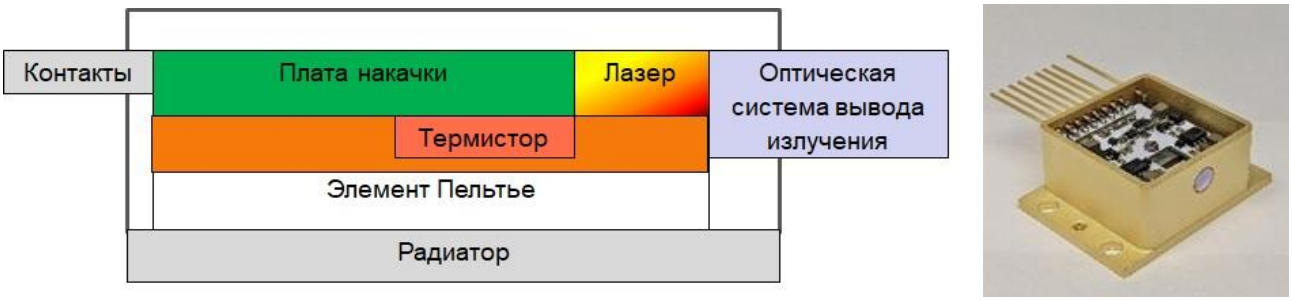


Рис.1 *Ранее разработанная конструкция импульсного лазерного диода в корпусе HHL, интегрированного с платой накачки; справа – внешний вид прибора со снятой крышкой.*

ный переход − данный тип прибора оказался удачным и удобным форм-фактором, в рамках которого мы разработали и поставили десятки различных видов лазеров, работающих с разными длинами волн, разными уровнями мощности, разными оптическими системами вывода излучения.

Критически важной при производстве является унификация. Использование стандартного корпуса и набора из нескольких стандартных плат накачки собственного производства позволило нам организовать универсальные сборочные, юстировочные и поверочные стенды, на которых можно работать с широкой номенклатурой импульсных лазеров. С другой стороны, в случае необходимости серийного производства конкретного типа лазеров конструкцию прибора несложно доработать для технологической цепочки, состоящей из систем автоматизированной сборки и монтажа.

Предлагая импульсные лазеры на различных научно-технических выставках, мы быстро обнаружили, что для конечного заказчика — будь то научная лаборатория или разработчик сложных приборов — сам по себе лазерный диод, даже в таком совершенном исполнении, является лишь компонентом. Его интеграция в конечное изделие требует разработки и отладки внешних систем: источников питания, термостабилизатора, систем управления и защиты. Нехватка соответствующих компетенций и ресурсов зачастую становилась барьером для применения этой передовой технологии.

Для решения этой задачи ООО «Эльфолюм» представляет мощный импульсный полупроводниковый лазер, интегрированный с системой накачки и термостабилизации — законченный прибор, объединяющий в едином компактном корпусе сам лазер в HHL-исполнении и полнофункциональный блок управления (БУ). Это решение превращает высокотехнологичный компонент в готовый к использованию инструмент «под ключ».

На ***рис.2*** показан внешний вид такого импульсного лазера. Его габариты составляют 120x56x27 мм^3 без учёта разъёмов и системы вывода оптического излучения.

В основе модуля лежит алюминиевая платформа, выполняющая роль монтажного основания и эффективного теплоотвода. На неё устанавливается лазерный диод в корпусе HHL с интегрированной платой импульсной накачки — сердце системы, обеспечивающее рекордно низкую индуктивность и формирование токовых импульсов длительностью до единиц наносекунд. Контакты корпуса HHL непосредственно входят в разъёмы специализированных печатных плат блока управления, смонтированных на той же платформе. Вся сборка закрывается лёгким алюминиевым кожухом, обеспечивающим механическую защиту и экранировку. Итоговый прибор представляет собой моноблок, готовый к установке в конечное устройство или использованию в качестве автономного излучателя.

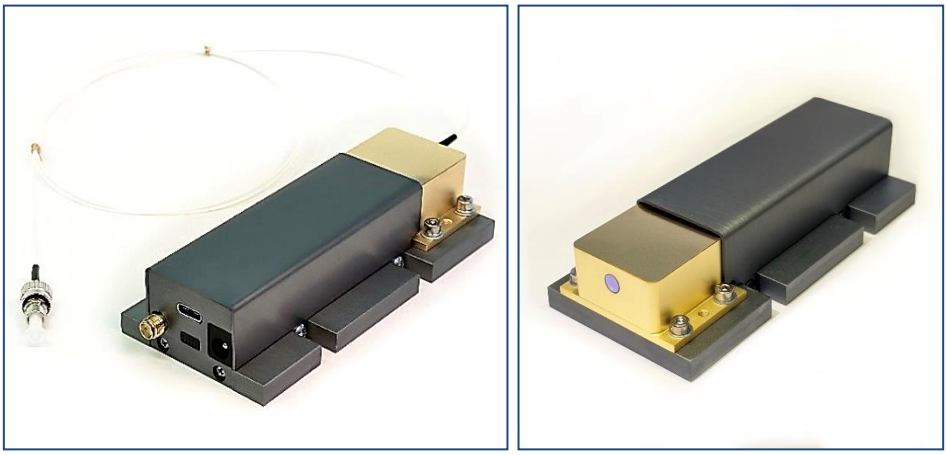


Рис.2 *Внешний вид мощного импульсного полупроводникового лазера, интегрированного с системой накачки и термостабилизации слева – с оптоволоконным выходом, справа – с окном.*

БУ обеспечивает устройству полную автономность и защиту. Микроконтроллер координирует все процессы.

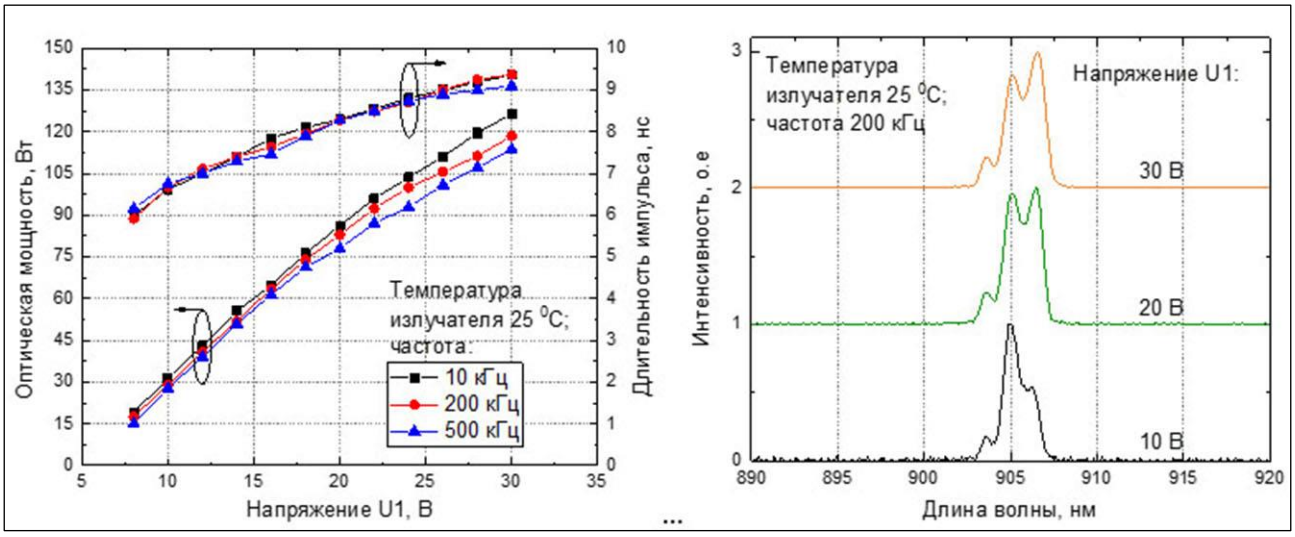


Рис.3 *Основные выходные характеристики импульсного лазера, изготовленного для задач дальнометрии. Слева – выходная оптическая мощность и длительность импульса, справа – спектры лазерной генерации.*

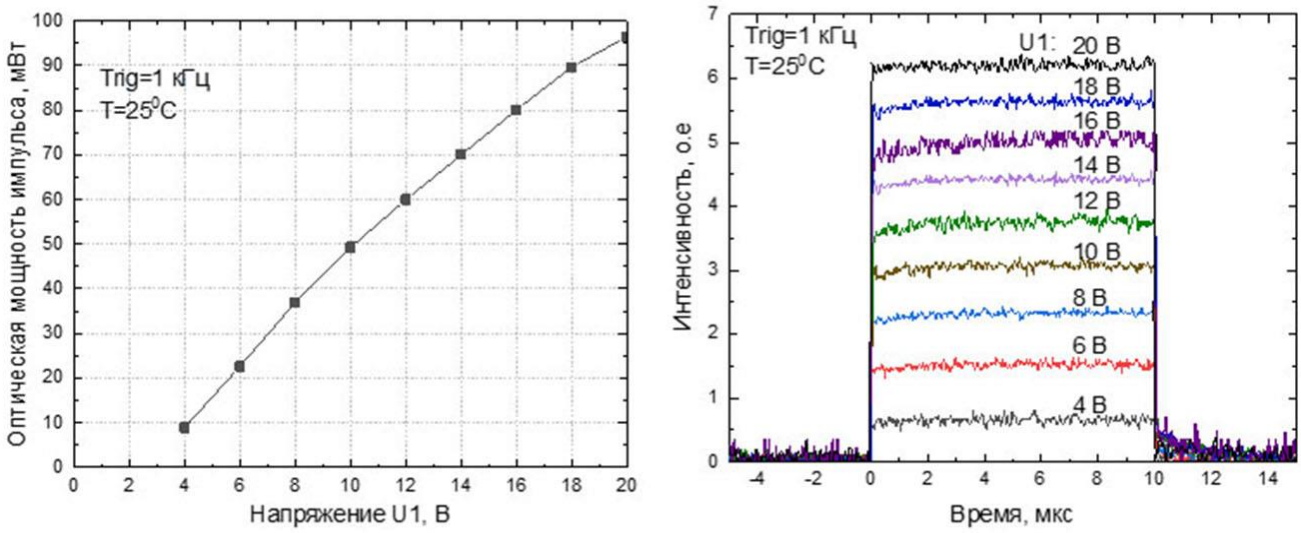


Рис.4 *Основные выходные характеристики импульсного лазера с длиной волны 1605 нм, изготовленного для медицинской аппаратуры. Слева – выходная оптическая мощность, справа – форма импульсов лазерного излучения.*

Его основная встроенная функция — ПИД-регулятор температуры с обратной связью от термистора лазера. Он управляет элементом Пельтье с точностью поддержания температуры до 0.1°C и мощностью до 10 Вт в реверсивной схеме – с возможностью и нагрева, и охлаждения.

БУ подаёт на лазер все сигналы, необходимые для работы платы накачки: основное питание, вспомогательное питание и сигнал запуска. Микроконтроллер управляет величиной напряжения основного питания платы накачки U1 в диапазоне от 1 до 40 В, что позволяет плавно менять амплитуду оптических импульсов лазера. Данный диапазон регулировки напряжений достаточен для большинства используемых нами плат накачки. Для отдельных наиболее мощных систем диапазон может быть расширен вплоть до 80 В путём замены управляющих резисторов на плате и корректировки программы микроконтроллера.

Контроллер формирует сигналы с регулируемой частотой. Также реализован режим внешнего запуска через коаксиальный SMA-разъём. Сигналы запуска своим передним фронтом инициируют лазерный импульс заранее заданной длительности. Потенциально в приборе может быть реализована возможность управления длительностью импульса, однако пока что практическая необходимость в этом не появлялась.

Прибор оснащён многоуровневой защитой, включающей мониторинг перегрева лазерного кристалла, корпуса и печатных плат, ограничение тока элемента Пельтье и общего потребления. На входе блока питания установлен электронный предохранитель с широким диапазоном защиты (от -60 В до +60 В), делающий прибор устойчивым к ошибкам подключения.

Прибор получает питание постоянным током с напряжением +12 В через стандартный

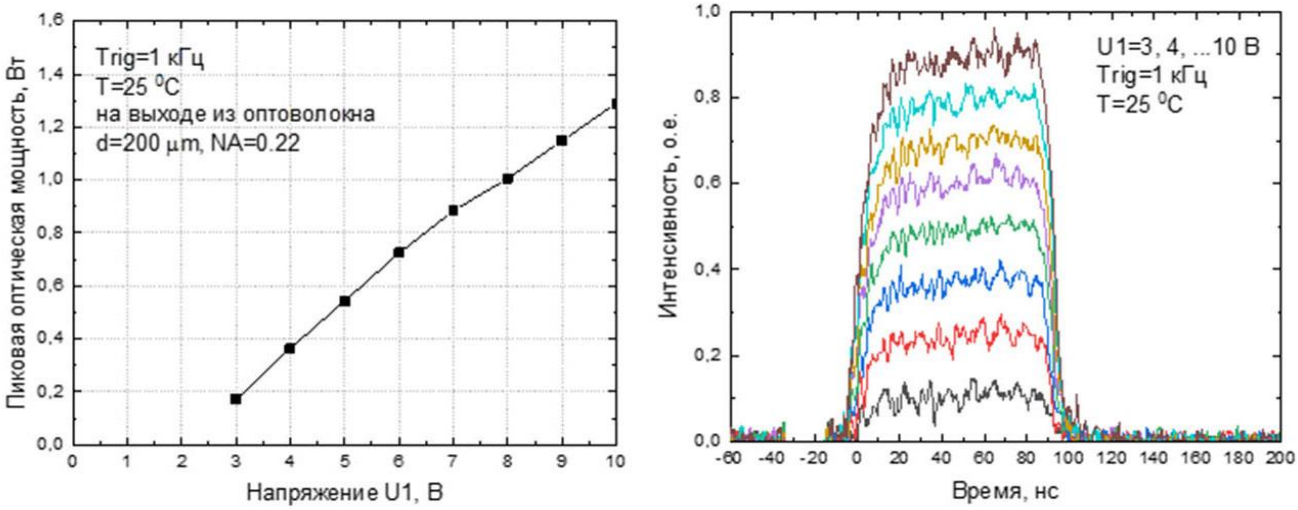


Рис.5 *Основные выходные характеристики импульсного лазера с длиной волны 1980 нм, изготовленного для научных целей. Слева – выходная оптическая мощность, справа – форма импульсов лазерного излучения.*

Табл.1 Диапазон доступных характеристик лазеров

Параметр	Нижняя граница	Верхняя граница
Длина волны	900 нм	2000 нм
Длительность импульса	5 нс	10 мкс
Частота следования импульсов	1 Гц	10 МГц
Пиковая оптическая мощность	1 мВт	1 кВт

разъём на задней панели. Для некоторых заказчиков по запросу производились также устройства с напряжением питания +5 В и +24 В. Конструкция прибора, построенного на основе импульсных преобразователей напряжения, допускает значительную гибкость, позволяя проектировать приборы под разные напряжения питания с минимальными изменениями конструкции. Общая потребляемая мощность определяется особенностями конкретной задачи и условиями работы элемента Пельтье. Типично она составляет от 1-2 Вт для маломощных приборов в условиях комнатной температуры и до 10-20 Вт в условиях необходимости мощного охлаждения.

Управление осуществляется посредством двух взаимно-альтернативных методов. Для работы с персональным компьютером используется протокол USB 2.0 и разъём USB Type-C. Подготовка к работе в этом случае сводится к установке на компьютер несложной программы-терминала.

Для прямой интеграции в сторонние системы управления (например, медицинское или измерительное оборудование) используется интерфейс SPI, подключение через штыревой разъём на задней панели. В этом случае импульсный лазер становится «ведомым» устройством, принимающим простейшие команды от внешнего контроллера, передающего значения измеренных параметров, а также статусы ошибок.

Новый прибор наследует и развивает принципы унификации. Благодаря стандартизированным посадочным местам, интерфейсам и форм-фактору печатных плат конструкция остаётся модульной. Это позволяет быстро адаптировать прибор под специфические требования заказчика: менять тип лазерного кристалла, оптическую схему вывода, рабочие диапазоны мощности и частоты — как в условиях мелкосерийного производства (десятки штук в год), так и при масштабировании.

Готовый модуль открывает технологию для широкого круга пользователей:

- перспективные направления: компактные габариты, надёжность и готовность к работе создают основу для выхода на массовые рынки, такие как лидары беспилотных систем;
- специальное и медицинское оборудование: наличие промышленного интерфейса SPI и полный набор защит позволяют легко встраивать модуль как подсистему в сложные приборы;
- - научные исследования: простота подключения по USB делает его идеальным инструментом для лабораторных стендов.

Оптические характеристики разработанного импульсного лазера, как и в базовом решении, определяются типом используемого лазерного кристалла и остаются на высоком уровне благодаря интеграции накачки.

Для примера на ***рис.3*** показаны типичные выходные характеристики прибора, предназначенного для лидарных применений. В данном случае нам удалось обеспечить высокую (свыше 100 Вт) пиковую оптическую мощность излучения с длиной волны 905 нм в коротких (менее 10 нс) импульсах, следующих с частотой до 500 кГц. Вывод излучения − через окно.

Табл.2 Сопоставление основных характеристик разработанного импульсного лазера с ближайшими отечественными аналогами на основе лазерных диодов.

Параметр	**Наносекундные диодные лазеры SSP-MD-NS ООО «Специальные системы. Фотоника» www.sphotonics.ru**	**Импульсные лазерные диодные модули LDS ООО «Нордлэйз» www.nordlase.ru**	**Заявляемый импульсный лазер**
Длина волны	375-1550 нм	450-1550 нм	900-2000 нм
Длительность импульса	10 нс-10 мс	50-150 пс, по запросу доступны 1-100 нс	5 нс-10 мкс
Максимальная частота следования импульсов	25 МГц	30 МГц	10 МГц
Пиковая мощность	1-100 мВт	50-1000 мВт	От 1 мВт до 100 Вт, по запросу до 1 кВт
Тип выхода излучения	Свободный выход	Оптоволокно, по запросу доступен свободный выход	Оптоволокно либо свободный выход
Интерфейс управления	Не указано	USB	USB / SPI
Наличие термостабилизации лазера	Не указано	Не указано	Полная система с обратной связью по температуре и ПИД-регулятором с точностью 0.1 ^{0}C
Габариты без учёта разъёмов	102.5x50x60 мм^3	Не указано, приблизительно 120x80x30 мм^3	120x56x27 мм^3

На ***рис.4*** представлены основные характеристики импульсного лазера, изготовленного нами для применения в составе аппаратуры медицинского назначения. Иная задача потребовала от прибора качественно иных характеристик: в качестве источника излучения используется мощный одномодовый лазер с длиной волны около 1605 нм с пиковой оптической мощностью до 100 мВт в импульсе длительностью 10 мкс, частота следования импульсов до 2 кГц. Вывод излучения − через окно, излучение коллимируется посредством микролинзы.

Наконец, на ***рис.5*** показаны основные характеристики импульсного лазера, разработанного для решения научных задач. Лазерное излучение с длиной волны 1980 нм и пиковой мощностью свыше 1 Вт в импульсах длительностью около 80 нс на полувысоте выводится через многомодовое оптическое волокно.

Во всех вышеперечисленных примерах конструкция прибора оставалась стандартной, вариации касались исключительно используемых лазерных кристаллов, модулей плат накачки и оптической системы.

Вариативность разработанного решения неоценима при разработке и производстве, но заметно усложняет рекламу. В качестве основных характеристик можно привести только самые общие, достаточно широкие диапазоны параметров, указанные в ***табл.1***. В рамках этих диапазонов существует немалое количество внутренних ограничений, которые необходимо подробно обсуждать с заказчиком в каждом конкретном случае. Тем не менее, стандартизация конструкции позволяет заметно упростить процесс производства штучных приборов на заказ, значительно снизить цену и в перспективе – приблизить её к цене серийных изделий.

Технический уровень разработки соответствует лучшим мировым аналогам, мы используем современную элементную базу, включая интегральные микросхемы и быстродействующие GaN-транзисторы. Используемые кристаллы полупроводниковых лазеров собственного производства обладают уникальными характеристиками и по ряду параметров превосходят зарубежные образцы.

Изначально концепция этого модульного устройства родилась в 2023 году в ходе изготовления импульсного излучателя для заказчика. Прибор был изначально спроектирован для узкоспециальной задачи, однако его функционал несколько расширили для удобства работы. В 2024 году на основе данной концепции был спроектирован, изготовлен и протестирован первый мощный импульсный полупроводниковый лазер, интегрированный с системой накачки и термостабилизации. К концу 2024 года мы начали предлагать это техническое решение на запросы потенциальных заказчиков. В 2025 году началось мелкосерийное производство, образцы были представлены на выставке

лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2025». К настоящему моменту прибор входит в номенклатуру стандартной продукции компании.

Производство импульсных лазеров локализовано в ООО «Эльфолюм», Санкт-Петербург. Мы используем лазерные кристаллы собственного производства: пластины лазерных наногетероструктур закупаются в России, в компании имеется технологическая линия мелкосерийного производства, включающая в себя пострстовую обработку, монтаж кристаллов, юстировку и монтаж оптических элементов, включая оптоволокно, а также стенды для характеризации готовых приборов. Печатные платы производятся на заказ на отечественном предприятии. Некоторую проблему представляют электронные компоненты, такие как интегральные микросхемы управления питанием, закупаемые за рубежом. Однако конструкция прибора принципиально позволяет перейти на отечественные аналоги, в случае их конкурентоспособности.

Таким образом, новый прибор представляет собой эволюционное развитие идеи интегрированного лазерного диода, завершая её до уровня готового, безопасного и максимально удобного для интеграции продукта, который сочетает в себе передовые лазерные характеристики с простотой применения конечным заказчиком.

В ***табл.2*** проведено сопоставление основных характеристик разработанного импульсного лазера с ближайшими отечественными аналогами на основе лазерных диодов.

Список литературы:

[1]. *В.В.Бирюков*. Влияние паразитных параметров лазерных излучателей на полосу пропускания канала аналоговой ВОЛС / *В.В.Бирюков, В.А.Грачев, Т.С.Лукоянова, А.Ю.Порошенков, А.С.Раевский.* // 2014 Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева № 3(105)

[2]. Полупроводниковые инжекционные лазеры. Динамика, модуляция, спектры: Пер. с англ./Под ред. У. Тсанга. — М.: Радио и связь, 1990.— 320 с.: ил. 251.

[3]. *Xiaoning Qi*. High frequency characterization and modeling of on-chip interconnects and rf ic wire bonds / Xiaoning Qi. // Dissertation submitted to the department of electrical engineering and the committee, Stanford University 2001.

[4]. *Miguel Sánchez*. Overdrive Short Pulse High Peak Power Diode Lasers Without Catastrophic Optical Damage. / Miguel Sánchez , Daniel Gallego, Horacio Lamela. // IEEE Photonics journal, Vol. 13, No. 4, August 2021

[5]. *Н.А.Пихтин, С.О.Слипченко, Д.А.Веселов, А.А.Климов* «Импульсный лазерный диод в корпусе HHL, интегрированный с платой накачки», Лазер-Информ №11 (722), июнь 2022, с.10

✶ ✶ ✶

Номинация «Фотоника в сельском хозяйстве и природопользовании»

Диплом I степени

Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва

Мультиспектральная видеосистема для дистанционного картирования показателей сельскохозяйственных угодий

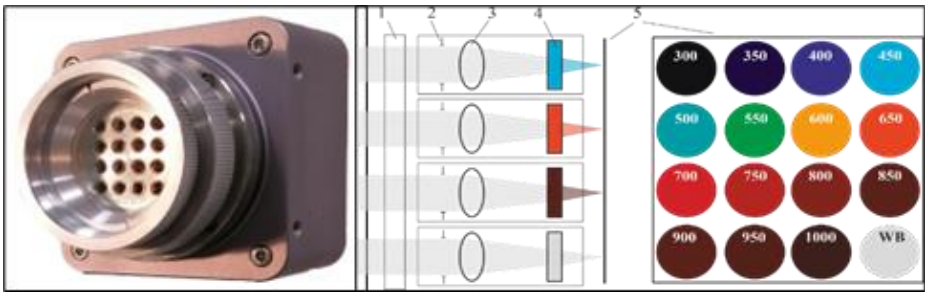
Авторский коллектив: ***А.С.Мачихин***, *зав. лаб. акустооптической спектроскопии,* ***В.И.Батшев***, *ст. научн. сотр.,* ***А.В.Крюков***, *научн. сотр.,* ***А.В.Гурылева***, *научн. сотр.,* ***А.А.Золотухина***, *мл. научн. сотр.*

НТЦ УП РАН

Назначение

Одним из основных инструментов дистанционного мониторинга является спектральный анализ отраженного от исследуемого объекта излучения, основанный на наличии связи между способностью материалов отражать, поглощать или пропускать электромагнитное излучение и их химическим составом, а также структурными свойствами. Изменение некоторого параметра материала приводит к изменению доли отражаемого объектом электромагнитного излучения в одном или нескольких определенных спектральных диапазонах длин волн. Анализ интенсивности отраженного тканями растений излучения в таких информативных диапазонах позволяет провести количественную оценку биохимических параметров, определить порог обнаружения объекта, ввести критерии дифференциации культур и сортов и пр.

Набор параметров, которые могут быть определены с помощью спектрального анализа, определяется рабочим спектральным диапазоном аппаратуры, являющимся ключевой характеристикой метода и аппаратуры. Наиболее распространен как в исследовательской, так и производственной практике спектральный анализ характеристик отражения объектов в види-



а) б)

Рис.1 *Внешний вид (а) и схема компоновки (б) мультиспектральной видеосистемы (а), где 1 – защитное стекло, 2 – объективы, 3 – оптическая система, 4 – светофильтры, 5 – матричный приемник излучения*

Табл.1 – Технические характеристики мультиспектральных видеосистем

Параметр	Значение	
Количество спектральных каналов	8	16
Спектральный диапазон, нм	450-850	300-1000
Ширина спектрального канала, нм	10	10
Количество спектральных каналов	8	16
Частота кадров, Гц	18	37
Разрешение, пикс	1000 × 1000	500 × 500
Габариты, мм	60 × 60 × 40	68 × 68 × 45
Масса, кг	0,15	0,45

Табл.2 Рабочие характеристики видеосистемы в применениях для картирования показателей сельскохозяйственных угодий

Время определения пространственного распределения содержания пигментов, мин	< 1		
Условия проведения опыта	Полевые		
Носитель	Штатив	Подъемник	БПЛА
Рабочее расстояние, м	2	10	30
Коэффициент детерминации модели R^2, отн. ед.	>0,8	>0,7	>0,7
Относительная погрешность RE, %	<20	<15	<20

мом и ближнем инфракрасном диапазоне длин волн, что во многом объясняется высокой доступностью, компактностью и низкими эксплуатационными требованиями соответствующих приемников излучения. Наиболее производительным подходом к реализации спектральной съемки является спектрометрия с пространственным разрешением или видеоспектрометрия, различными вариантами исполнения которой является мульти- и гиперспектральная съемка.

Разработанная мультиспектральная видеосистема предназначена для одновременного получения нескольких изображений в различных спектральных интервалах без сканирования с возможностью выбора оптимального сочетания параметров (числа, положения и ширины) спектральных каналов. Она позволяет осуществлять высокопроизводительный дистанционный мониторинг состояния растений и почв с различных носителей (штативов, мачт, БПЛА и др.) при решении многочисленных задач сельского хозяйства и экомониторинга: мониторинг физиологического состояния культур для решения задач точного земледелия и экологического мониторинга, оценка эффективности агрохимикатов и их дифференцированного внесения, оценка качества сельскохозяйственной продукции и прогнозирование урожайности, фитосанитарный мониторинг и раннее обнаружение болезней растений, селекционный анализ.

Параметры и особенности

Мультиспектральные видеокамеры, регистрирующие данные за один кадр, на сегодняшний момент строятся на нескольких основных принципах. Среди них комбинация чувствительных элементов с различной спектральной чувствительностью на единой площадке матричного приемника излучения, объединение нескольких отдельных оптических систем с матричным приемником излучения под корпусом одного устройства и применение различных оптических элементов, выделяющих узкий спектральный диапазон излучения и располагаемых непосредственно перед чувствительными элементами матричного приемника излучения.

Для преодоления недостатков перечисленных методов (перекрестные помехи, снижение области перекрытия изображений различных спектральных каналов, необходимость синхронизации получения данных и отсутствие возможности адаптации параметров спектральных каналов под конкретную задачу) с сохранением их преимуществ авторами проекта разработан принцип единовременного сбора спектральных данных путём формирования нескольких спектральных изображений на одном матричном приемнике излучения с помощью мультиапертурной системы и стеклянного спектрального растра без применения единого входного объектива. (РИД [18]). При таком сборе данных обеспечиваются ► а) одновременная регистрация массива пространственно-спектральных данных

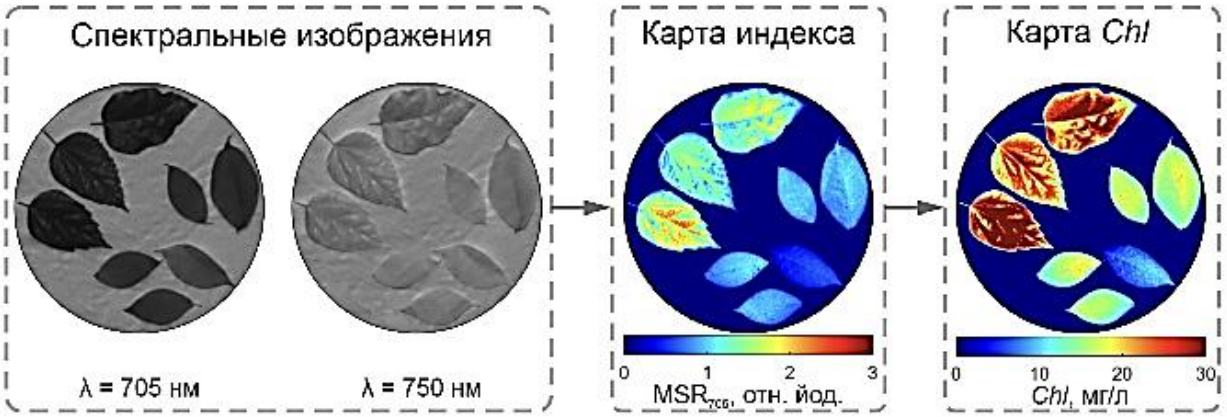


Рис.2 *Алгоритм определения пространственного распределения концентрации хлорофилла.*

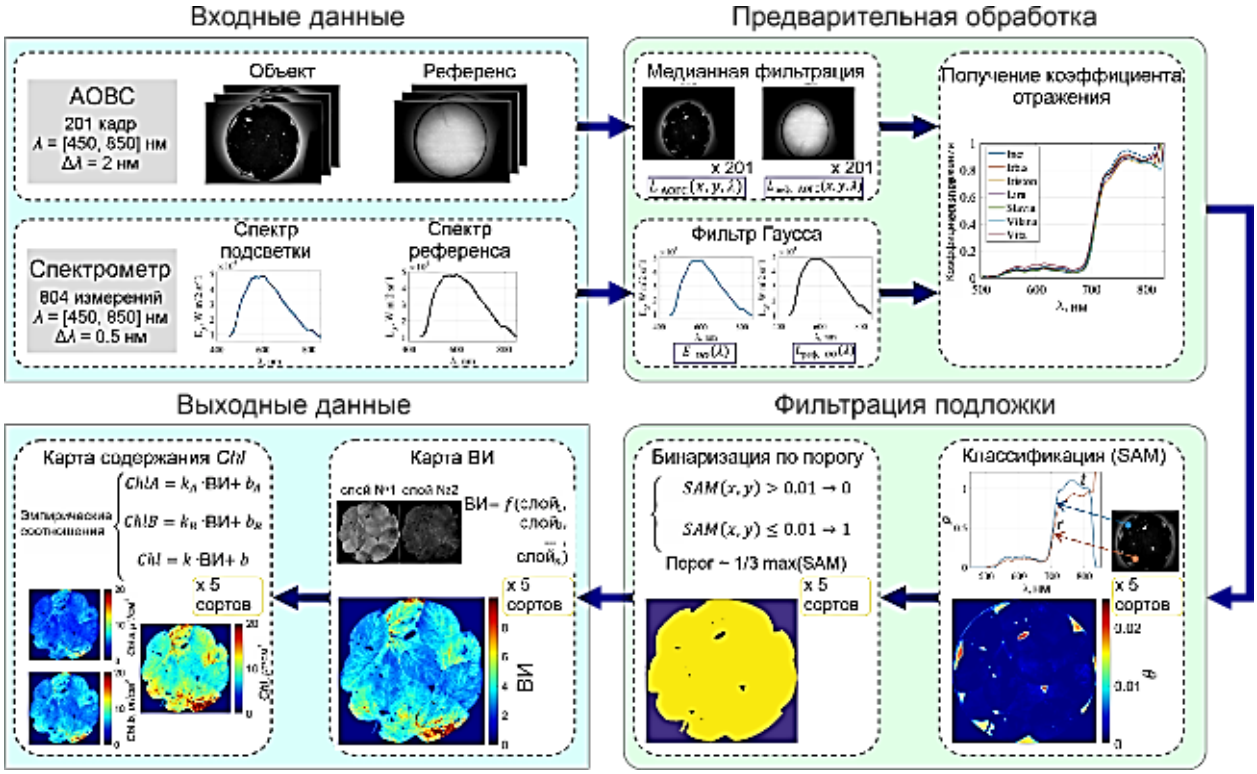


Рис.3 *Алгоритм обработки спектральных данных.*

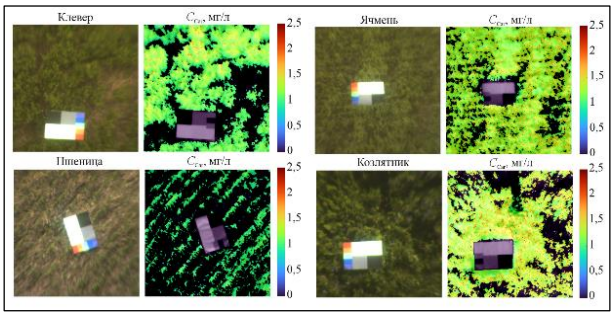
без сканирования, что гарантирует высокую производительность съемки, высокое качество регистрируемых данных и работу в режиме реального времени; ► б) сравнительно малые массогабаритные характеристики, подходящие для создания портативных устройств, в том числе для работы в качестве полезной нагрузки систем беспилотных летательных аппаратов (БПЛА); ► в) возможность съемки в нескольких спектральных каналах в пределах спектрального диапазона приемника излучения, а также простота варьирования этих параметров в широком спектральном диапазоне для адаптации к решению различных задач.

Разработанная мультиспектральная видеосистема построена на уникальном принципе регистрации спектральных изображений на основе деления оптической апертуры. Она была создана для работы в видимом диапазоне и области красного края (300-1000 нм 16 каналов, 450-850 нм, 8 каналов) и апробирована в задачах точного земледелия. Внешний вид и схема компоновки представлена на ***рис.1***, характеристики разработанных видеосистем приведены в ***табл.1*** и ***2*** (публикации [1,2], РИД [18])

В ряде исследований показано, что картирование спектральных характеристик позволяет значительно повысить чувствительность и специфичность диагностики, особенно в задачах идентификации и дифференциации, а также различения схожих по спектральной экспрессии, но разных по морфологии проявления параметров. Кроме того, визуализация свойств повышает наглядность, удобство и качество интерпретации данных. Мультиспектральные устройства, построенные на таком принципе, по совокупности



а)



б)

Рис.4 *Внешний вид (а) моделей устройства при установке на подъемник и БПЛА и примеры получаемых карт (б) содержания пигментов с борта БПЛА*

ключевых параметров (информативность, производительность, масса и габариты, возможность адаптации под конкретные решаемые задачи) не имеют аналогов в России и мире.

Опыт практического применения

1. Разработаны бесконтактные методы надежного картирования содержания хлорофилла в растительных тканях с помощью видеоспектрометрии (***рис.2***). Предложены методы пересчета количественных спектральных метрик в содержание пигментов различных культур. (публикации [3-6], РИД [20]).

2. Разработаны программные средства, позволяющие проводить регистрацию, пространственно-спектральную коррекцию и последующую интерпретацию спектральных данных в задачах картирования свойств растительных тканей и бесконтактной диагностики состояния растительности. (публикация [7]).

3. Разработаны методы и алгоритмы обработки изображения (***рис.3***) для автоматизированной классификации и сегментации растительных биообъектов по данным съемки видеоспектрометром. (публикации [8, 9]).

4. Показана эффективность разработанных средств видеоспектрометрии в задачах:

- картирования пигментов тканей растительности (пшеница, ячмень, тритикале, клевер, соя, берёза, декоративные растения и др.). (публикации [1,2,5,6], РИД [19])
- оценки зрелости, качества и оптимизации химизации хранения овощей и плодов (томаты, яблоки, персики, нектарины, земляника садовая). (Публикации [10-12,13]).
- контроля качества семенного материала (пшеница, ячмень, тритикале). (публикации [14, 15-17]).

5. Проведена апробация мультиспектральных систем для картирования показателей в полевых условиях при базировании устройства на сельскохозяйственной технике и БПЛА. Внешний вид при установке и полученные в результате обработки карты содержания хлорофиллов в растениях приведены на ***рис.4***.

Локализация производства

Производство большей части компонентов мультиспектральной видеокамеры, в том числе ключевых, имеет российскую локализацию. К ключевым компонентам относятся оптические элементы (линзы, миниатюрные объективы, светофильтры мультиспектрального растра) и механические детали (оправы миниатюрных объективов и корпусные элементы мультиспектрального растра). Текущее исполнение включает приемник излучения иностранного производства, который, однако, при необходимости может быть заменен на аналоги российского производства.

Выход на рынок

Год появления разработки на рынке – 2024-й. Пройдены основные этапы вывода разработки на рынок: публикация рекламы (листовки и каталоги НТЦ УП РАН) разработки, демонстрация разработки на выставке (выставка научно-производственных достижений «День поля - 2025» (Владикавказ, 2025), заключение контракта на изготовление (число заключенных контрактов – 5), поставка заказчику (8 поставок, включая ПНИИСХ ПФИЦ УрО РАН, ИФХЭ РАН, МГТУ им. Н.Э.Баумана и др.).

Список использованных источников

Публикации

[1]. *В.И.Батшев, А.В.Крюков, А.С.Мачихин, А.А.Золотухина* / Оптическая система мультиспектральной видеокамеры // Оптический журнал. 2023. Т.90, №11, С.113–123. DOI: 10.17586/1023-5086-2023-90-11-113-123

[2]. *Мачихин А.С., Воробьев Н.И., Ладан С.С., Лысов А.К., Гурылева А.В., Долженко В.И.* / Отечественная мультиспектральная камера для дистанционного анализа спектральных характеристик отражения растений и нейросетевой постобработки // IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве», посвященной 300-летию Российской академии наук, г. С.-Петербург, 2024

[3]. *A.Zolotukhina, A.Machikhin, A.Guryleva, V.Gresis, V.Tedeeva*. / Extraction of chlorophyll concentration

maps from AOTF hyperspectral imagery. // Frontiers in Environmental Science, 2023. V.11. №1152450.DOI: 10.3389/fenvs.2023.1152450
[4]. *Zolotukhina, A.; Machikhin, A.; Guryleva, A.; Gresis, V.; Kharchenko, A.; Dekhkanova, K.; Polyakova, S.; Fomin, D.; Nesterov, G.; Pozhar, V*. / Evaluation of Leaf Chlorophyll Content from Acousto-Optic Hyperspectral Data: A Multi-Crop Study. Remote Sens. 2024, 16, 1073. DOI: 10.3390/ rs16061073
[5]. Методика получения пространственного распределения концентрации хлорофилла с помощью изображающих спектрометров в задачах экомониторинга / *А.А.Золотухина, А.В.Гурылева, А.С.Мачихин, В.О.Гресис* // Оптические методы исследования потоков : Труды XVII Международной научно-технической конференции, Москва, 26–30 июня 2023 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. – С. 557-561. – EDN FOOHSA.
[6]. Определение концентрации хлорофилла растений нескольких культур методом видеоспектрометрии / *А.А.Золотухина, А.В.Гурылева, В.О.Гресис, Дехканова К.Р., Полякова С.С., Нестеров Г.В., Платонова Н.Б.*// Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации : Труды XVI Международной научно-технической конференции, Суздаль, 09–12 октября 2023 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. – С.394-398. – DOI 10.25210/armimp-2023-QXALVJ. – EDN QXALVJ.
[7]. Корреляция спектрофотометрических, гиперспектральных и флуометрических измерений содержания хлорофилла в листьях растений / *С.С.Баташова, А.А.Золотухина, А.В.Гурылева, А.С.Мачихин* // XIII международная конференция по фотонике и информационной оптике : СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ, Москва, 24–26 января 2024 года. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2024. – С. 573-574. – EDN ECKYCL.
[8]. Золотухина А. А. Обработка данных гиперспектральной съёмки для диагностики количества органического вещества растительности в задачах экомониторинга / А.А.Золотухина, В.И.Букова // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тезисы докладов Двадцать девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 16–18 марта 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2023. – С.305. – EDN KVESJV.
[9]. Методика оценки засоренности семенного материала с помощью нейросетевой обработки гиперспектральных данных / *Г.В.Нестеров, А.А.Золотухина, А.В.Гурылева, Д.С.Фомин* // Современные технологии научного приборостроения и информационно-измерительных систем : Труды Международной научно-технической конференции, Москва, 23 июня 2023 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. – С.99-101. – EDN HIVEWO.
[10]. *С.С.Баташова, А.А.Золотухина, А.В.Гурылева* [и др.] / Метод автоматизированной оценки эффективности средств повышения сохранности плодов с помощью акустооптического видеоспектрометра // Оптический журнал. – 2024. – Т.91, №7. – С.25-36. – DOI 10.17586/1023-5086-2024-91-07-25-36.
[11]. *М.А.Толкачева, А.В.Гурылева, В.В.Введенский* / Мультиспектральное исследование томатов с различным уровнем содержания калия, как элемента минерального питания // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2021. – №2(48). – С.11-14. – DOI 10.32935/2221-7312-2021-48-2-11-14.
[12]. *Г.В.Нестеров, А.В.Гурылева, М.О.Шарикова, С.А.Суханова, А.С.Мачихин* / Исследование возможности применения гиперспектральной съемки для оценки свежести плодов земляники // Компьютерная оптика, принято к публикации, Выпуск 1 (февраль 2025)
[13]. Контроль качества плодов персика средствами гиперспектральной визуализации / *Н.Б.Платонова, В.А.Кунина, С.С.Баташова [*и др.] // Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации :Труды XVI Международной научно-технической конференции, Суздаль, 09–12 октября 2023 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. – С.399-404. – DOI 10.25210/armimp-2023-ZJSHUU. – EDN ZJSHUU.
[14]. Программный модуль для обработки спектральных изображений / *Г.В.Нестеров, А.В.Гурылева, А.С.Мачихин* [и др.] // Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации : Труды XVI Международной научно-технической конференции, Суздаль, 09–12 октября 2023 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. – С.361-364. – DOI 10.25210/armimp-2023-QKJTDS. – EDN QKJTDS.
[15]. Методика определения засорённости семенного материала на основе обработки гиперспектральных данных с помощью нейросетевых технологий / *Г.В.Нестеров, А.А.Золотухина, А.В.Гурылева* [и др.] // Развитие современных систем земледелия и животноводства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды : Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 110-летию Пермского НИИСХ, Пермь, 05–07 июля 2023 года / Науч. редколлегия: *К.Н.Корляков* [и др.]. – Пермь: Издательство «От и До», 2023. – С. 318-326. – EDN NONQYZ.
[16]. Разработка методики выявления примесей в семенном материале зерновых культур с помощью нейронных сетей по данным гиперспектральной съемки / *Г.В.Нестеров, А.А.Золотухина, А.В.Гурылева* [и др.] // Оптические методы исследования потоков : Труды XVII Международной научно-технической конференции, Москва, 26–30 июня 2023 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. – С.644-649. – EDN FGLZHH.
[17]. Методика оценки засоренности семенного материала с помощью нейросетевой обработки гиперспектральных данных / *Г.В.Нестеров, А.А.Золотухина, А.В.Гурылева, Д.С.Фомин* // Современные технологии научного приборостроения и информационно-измерительных систем : Труды Международной научно-технической конференции, Москва, 23 июня 2023 года. – Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. – С.99-101. – EDN HIVEWO.

Зарегистрированные результаты интеллектуальной деятельности по теме проекта

[18]. Патент № 2800054 C1 Российская Федерация, МПК G01J 5/08, G01J 3/02. Способ одновременной регистрации мультиспектральных изображений : № 2022129446 : заявл. 14.11.2022: опубл. 17.07.2023 /

А.С.Мачихин, В.И.Батшев, А.В.Крюков; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр

[19]. Патент № 2820777 C1 Российская Федерация, МПК G01J 3/457. Способ безэталонной коррекции нелинейного отклика видеоспектрометра : № 2023129163 : заявл. 10.11.2023 : опубл. 10.06.2024 / *А.С.Мачихин, А.А.Золотухина, А.В.Гурылева, М.О.Шарикова*; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук. – EDN FYHPYA.

[20]. Патент № 2820545 C1 Российская Федерация, МПК G01N 21/27. Способ бесконтактного определения пространственного распределения концентрации пигментов растений: № 2023121909: заявл. 22.08.2023 : опубл. 05.06.2024 / *А.С.Мачихин, А.А.Золотухина, А.В.Гурылева, Д.С.Фомин*; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук. – EDN PFQBND.

Оптическое общество имени Д.С.Рождественского совместно с Институтом спектроскопии РАН начинают прием заявок на конкурс 2026 года по присуждению молодым ученым (до 35 лет) медали имени профессора В.С.Летохова за новаторские работы по лазерной физике, спектроскопии и их приложениям.

Награждение будет проводиться отдельно по двум номинациям:
а) фундаментальные и б) прикладные исследования.
В каждой номинации будет награждено не более двух кандидатов.

Для участия кандидатов в конкурсе необходимо направить **не позднее 2 октября 2026г.** электронной почтой в адрес секретаря комиссии по приёму заявок *Антона Евгеньевича Афанасьева* (afanasiev@isan.troitsk.ru) следующие материалы:

1. *Краткую научную биографию кандидата, включая указание учёной степени, адреса электронной почты и номера мобильного телефона для связи;*
2. *Полный список научных трудов кандидата;*
3. *Представление Учёного (научного или научно-технического) совета организации или его подразделения, включающее характеристику работы или работ кандидата, положенных в основу выдвижения, их значение для развития оптических наук или технологий, а также указание номинации (фундаментальные или прикладные исследования), по которой происходит выдвижение с краткой (одно предложение) формулировкой, за что выдвигается кандидат.*

К рассмотрению допускаются работы кандидатов, опубликованные в открытых рецензируемых источниках. Не принимаются работы, за которые кандидат был удостоен государственных наград, правительственных премий или премии Президента Российской Федерации.

Полученные представления будут рассмотрены комиссией в соответствии с положением о медали.
Подведение итогов конкурса состоится в конце ноября 2026г.
Награждение победителей планируется на одном из научных семинаров ИСАН, на котором будут заслушаны доклады победителей.
Дополнительные материалы по составу комиссии и срокам можно найти на сайте Института спектроскопии РАН (www.isan.troitsk.ru).



Медаль имени В.С.Летохова учреждена Оптическим обществом имени Д.С.Рождественского в 2012г. в честь выдающегося ученого профессора Владилена Степановича Летохова (1939-2009) – пионера в области лазерной физики и спектроскопии в России и за рубежом. Его работы положили начало развитию целого ряда важнейших научных направлений – нелинейной внутридоплеровской спектроскопии, лазерной ИК фотохимии, физики ультрахолодных атомов, атомной оптики, лазерной масс-спетрометрии. Эти идеи и предложения были блестяще реализованы им и его сотрудниками в метрологии, лазерном разделении изотопов, ультрачувствительном спектральном анализе, спектромикроскопии и других областях науки и техники.

Александр Геннадьевич Игнатов
(1954 – 2026)



19 апреля с.г. на 72-м году жизни скончался **Александр Геннадьевич Игнатов**, один из ведущих отечественных экспертов в области лазерной сварки, активный участник проектов Лазерной ассоциации, организатор Санкт-Петербургского (с 1994г. – Северо-Западного) регионального центра ЛАС, в течение многих лет избиравшийся его ответственным секретарём.

После окончания Томского политехнического института Александр Геннадьевич в 80-90гг. работал в Ленинграде на Ижорском заводе и в ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей», в НПО «Ритм», став одним из первых отечественных производственников – специалистов по лазерной сварке, участником ряда пионерских работ по внедрению этой технологии в советской атомной отрасли и судостроении. Создав в 1992г. собственную компанию «ЛазерИнформСервис», он принял активное участие во многих внедренческих проектах по лазерной сварке, в т.ч. в разработке вместе со специалистами ВНИИЭФА технологии лазерной сварки элементов центральной сборки дивертора – ключевого компонента международного экспериментального термоядерного реактора (проект ИТЭР). Работая в 2011-2014гг. в должности главного сварщика НПО «ИРЭ – Полюс», Александр Геннадьевич в короткие сроки сформировал эффективную рабочую группу, занявшуюся разработкой и внедрением инновационного сварочного оборудования на базе мощных волоконных лазеров, организовал испытательно–аналитическую лабораторию и внёс значительный вклад в создание силами «ИРЭ – Полюс» лазерных производственных комплексов на Урале, в Казани, в Набережных Челнах. В 2019-2024гг. он являлся научным сотрудником Михайловской военной артиллерийской академии. В процессе своей исследовательской и производственной деятельности он стал автором 10 изобретений и 97 научных публикаций, часть которых была посвящена применению лазерных технологий в системах ПВО и ПРО. Работая в информационном поле, он активно сотрудничал со СМИ, выступая аналитиком лазерной отрасли и применений лазерных технологий. Александр Геннадьевич Игнатов сыграл важную роль в формировании в 1993г. и дальнейшем развитии Северо-Западного центра Лазерной ассоциации. Во многом благодаря именно его активным усилиям этот центр быстро стал эффективной рабочей площадкой для налаживания связей и кооперации между разработчиками лазерных систем и промышленными предприятиями региона, для организации участия лазерно-оптического сообщества Петербурга в программах Лазерной ассоциации.

Все, кому довелось работать с Александром Геннадьевичем в различных организациях и проектах, знали его как высококвалифицированного эксперта, человека широкого кругозора, глубоко неравнодушного, имеющего увлекать своими идеями окружающих, готового помогать и делиться опытом.

Светлая память этому прекрасному человеку и специалисту!

Правление Лазерной ассоциации *Совет Северо-Западного РЦ ЛАС*
Редакция журнала «Ритм машиностроения» *Коллеги и друзья*

ХРОНИКА

26-я международная выставка «Металлообработка-2026»

В МВЦ «Крокус Экспо» с 12 по 15 мая 2026 года прошла 26-я Международная выставка **«Металлообработка»**. Организатор выставки — АО «ЭКСПОЦЕНТР» при официальной поддержке Министерства промышленности и торговли РФ, под патронатом ТПП РФ и при участии ведущих отраслевых объединений.

Мероприятие традиционно считается одним из самых масштабных выставочных проектов России в сфере станкостроения и металлообработки. Проект объединяет представителей металлообраба-

тывающей промышленности России, стран СНГ, Ближнего и Дальнего Востока и других государств уже более 40 лет.

Экспозиция 2026 года включала интеллектуальные станочные системы, автоматизированные производственные линии, программное обеспечение для «умного» производства, новые материалы, контрольно-измерительные системы, а также разработки для станкоинструментальной промышленности.

Площадь экспозиции превысила 80 000 кв. м, заняв первый уровень всех павильонов комплекса. В выставке приняли участие более 1 200 компаний из 8 стран: Индии, Италии, Казахстана (впервые), Китая, Республики Беларусь, Республики Корея, России и Турции. На выставке были представлены коллективные экспозиции 11 субъектов РФ.

Стенд компании ООО «ВПГ Лазеруан»

26-я Международная выставка «Металлообработка» продолжила тренды последних лет на переход к «Индустрии 4.0», роботизацию и внедрение аддитивных технологий. В этом году заметно возросло количество демонстрируемых роботизированных решений. Компания «ВПГ Лазеруан» не осталась в стороне и представила роботизированные ячейки LightBOT, оснащенные ручными лазерными аппаратами, под задачи сварки и наплавки как проволокой, так и порошком.

Экспозиция «ВПГ Лазеруан» подчеркнула стратегический фокус компании на полный цикл разработки и производства российской волоконной техники: от отдельных компонентов до сложных комплексов с внедрением «под ключ».

На выставке состоялась премьера обновленной линейки ручных систем LiteWELD (лазерная сварка) и LightCLEAN (лазерная очистка). Инженеры компании провели масштабную работу в части доработки технических возможностей, ПО и промышленного дизайна.



Роботизированные ячейки LightBOT.

Основные тренды выставки:

- ***Аддитивные технологии*** (3D-печать металлом, гибридные системы «наплавка + фрезеровка»)
- ***Роботизация производства*** (коллаборативные роботы, автоматизированные ячейки)
- ***Цифровизация и ИИ*** (снижение затрат производства на 20-30%, анализ неисправностей станков за 10–15 минут, системы ЧПУ собственного производства)
- ***Импортозамещение и технологический суверенитет*** (переход от макетов к работающим российским станкам, отечественное ПО и ЧПУ)
- ***Лазерная резка*** (оптимизация раскроя, работа 24/7, увеличение размеров и скоростей резки материалов больших толщин)

Аддитивные технологии на выставке были представлены следующими компаниями:

1. *«Лазеры и аппаратура ТМ»* — комплекс послойного выращивания металлических деталей из порошка, лазерный станок для сварки/резки/наплавки, система ЧПУ собственного производства.

2. *АО «Лазерные системы»* — полная линейка аддитивного оборудования: комплексы печати изделий различного размера из широкого спектра порошковых материалов по технологии SLM

3. *ООО «ОНСИНТ»* — SLM- и SLS-принтеры для печати из металла и пластика (AM150, AM350, SM200, SM300).

4. *ИЛИСТ СПбГМТУ* — комплексы прямого лазерного выращивания изделий различного масштаба и различное периферийное оборудование

5. *ГК «Диполь»* (Центр аддитивных технологий) — 3D-принтеры по технологии SLM, SLS, SLA и 3D-сканеры.

6. *3DLAM* — установки печати металлами по технологии SLM.

7. *ASGARD* — дозирующий станок с ЧПУ, координатный манипулятор (для интеграции с аддитивными процессами).

8. *3D ВИЖН ДИСТРИБЬЮШЕН* — различное оборудование и технологии печати металлами.

9. *3D КОНТРОЛЬ* — решения для быстрого прототипирования, обработка изделий.

10. *Московский завод полиметаллов* (в составе Росатома) – компактный 3D-принтер для учебных заведений и научных институтов.

11. *E-plus 3D* (в составе ГК «Диполь») – принтеры по технологии SLM китайского производства

12. *SYNCAM* (Аддитивный центр) — 3D-печать металлических изделий сложной геометрии, лазерная резка и сварка

Роботизация производства была представлена на стендах компаний:

1. *ООО «Термолазер» (Росатом)* — мобильный роботизированный комплекс на базе волоконного лазера, который выполняет операции лазерного термоупрочнения и лазерной наплавки поверхностей деталей в автоматизированном

режиме по заранее составленной программе.
2. *ООО «Промобот»* — первый отечественный коллаборативный манипулятор Promobot M13, включённый в реестр № 719 Минпромторга России. Робот выполняет шлифовку деталей, загрузку/выгрузку станков с ЧПУ в реальном времени
3. *ООО «Роботех»* — промышленный 3D-принтер Robotech SandMax 1200 (изготовление литейных форм без оснастки), промышленный робот Robotech RX50 с ПО собственной разработки.
4. *ООО «ДиКом-Сервис»* — автономный мобильный робот-штабелер ДиКом DMR Carrier P (FMR), автономный мобильный робот с надстройкой для перевозки/загрузки/выгрузки материалов ДиКом DMR 300 Carrier B, слесарная роботизированная ячейка ДиКом D.
5. *ООО «Робокомпонент»* — устройства и технологии, позволяющие промышленному роботу выполнять загрузку и выгрузку станков с ЧПУ, устройства для гибкой переналадки РТК в ручном и автоматическом режиме
6. *ГК «Прикладная робототехника»* — манипулятор ARM165 с демонстрацией сварочных операций, автоматизированной загрузкой заготовок для станков с ЧПУ, высокоточной полировкой сложных поверхностей.
7. *ООО «АтомИнтелМаш»* — интеллектуальный сварочный комплекс, робот полировки и шлифовки с позиционером для обработки высокоточных компонентов, РТК загрузки и выгрузки станков.
8. *ООО «Робопро»* — турникет с контролем доступа «Ротор» от ООО «Инфоматика», магнитные двигатели АО НПО «Андроидная техника», ячейка демонстрации на базе робота AC10-1300 от АО «Эйдос Робототехника»
9. *ООО «Индутех»* — решения для автоматизации и оптимизации производственных процессов.



Мобильный роботизированный комплекс на базе волоконного лазера ООО «Термолазер».

10. *ООО «Интеллектуальные робот-системы»* — решения по автоматизации и роботизации технологий сварки и наплавки.
11. *ASGARD* — дозирующие роботы ASGARD R20 для герметизации, смешивания и нанесения многокомпонентных материалов, координатный манипулятор для герметизации
12. *ООО «ИДЭЙ Роботикс»* (резидент Технопарка «Коралл») – робототехнические решения для промышленности.
13. *АО «Корпорация Робототехники»* — коллективный стенд «Enterprises in Robotics» и Минпромторга РФ.
14. *АО «Эйдос Робототехника»* — коллаборативный робот AC10-1300.

Выводы по итогам докладов секций деловой программы выставки

1. *«Презентация российских решений: станкоинструмент и аддитивное оборудование»*

✓ Доклад *Д.Трушникова*, компания «xWeld» (Лазерная наплавка проволокой совершенствуется в направлении улучшения качества поверхности, что минимизирует последующую постобработку.)

✓ Доклад *А.Тырсы*, компания «ПИКАСО 3Д» (Аддитивные технологии в РФ будут развиваться по причине идеального размера серий продукции. Они остаются небольшими в отличие от Китая, что делает печать экономически обоснованной. Из пластика изготавливаются как прототипы, так и серийные устройства (в первую очередь − корпуса приборов).

✓ Доклад *М.Канищева*, компания «Парк 3Д» (Компания — резидент Сколково, специализируется на печати скульптур методом проволочной наплавки. Основой технологии является электродуговой процесс с контролем толщины слоя, что обеспечивает получение изделий с заданной геометрией и качеством поверхности. В производстве также используются проволоки из цветных металлов, в связи с чем может представлять интерес применение лазеров зеленого спектрального диапазона для ряда задач обработки.

✓ Доклад *А.Борзаева*, компания «Прикладная механика» (Компания предлагает станки с совмещением лазерной и плазменной резки металлов. По их мнению, такой подход обеспечивает более универсальное решение для различных производственных задач. Кроме того, компания развивает направление создания роботов-погрузчиков, предназначенных для комплектации станков и обеспечения подачи и удаления заготовок).

2. *Практическая сессия «Роботизация в промышленности: от пилотных кейсов к устойчивому масштабу»*

В очередной раз были озвучены проблемы, с которыми сталкиваются конечные потребители и интеграторы промышленной робототехники, а также драйверы роста отрасли. Примечательно, что в приведенной статистике было сказано, что

конечный потребитель готов инвестировать в решения, которые охватывают несколько задач на базе одного робота. Также интеграторам необходимо перестраивать работу с конечным потребителем на информирование его о стоимости, путях решения и т.д., а не проводить процедуру анкетирования. Главный тезис сессии – внедрение одного робота в большинстве случаев не дает желаемого эффекта, необходимо встраивать робототехнические решения комплексно, подстраивать, а часто перестраивать целые производственные цепочки, и тогда внедрение РТК дадут кратный экономический эффект.

3. *Сессия «Презентация российских решений: промышленная робототехника»*

Тренд – развитие концепции модульных конструкций: взаимозаменяемых, масштабируемых, унифицированных (по типу LEGO, как это реализовано в компании «Битроботикс»).

4. *Сессия «Сварка – основа технологического суверенитета и лидерства России»*

Из тенденций следует отметить увеличение локализации производства (на примере «РобоПро»: покупные компоненты из КНР – платы и редукторы).

Ключевые выводы выставки «Металлообработка-2026»:

В рамках выставки представлен широкий перечень металлообрабатывающего оборудования на основе лазерной техники:

⇒ Заметна тенденция на внедрение лазерного оборудования (в особенности, привлекательных по цене ручных сварочных аппаратов) в промышленные роботизированные комплексы или гибкие коллаборативные решения;

⇒ Компании стремятся расширить серийные линейки оборудования. В частности, компания «ИЛИСТ СПбГМТУ» представила линейку комплексов прямого лазерного выращивания изделий различного масштаба по технологии КЛП; специализирующиеся на раскрое металла компании «Лассард» и «Юнимаш» стремятся вывести на рынок лазерные станки с увеличенным полем и производительностью, не снижая при этом цену комплекса, а формируя привлекательность решения за счет уменьшения стоимости владения;

⇒ Активно совершенствуется отечественное ПО. Отдельные отрасли все чаще внедряют ИИ в производственные процессы;

⇒ Аддитивные технологии (SLS/SLM) заняли свою нишу в отрасли; линейки оборудования пополняются машинами с увеличенной зоной построения; совершенствуются технологии выращивания; печать становится коммерчески привлекательной и для мелко-/среднесерийного производства изделий с достаточно простой геометрией

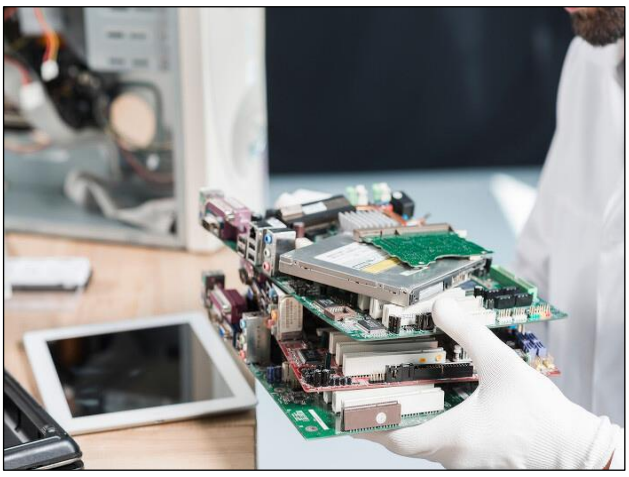
В.А.Черменский, С.Г.Нищук, И.А.Ломакин, Д.В.Протасеня, А.В.Пересторонин, М.Р.Григоров, ООО «ВПГ Лазеруан»

ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ

Для контроля качества чипов в России создан собственный лазерный комплекс

В научно-исследовательском центре Positive Technologies в июне 2026г. разработан первый российский лазерный комплекс для проверки микроэлектроники на уязвимости. В частности, с помощью данного оборудования можно проводить проверку микросхем, которые используются в банкоматах, банковских картах, криптокошельках, смартфонах iPhone, устройствах интернета вещей, автомобильных блоках управления и даже орбитальных спутниках.

Создание лазерного комплекса



В России создали первый лазерный комплекс для проверки чипов, пишут «Ведомости». Он позволит проверять микросхемы в смартфонах и банковских картах на уязвимости.

Научно-исследовательский центр компании Positive Technologies разработал первый российский лазерный комплекс для проверки микроэлектроники на уязвимости. До 2022г. приобрести оборудование для таких исследований отечественные игроки могли у французской Alphanov и нидерландской Riscure. В России же такие устройства до 2026г. не производились.

Комплекс предназначен для тестирования микросхем в условиях, максимально приближенных к реальным, в частности, для оценки возможности их физического вскрытия, обхода встроенных механизмов

защиты и извлечения данных, пояснил эксперт Национальной технологической инициативы (НТИ) по микроэлектронике и электронной промышленности *Сергей Сазонов*.

Как уточнил руководитель research and development (R&D)-центра Positive Labs *Алексей Усанов*, с помощью данного оборудования можно проводить проверку чипов, используемых в банкоматах, банковских картах, криптокошельках, смартфонах iPhone, устройствах интернета вещей (IoT), автомобильных блоках управления и орбитальных спутниках. По его словам, без подобного специализированного оборудования невозможно в полном объеме анализировать уровень безопасности иностранных чипов, а также подтверждать качество защиты отечественной элементной базы.

Необходимость в устройстве

Использование лазерного комплекса для тестирования безопасности интегральных схем носит многогранный характер. Оно позволяет проводить моделирование физических атак, визуализацию внутренних процессов чипа, вскрытие корпусов, анализ побочных электромагнитных и энергетических каналов, а также применять другие методы выявления уязвимостей и оценки стойкости готовых устройств, отметил независимый аналитик и автор Telegram-каналов abloud62 *Алексей Бойко*.

Без такого комплекса сложно в полной мере оценить уровень защищенности чипа, особенно когда речь идет о ИТ-компонентах, используемых в банковских картах, смартфонах, банкоматах, автомобильной электронике или спутниковых системах, отметил *Сергей Сазонов*. *«Смысл разработки вполне очевиден: это попытка закрыть важный технологический пробел и предоставить российским компаниям собственный инструмент для проверки безопасности микроэлектроники»,* — резюмировал эксперт. В теории аналогичные методы могут использоваться и в атакующих целях. Если злоумышленнику удается точно синхронизировать лазерный импульс с критическим моментом работы микросхемы, существует возможность нарушить процесс проверки, пропустить запрещенную команду, обойти контроль доступа или вмешаться в выполнение защищенной операции.

Цена вопроса

Публично стоимость создания подобных комплексов, как правило, не раскрывается, поскольку речь идет не о простой покупке лазера, а о специализированной лабораторной системе, отметил руководитель проектов холдинга SNDGlobal *Константин Лапотко*. По его словам, в стоимость входит не только сам источник излучения, но и высокоточная оптика, системы микропозиционирования, контроль фокуса, программное обеспечение (ПО), средства наблюдения, калибровка, обеспечение безопасности, а также методическая составляющая. *«Без методической части это просто дорогой стол с лазером»,* — подчеркнул *Лапотко.* По его оценке, стоимость такого комплекса начинается от нескольких десятков миллионов рублей и выше, особенно если требуется не демонстрационная, а стабильная исследовательская конфигурация.

По словам *Сергея Сазонова*, такое оборудование стоит достаточно дорого, поскольку относится к категории высокотехнологичных исследовательских систем, а не массовой продукции. Его стоимость зависит от набора функций, точности, ПО и уровня автоматизации. В базовой комплектации цена, скорее всего, составляет десятки миллионов рублей, в то время как более продвинутые конфигурации могут стоить существенно дороже. По мнению *Сазонова*, наибольший интерес к такому оборудованию ожидается со стороны банков и платежных компаний, для которых безопасность чипов напрямую связана с финансовыми рисками и доверием клиентов. Также комплексы будут востребованы производителями электроники, разработчиками IoT-устройств, автопроизводителями и компаниями, работающими в космической и промышленной отраслях, резюмировал эксперт.

По словам *Алексея Бойко*, такое оборудование потенциально необходимо любому разработчику микросхем, предназначенных для критически важных применений, включая военные. Особенно это актуально для компаний, которые размещают производство своих чипов на зарубежных фабриках.

https://importfree.cnews.ru/news/top

* * *

Пентагон испытал лазер LOCUST, который сбивает дроны без риска для гражданских самолётов

Пентагон совместно с компанией AeroVironment и Федеральным управлением гражданской авиации США (FAA) завершил испытания лазерного оружия LOCUST, предназначенного для борьбы с дронами.

Ключевой особенность тестов стала демонстрация способности лазера поражать беспилотники, не создавая угрозы для находящихся поблизости гражданских самолетов. Как сообщила компания в этом месяце, испытания прошли на ракетном полигоне Уайт-Сэндс в Нью-Мексико в начале марта. Мероприятие было организовано Межведомственной оперативной группой 401 (Joint Interagency Task Force 401) — подразделением Пентагона, которое специализируется на противодействии угрозам со стороны малых дронов и координирует усилия между различными государственными структурами.

В ходе испытаний проверялась способность лазерной системы безопасно обнаруживать и поражать цели в условиях, приближенных к реальным, при наличии гражданского воздушного движения. Официальные лица подтвердили, что автоматическая система безопасности оружия сработала штатно, и лазер открывал огонь только по разрешенным целям. По данным AeroVironment, лазер LOCUST успешно поразил как неподвижные, так и движущиеся воздушные цели. Компания пояснила, что сценарии испытаний были максимально приближены к реальным условиям работы в воздушном пространстве США. Критически важным итогом стало подтверждение того, что работа направленной энергетической системы не повлияла на гражданские рейсы, а испытания не нанесли вреда ни одному из находящихся поблизости воздушных судов. *«Это определяющий момент для систем направленной энергии и будущего*



обороны страны», — заявил *Джон Гаррити*, вице-президент AeroVironment по системам направленной энергии, отметив, что работа LOCUST подтвердила его способность «работать безопасно и эффективно в самом сложном воздушном пространстве в мире». Администратор FAA *Брайан Бедфорд* добавил, что его ведомство провело тщательную проверку перед одобрением мероприятия, и агентство продолжит работу с партнерами для обеспечения безопасности Национальной системы воздушного пространства. *Бедфорд* также подчеркнул, что FAA завершило основанную на данных оценку рисков для безопасности, сделав вывод, что система *«не представляет повышенного риска для летающей публики»*. Этим испытаниям предшествовали более ранние демонстрации с участием военно-морских сил США. В прошлом месяце AeroVironment раскрыла информацию о том, что лазер LOCUST был развернут на борту атомного авианосца «Джордж Буш» в ходе учебных стрельб в октябре 2025 года. То испытание высветило способность системы к быстрому развертыванию. Вместо требования постоянной модификации боевого корабля, лазер был временно установлен прямо на палубе авианосца с использованием цепей.

Инженерам удалось завершить доставку, установку и тестирование всего за один день. В компании отметили, что паллетированная конструкция позволяет избежать длительных сроков и высоких затрат, часто связанных с интеграцией современного оружия на военных судах. Традиционная установка может потребовать обширных доковых работ и надолго вывести корабль из строя. Съемная конструкция также упрощает обслуживание и модернизацию, поскольку лазерный модуль можно заменить без отправки корабля в сухой док. В ходе того события LOCUST поразил каждую назначенную цель, а официальные лица заявили, что результаты показали, как существующие морские экипажи могут быстро адаптироваться к защите на основе направленной энергии без длительных программ переподготовки. До испытаний на кораблях система LOCUST уже использовалась на нескольких наземных платформах, включая стационарные объекты, тактические машины JLTV и машины пехотных отделений. AeroVironment описывает оружие как «независимое от платформы», что означает его способность работать в различных военных условиях с минимальными изменениями.

Лазер также является частью системы противодействия дронам Halo_Shield, которая представляет собой модульную эшелонированную оборону, предназначенную для противодействия растущему числу вторжений беспилотников. Учитывая, что угроза со стороны малых дронов продолжает расти как в военной, так и в гражданской среде, успешное испытание при поддержке FAA может ускорить развертывание лазерных систем ПВО по всей территории США.

https://new-science.ru/

* * *

«Хитрый поляритонный режим»: почему новый лазер потребляет в десятки раз меньше энергии

Российские физики из МФТИ и ИТМО не просто уменьшили лазер до размеров вируса. Они заставили его работать по-новому. Секрет рекордного наноустройства — в так называемом «хитром поляритонном режиме», который кардинально отличается от принципов обычных лазеров.

В традиционных лазерах фотоны рождаются хаотично, в результате случайных скачков отдельных атомов. Российским ученым удалось создать в нанокристалле гибридные частицы — поляритоны, которые «размазаны» по всему объему и испускают свет коллективно. Это позволяет обойти дифракционный предел и требует в десятки раз меньше энергии для накачки.

Такой подход открывает путь к созданию сверхэффективных фотонных чипов для систем искусственного интеллекта. Пока технология работает при сверхнизких температурах (около -193 градусов), но главное уже сделано: доказана сама возможность когерентной генерации синего света в нанообъеме, в 13 раз меньшем длины волны. Теперь задача ученых — научить лазер работать при комнатной температуре.

https://dilato.ru/science/22/04/2026/

«Лазер-Информ»
Издание зарегистрировано
в межведомственной комиссии
МГСНД 26.12.91, Рег. N 281
©Лазерная ассоциация
Перепечатка материалов
и их использование в любой форме
возможны
только с разрешения редакции.

Отпечатано в НТИУЦ ЛАС
Тираж 500 экз.

Главный редактор
И.Б. Ковш
Редактор: Т.А. Микаэлян
Ред.-издательская группа:
Т.Н. Васильева
Е.Н. Макеева

Наш адрес:
117342, Москва, ул. Введенского,
д.3, стр. 1, ЛАС
Телефоны: (495) 333-00-22,
334-47-80
Моб. тел.: +7 916 807 1165
E-mail: info@cislaser.com
http://www.cislaser.com