



**Представляем победителей Конкурса ЛАС (2021)
на лучшую отечественную разработку
в области лазерной аппаратуры и лазерно-оптических
технологий, вышедшую на рынок в 2019-2020гг.**

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

**Фемтосекундный параметрический осциллятор TOPOL
для времяразрешённой спектроскопии
в широком спектральном диапазоне, нелинейно-оптической
микроскопии и метрологических применений.**

ООО «Авеста-Проект» (Москва) – диплом I степени



С момента своего теоретического обоснования С.А.Ахмановым, Р.В.Хохловым, Н.Кроллом и Р.Кингстоном в начале 1960-х годов и появления первых рабочих экземпляров в 1965 году оптические параметрические генераторы света (ПГС или «ОРО» в зарубежной литературе) приковывали к себе значительное внимание как перспективный источник когерентного излучения в очень широком диапазоне длин волн. Однако, ввиду отсутствия подходящих комбинаций достаточно мощных лазеров и материалов с высокими нелинейно-оптическими характеристиками и лучевой прочностью ПГС долгое время оставались на уровне демонстрации физического принципа. В начале 80-х, с появлением и ростом доступности нелинейных кристаллов нового поколения, таких как бета-борат бария (ВВО) и триборат лития (ЛВО), титанил-фосфат калия (КТР), начался период бурного развития параметрических генераторов и усилителей как практически значимых источников когерентного излучения. За последние же два десятилетия

В номере:

- **Представляем победителей Конкурса ЛАС-2021**
 - ▶ Фемтосекундный параметрический осциллятор TOPOL для времяразрешённой спектроскопии в широком спектральном диапазоне нелинейно-оптической микроскопии и метрологических применений
 - ▶ Корректор наклонов волнового фронта ДП-04
 - ▶ Полупроводниковый импульсный лазер с высокой энергетической яркостью ЛПИ-940-7500
 - ▶ Импульсный ветровой лидар ИВЛ-10000
- **Катулин. Взлётная полоса Самарского филиала ФИАН** А.Майорова., В.Афримович
- **ХРОНИКА. ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ**

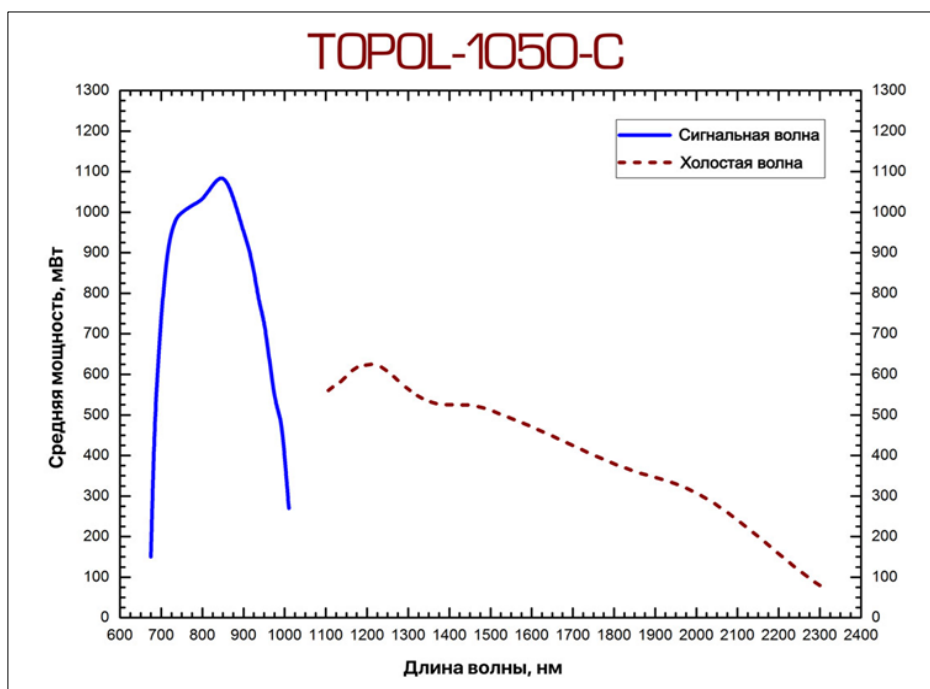


Рис.1 Типичная перестроечная кривая параметрического генератора Avesta Topol-1050-C.

развитие лазерной техники, и в особенности появление мощных инфракрасных фемтосекундных лазеров накачки расширили полосу доступных для параметрических устройств длин волн на весь видимый, ближний и средний ИК диапазоны, а также увеличили их среднюю выходную мощность до мультиваттного уровня. Таким образом, на текущий момент параметрические генераторы превратились в удобный, а подчас и вовсе незаменимый инструмент для фундаментальных и прикладных исследований.

Типичный диапазон непрерывной перестройки длины волны современного импульсного ПГС с накачкой инфракрасным фемтосекундным лазером может простирается от 680 нм до более чем 2300 нм. За счет генераторов гармоник данный диапазон может быть расширен до 340 нм в коротковолновой части. Также существуют фемтосекундные параметрические генераторы со сдвигом выходного излучения в ближний и средний ИК-диапазон, холостая волна которых перестраивается вплоть до 4200 нм и далее. Средняя выходная мощность при этом составляет сотни милливатт (на пике перестроечной кривой — 1 Вт и более), а минимальная длительность импульса — порядка 100 фемтосекунд в большей части диапазона перестройки (рис.1).

Такой набор характеристик излучения открывает новые возможности для существующих методов лазерной спектроскопии и одновременно служит толчком к развитию перспективных экспериментальных техник. Особенная выгода от использования ПГС видна при решении задач визуализации, определения состава и отслеживания быстрой временной динамики в

биологических системах. Например, для многофотонной флуоресцентной микроскопии (2PEF, 3PEF или TPEF), подразумевающей возбуждение исследуемого образца за счёт двух- или трёхфотонного поглощения инфракрасного излучения, очень удобна возможность подстройки длины волны источника излучения под конкретный флуоресцирующий краситель, существенно ограниченная в случае использования традиционного импульсного диодного источника. Ещё более строгие требования на ширину диапазона перестройки и точность установки длины волны источника

накладываются в случае микроскопии с генерацией второй (SHGM) и третьей (THGM)

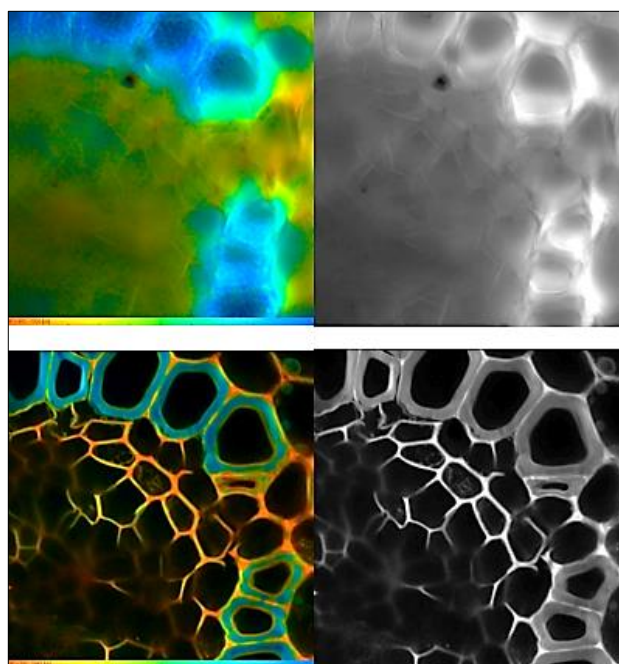


Рис.2 Изображения одного и того же объекта (среза корня ландыша (*Convallaria*), полученные методом микроскопии с визуализацией времени жизни флуоресценции (FLIM) в режиме однофотонного (405 нм, сверху) и двухфотонного (810 нм, снизу) возбуждения с использованием установки на базе фемтосекундного ПГС TOPOL-1050-C. Препарат имеет значительную толщину, что обуславливает значительное преимущество двухфотонного метода визуализации. Изображения любезно предоставлены Евгением Максимовым (ведущим научным сотрудником биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующим лабораторией физико-химии биомембран).

гармоник непосредственно исследуемым образом – метода, позволяющего получать послойные изображения образца без использования специфического красителя (флуорофора). Как в случае TPEF, так и микроскопии на гармониках, полезный сигнал поступает только из малой области фокуса возбуждающего образца пучка, что исключает наличие фоновой засветки и определяет высокую разрешающую способность этих методов по сравнению с традиционной конфокальной микроскопией (**рис.2**).

Другой отличительной особенностью импульсных параметрических генераторов является принципиальная необходимость их синхронной накачки, которая в качестве побочного эффекта приводит к наличию на выходе ПГС одновременно трёх точно синхронизированных друг с другом импульсных последовательностей в виде излучения сигнальной волны, холостой волны и остаточного (непреобразованного) излучения накачки. Это обстоятельство делает привлекательным использование ПГС в качестве источника излучения для спектроскопии с временным разрешением (спектроскопии оптического зондирования, pump-probe спектроскопии), широкополосной КАРС микроскопии, микроскопии вынужденного комбинационного рассеяния (SRS), для которых необходимо наличие двух или более пучков излучения, как правило, с различной длины волны. Наличие такого источника как ПГС в данном случае позволяет зачастую обойтись без дополнительного электронного оборудования для синхронизации двух и более фемтосекундных лазеров (Avesta ALock или аналогов от Menlo Systems, Toptica и др.) или блоков для селекции импульсов и управления относительными задержками между ними (Avesta OG-B / OG-V).

Кроме того, фемтосекундные параметрические генераторы света естественным образом подходят на роль генераторов частотных оптических гребёнок, так как, в отличие от лазерных источников, не имеют вклада от спонтанной люминесценции в спектр выходного излучения. В



Рис.3 Общий вид параметрического осциллятора TOPOL-1050 в моноблочном исполнении.

ПГС длина «активной среды» составляет единицы или десятки миллиметров, что на порядок меньше по сравнению с традиционными генераторами оптических гребёнок на основе волоконных лазеров. Следствием этого является низкий уровень собственного фазового шума ПГС (за счёт неэффективности преобразования амплитудных шумов в фазовые), что позволяет сравнительно легко стабилизировать фазу СЕО – абсолютную фазу световой волны под огибающей импульса излучения ПГС. Так, например, ширина радиочастотного спектра биений, получаемых для стабилизации фазы светового поля ПГС, составляет всего несколько герц даже без использования электронных методов стабилизации. Кроме того, ПГС могут быть использованы для получения так называемых «гребёнок с нулевой отстройкой», то есть протяженных последовательностей импульсов, в которых каждый следующий импульс является копией предыдущего (т.е. набег фазы поля от импульса к импульсу равен нулю). В комбинации с высокой средней мощностью и очень широким диапазоном перестройки длины волны перечисленные преимущества делают ПГС технологией первой линии при построении оптических гребёнок и решении исследовательских задач, для



Рис.4 Интербиевый фемтосекундный лазер TEMA (а); лазер TEMA с интегрированным генератором второй гармоники TEMA-DUO (б).

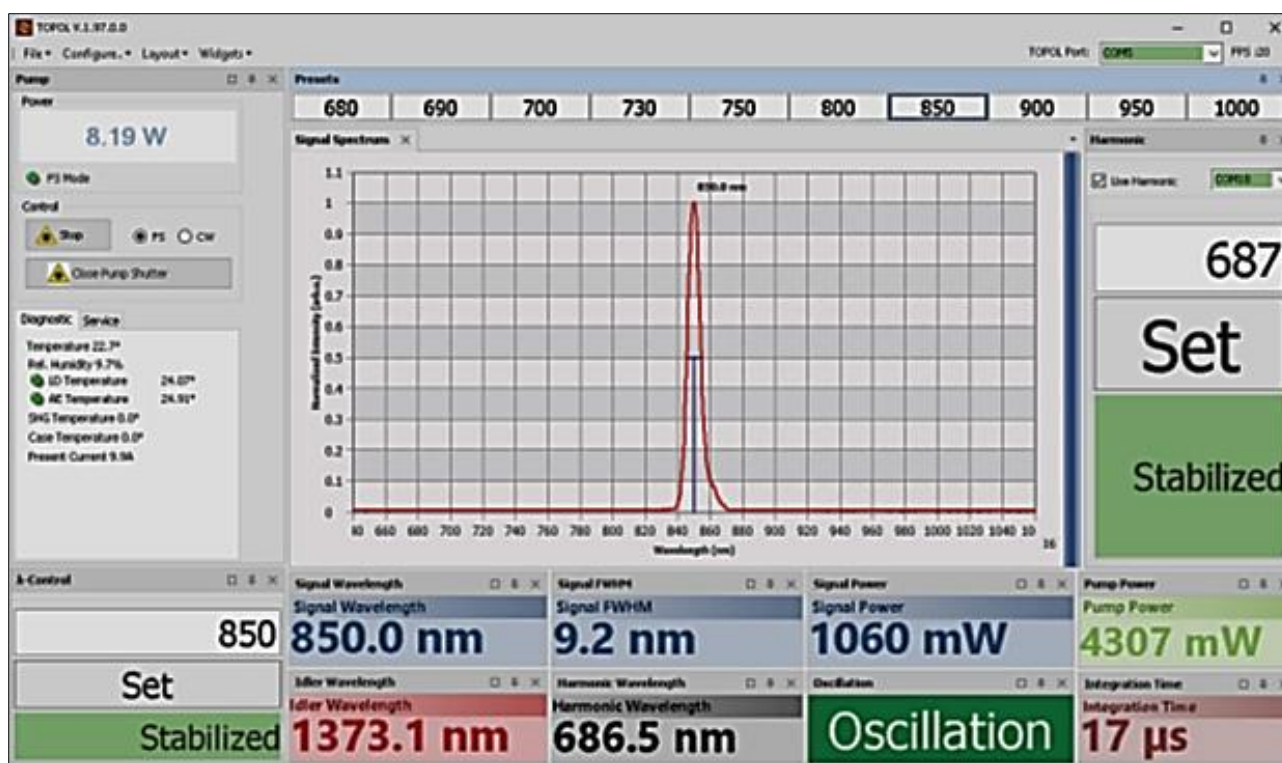


Рис.5 Пользовательский интерфейс программы управления TOPOL.

которых существующие и хорошо отработанные твердотельные титан-сапфировые и волоконные системы (такие, как Avesta EFO-Comb) оказываются недостаточными по тем или иным соображениям. Всё это позволяет говорить о большом значении ПГС как источника излучения в метрологии, квантовой оптике, астрофотонике и даже традиционной линейной спектроскопии (в частности, Фурье-спектроскопии).

Учитывая преимущества, предоставляемые ПГС при реализации столь значительного количества исследовательских методов, компания ООО «Авеста-Проект» создала и вывела на рынок первый полностью автоматизированный параметрический осциллятор отечественного производства – TOPOL-1050. Его внешний вид представлен на **рис.3**.

Создание подобной системы без необходимости использования дорогостоящих зарубежных компонентов стало возможным благодаря накоплению у компании обширного опыта конструирования и производства твердотельных фемтосекундных лазеров ближнего ИК-диапазона. Так, например, за более чем десятилетнюю эволюцию линейки инфракрасных лазеров серии Avesta ТЕМА (**рис.4а**) их средняя выходная мощность выросла с 0.5 Вт до 8 Вт, а линейные размеры сократились вдвое. Модули генерации оптических гармоник, используемые для преобразования инфракрасного излучения в видимый диапазон, за это время были доведены фактически до соответствия промышленным стандартам – способности работать в режиме 24/7 в течение длительных периодов вре-

мени без деградации параметров. Комбинация этих технологий позволила нам также создать компактный, надёжный и мощный источник импульсов в зеленой области спектра – ТЕМА-DUO (**рис.4б**). Благодаря выдающимся характеристикам этой гибридной системы (более 4 Вт средней мощности в зеленом пучке при длительности импульса менее 150 фс) мы смогли приступить к созданию параметрического осциллятора TOPOL, находящегося на следующей ступени интеграции технологий. Для создания первого рабочего прототипа TOPOL была разработана и изготовлена специальная оптика со сверхширокополосным покрытием, поддерживающим фемтосекундный режим работы прибора во всём диапазоне перестройки по длине волны, а также электронная система управления и активной стабилизации параметров резонатора ПГС, необходимая для реализации режима синхронной накачки параметрического осциллятора.

После успешного достижения прототипом целевых параметров в результате испытаний и последующих доработок итоговый вариант параметрического осциллятора оформился в виде полностью интегрированного устройства, объединяющего в едином термостабилизированном корпусе лазер накачки, собственно, саму систему параметрического преобразования длины волны, линейный компрессор импульсов и всю необходимую для управления этими элементами электронику.

Будучи технологически сложным устройством, TOPOL-1050 был бы проблематичным в

**Табл.1 Сравнительные характеристики модификаций
серии параметрических осцилляторов TOPOL-1050**

	ТОPOL-1050-С	ТОPOL-1050-D	ТОPOL-1050-E
Характеристики параметрического генератора			
Диапазон перестройки длин волн	680-1000 нм (сигнальная) 1100-2300 нм (холостая)	1700-2000 нм (сигнальная) 2200-2740 нм (холостая)	1420-1700 нм (сигнальная) 2750-4030 нм (холостая)
Средняя мощность (одновременные выходы, если не указано иное)	сигнальная >450 мВт @ 680 нм >830 мВт @ 800 нм >530 мВт @ 1000 нм холостая >620 мВт @ 1100 нм >450 мВт @ 1500 нм >120 мВт @ 2300 нм 1050±5 нм (фикс.): >1.7 Вт 525±2 нм (фикс.): >130 мВт	сигнальная >400 мВт @ 1700 нм >800 мВт @ 1800 нм >700 мВт @ 2000 нм холостая >300 мВт @ 2200 нм >400 мВт @ 2400 нм >300 мВт @ 2700 нм 1050±5 нм (фикс.): >1.5 Вт	сигнальная >400 мВт @ 1400 нм >800 мВт @ 1500 нм >500 мВт @ 1700 нм холостая >300 мВт @ 3300 нм >100 мВт @ 2750-4030 нм 1050±5 нм (фикс.): >1.5 Вт
Длительность импульса	140-180 фс	<180 фс (сигнальная) <150 фс (холостая)	<200 фс (сигнальная) <250 фс (холостая)
Встроенный лазер накачки			
Средняя мощность	7...8 Вт на 1050±5 нм (фикс.) 3...4 Вт на 525+/-2 нм (фикс.)	>3 Вт на 1050±5 нм	
Длительность импульса	<200 фс		
Частота повторения импульсов	80+/-5 МГц (фикс.)		

освоении и использовании человеком, не имеющим знаний в области нелинейной оптики и, пожалуй, даже практического опыта разработки лазерной техники. По этой причине следующей задачей, вставшей перед коллективом «Авеста-Проект», стала тотальная автоматизация процессов, происходящих в параметрическом осцилляторе, и создание пользовательского интерфейса, позволяющего осуществлять мониторинг и контроль параметров излучения осциллятора. На основе имеющихся в портфолио компании средств диагностики фемтосекундного излучения нами была создана система контроля и мониторинга, состоящая из датчиков оптической мощности, длины волны и ширины спектра, измерителей температуры, влажности и т.д. Будучи дополненной набором сервоприводов и актюаторов, данная система позволила нам приступить к разработке управляющей программы, способной полностью исключить участие пользователя в процессах поиска и поддержания режимов параметрической генерации, перестройки длины волны, настройки на

минимальную длительность импульса на частоте сигнальной волны.

Результатом проделанной работы стал программно-аппаратный комплекс TOPOL-1050, состоящий из параметрического осциллятора, внешней системы охлаждения и термостабилизации и персонального компьютера с установленным специальным программным обеспечением TOPOL Control Software (TCS), предоставляющим оператору исчерпывающую информацию о параметрическом осцилляторе и полный контроль над ним (см. **рис.5**).

К настоящему времени серия параметрических осцилляторов TOPOL-1050 имеет три модификации: С, D и Е, отличающиеся доступным диапазоном перестройки длины волны. Сравнительная характеристика всех модификаций приведена в **табл.1**.

Ключевой опыт, полученный в ходе создания параметрических осцилляторов серии TOPOL-1050, играет большую роль в текущих работах коллектива компании «Авеста-Проект» над параметрическими усилителями (OPA) серии PARUS на ос-

нове иттербиевой усилительной системы TETA и титан-сапфирового усилителя REUS. Обе усилительные системы (TETA и REUS) успели прочно зарекомендовать себя как на отечественном, так и международном рынках фемтосекундных и фотонных технологий, поэтому мы ожидаем что параметрические усилители PARUS также смогут составить достойную конкуренцию лучшим западным системам подобного класса.

Коллектив «Авеста-Проект» благодарит Лазерную ассоциацию за организацию конкурса на лучшую отечественную разработку в области фотоники и надеется представить свои новые разработки на рассмотрение в следующем году.

По любым вопросам, связанным с продуктами компании, обращайтесь на fs@avesta.ru

От авторского коллектива И.Г.Курицын, инженер-исследователь ООО «Авеста-Проект»

Корректор наклонов волнового фронта ДП-04

Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, Томск – диплом II степени



Наиболее распространенным и эффективным методом повышения качества принимаемого изображения в условиях влияния турбулентной атмосферы является стабилизация положения изображения излучения в плоскости приёмного устройства адаптивной системы. Стабилизация изображения осуществляется путем компенсации наклонов волнового фронта принимаемого излучения скоростным управляемым зеркалом.

Первые работы по созданию адаптивных оптических систем в Институте оптики атмосферы СО РАН были начаты в 1985-1987 годах. Совместно с Саратовским филиалом НПО «Агроприбор» была разработана и прошла испытания первая в СССР адаптивная лазерная опорная система. Система предназначалась для создания опорной линии (плоскости), относительно которой проводятся сборка частей судов, строительные-монтажные операции, обработка земельных поверхностей в строительных и мелиоративных работах.

Адаптивная лазерная опорная система предназначена для контроля распространения лазерного излучения в турбулентной атмосфере, и реализации активной компенсации влияния атмосферы. Влияние атмосферы на лазерное излучение сопровождается его рефракцией. Коррекция флуктуаций, вызванных тепловыми колебаниями излучения и вибрацией оси диаграммы направленности лазерного источника, выполняется через канал обратной связи с дополнительным измерением параметров кривизны траектории в точке излучателя. Коррекция пространственного положения оптического излучения при помощи управляемого в реальном времени оптического элемента

позволила уменьшить ошибки опорной геодезической системы в четыре раза в сравнении с существовавшими на тот момент лазерными опорными системами. Стабилизация положения излучения была выполнена на расстоянии от источника излучения до 500 м с погрешностью ± 2 см.

В августе 1999 года в лаборатории когерентной и адаптивной оптики Института оптики атмосферы СО РАН была испытана первая в России астрономическая следящая адаптивная оптическая система для стабилизации фрагментов изображения солнечного диска на Большом солнечном вакуумном телескопе (БСВТ) Института солнечно-земной физики СО РАН (г.Иркутск). Аналоговая система включала в себя масштабирующую оптическую систему, приёмное устройство, двухкоординатный пьезокерамический дефлектор с блоком управления, блок вычисления смещения изображения, а также систему контроля и регистрации изображения.

Дисперсия дрожания изображения при адаптивном управлении уменьшилась в 16–40 раз с высоким подавлением гармоник в диапазоне частот 0–30 Гц на разных уровнях искажений, обусловленных турбулентной атмосферой и

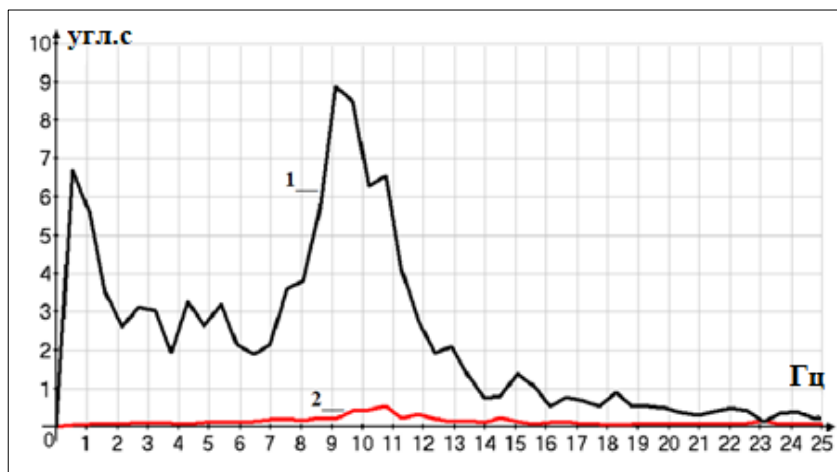


Рис.1 Спектр амплитуды углов дрожания изображения солнечного диска на БСВТ: 1 – без коррекции; 2 – при стабилизации дефлектором ДП-03.

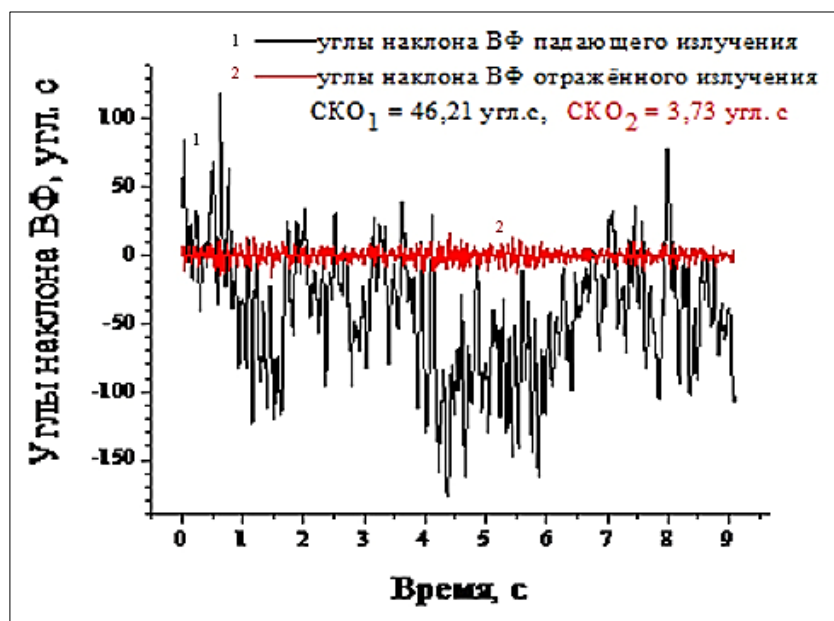


Рис.2 Углы наклона волнового фронта оптического излучения.

вибрацией механических конструкций телескопа [1]. В результате проведенных измерений была получена информация для дополнительной настройки механического тракта БСВТ.

БСВТ расположен на берегу оз. Байкал, где уровень дневной турбулентности много выше в сравнении с другими мировыми аналогичными обсерваториями. Поэтому для дальнейшего повышения качества стабилизации изображения и улучшения рабочих характеристик БСВТ была создана более сложная многокаскадная система коррекции изображения [2].

В ноябре 2017 года для коррекции общих углов наклона волнового фронта на входной апертуре телескопа в первом контуре многокаскадной адаптивной оптической системы был установлен разработанный в ИОА СО РАН пьезоэлектрический оптический дефлектор серии ДП-03 с диаметром зеркала 100 мм. Применение дефлектора в контуре адаптивной оптической системы стабилизации изображения БСВТ понизило дрожание изображения фрагментов солнечного диска в условиях сильной атмосферной турбулентности приблизительно в 14 раз. Результаты измерений приведены на рис.1,2.

Специфика работы современных адаптивных оптических систем с фазовыми измерениями волнового фронта требует от дефлектора 1) повышенной точности передачи отраженного волнового фронта, падающего на зеркало; 2) сохранения плоскостности поверхности зеркала во всем диапазоне рабочих углов; 3) увеличения рабочей частоты поворота зеркала; 4) повышенной точности и стабильности. В моделях серии ДП реализованы конструктивные решения, которые удовлетворяют всем вышеуказан-

ным требованиям. Устройство защищено двумя патентами РФ [3,4].

Дефлектор содержит электронный блок управления, работающий с цифровыми и аналоговыми входными сигналами, что расширяет возможности применения. Исполнительное устройство на основе плоского зеркала, установленного на пьезокерамических актюаторах, представлено на рис.3.

В состав оптической головки входят зеркало 1, которое размещено на опоре 2 с подвижной платформой 3. Конструкция подвижной платформы: в гнезда 4 помещены стальные шарики 5, которые взаимодействуют с фланцами 6 пьезоактюаторов 7. Основание 9 обоймы 8 закрепле-

но с зеркалом струной 10 в центральной точке 11, относительно которой происходит поворот платформы, при этом координата этой точки остается неизменной в трехмерном пространстве.

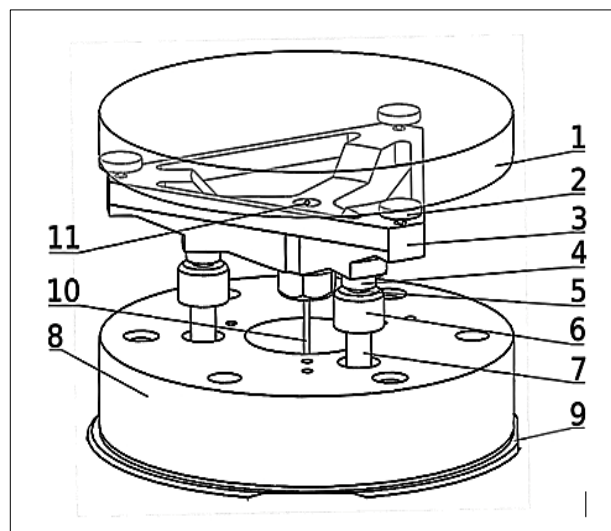


Рис.3 Конструкция оптической головки дефлектора ДП-04.

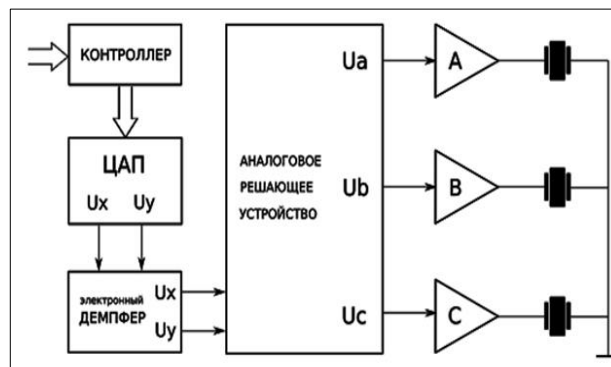


Рис.4 Схема блока управления пьезокерамическим приводом с электронным демпфером.

Управляющие сигналы после формирования их цифроаналоговым преобразователем (ЦАП) в аналоговом виде имеют ступенчатую форму с широким частотным спектром. При каждом ступенчатом изменении управляющего напряжения на выходах усилителей происходит линейная деформация пьезокерамических актюаторов, что вызывает повороты установленного на них зеркала. Зеркало дефлектора поворачивается вокруг центральной точки с колебаниями на частоте своего механического резонанса. Время успокоения и амплитуда возникающих колебаний зеркала зависят от механических характеристик дефлектора. Двухканальный блок электронного демпфирования (демпфер) предназначен для предотвращения возникновения колебаний зеркала дефлектора при ступенчатом изменении управляющих сигналов с ЦАП [4].

На **рис.4** представлена схема блока управления пьезокерамическим приводом.

Работа блока электронного демпфера при ступенчатом сигнале управления отражена на временной диаграмме (**рис.5**).

На **рис.6** приведены результаты измерения углов поворота зеркала ДП-04 на оптическом

тракте при минимальных сигналах управления.

Конструктивные решения блока управления и исполнительного устройства позволяют сохранять плоскостность зеркала во всем диапазоне корректируемых углов наклона волнового фронта, что необходимо для фазовых измерений. Внешний вид двухкоординатного оптического дефлектора ДП-04 представлен на **рис.7**.

Технические характеристики дефлектора ДП-04:

- диаметр зеркала корректора 76 мм;
- угол поворота зеркала ± 115 угл. сек.;
- разрешающая способность по углу 0,05 угл. сек.;
- максимальная частота управления 1000 Гц;
- время установления зеркала не более 1 мс;
- резонансная частота зеркала 1500 Гц;
- величина гистерезиса не более 4%.

Области применения дефлектора:

- адаптивные оптические системы в астрономии;
- системы видения в турбулентной атмосфере;
- управление лазерным лучом в оптических системах.

Дефлектор ДП-04 максимально адаптирован для работы на экспериментальных исследовательских стендах с целью создания тестирования

алгоритмов и программного обеспечения [5, 6]. Для расширения сферы применения и повышения точности настройки в оптических схемах дефлектор имеет встроенный узел двухкоординатной механической высокоточной юстировки по углу наклона с помощью микро-винтов.

На основе двух дефлекторов ДП-04 создан стенд моделирования общих наклонов волнового фронта (**рис.8**).

Программно-аппаратный комплекс стенда позволяет моделировать общие наклоны волнового фронта с задаваемыми параметрами с возможностью воспроизведения и повторения любого временного фрагмента смоделированной выборки атмосферной турбулентности. Набор управляющих сигналов для двухкоординатного дефлектора и гибкого зеркала формируется как с помощью модели датчика волнового фронта Шэка-Гартмана [7, 8], так и по результатам трассовых измерений. Предусмотрена возможность работы стенда в реальном времени на атмосферной трассе.

Стенд предполагает проведение измерений в нескольких режимах: по изображению с использованием корреляционного алгоритма работы

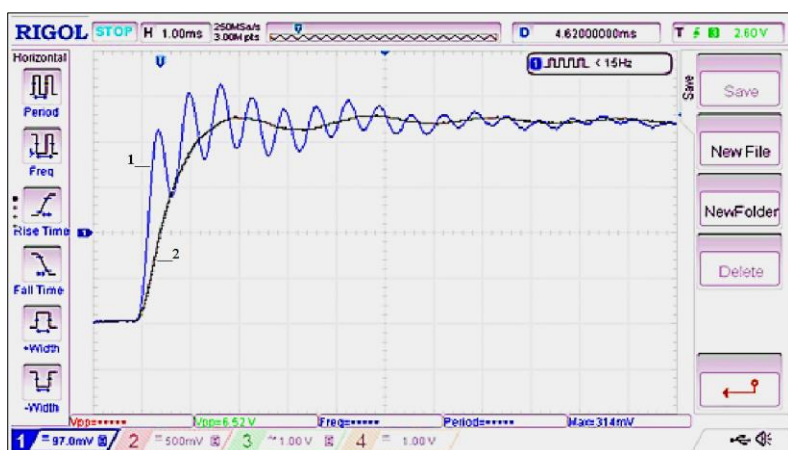


Рис.5 Осциллограмма колебаний зеркала при подаче ступенчатого управляющего сигнала: 1 – без демпфирования; 2 – демпфер включен.

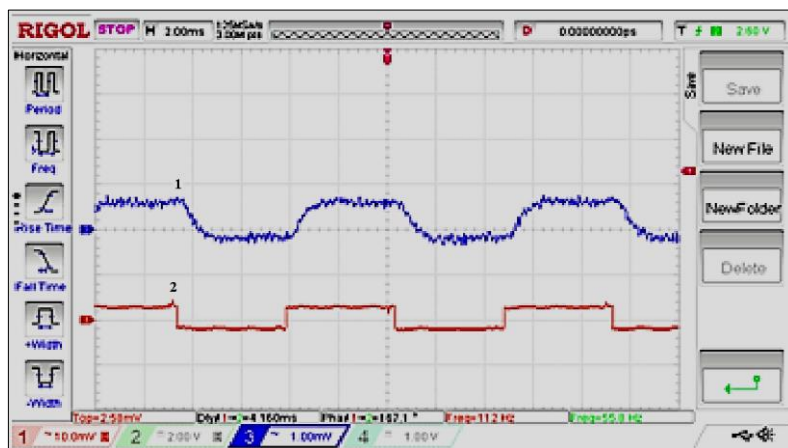


Рис.6 Осциллограмма: минимальный угол наклона оптического пучка составляет 0,05 угл. сек. (кривая 1), входящий сигнал управления (кривая 2).



Рис.7 Внешний вид двухкоординатного оптического дефлектора ДП-04.

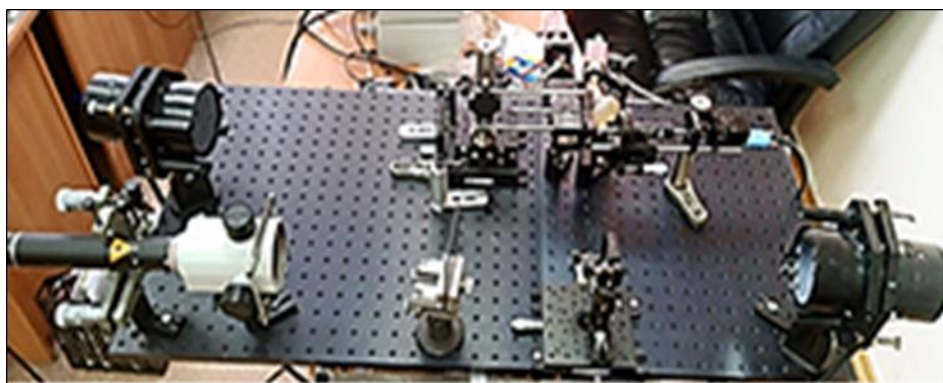


Рис.8 Стенд моделирования общих наклонов волнового фронта.

датчика волнового фронта Шэка-Гартмана, по энергетическим центрам тяжести в датчике волнового фронта Шэка-Гартмана, по энергетическому центру тяжести всего пучка.

В дефлекторах серии ДП установлены пьезо-керамические актюаторы российского производства АО НИИ «Элпа».

Список литературы

[1]. Антошкин Л.В., Ботыгина Н.Н., Емалеев О.Н., Лавринова Л.Н., Лукин В.П., Петров А.И., Фортес Б.В., Янков А.П. Экспериментальная адаптивная оптическая система для Большого солнечного вакуумного телескопа. II часть. Эффективность стабилизации фрагмента изображения солнечного диска на входной щели спектрографа // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13, №4. С. 420-423.

[2]. Лукин В.П., Ботыгина Н.Н., Антошкин Л.В., Борзилов А.Г., Емалеев О.Н., Коняев П.А., Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Селин А.А., Соин Е.Л., Шиховцев А.Ю., Чупраков С.А. Многокаскадная система коррекции изображения для Большого солнечного вакуумного телескопа // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т.32, №5. С.404-413.

[3]. Антошкин Л.В., Борзилов А.Г. Двухкоординатный пьезокерамический корректор углов наклона волнового фронта // Патент №181166 от 05 июля 2018г.

[4]. Антошкин Л.В., Борзилов А.Г. Устройство управления двухкоординатным пьезокерамическим оптическим дефлектором // Патент №2695281 от 22.07. 2019г.

[5]. Антошкин Л.В., Лавринова Л.Н., Лавринов В.В., Мукашев А.М. Программа управления пьезоэлектрическими дефлекторами // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 18.10.2016 №2016619487 Правообладатель ИОА СО РАН (RU).

[6]. Антошкин Л.В., Лавринова Л.Н., Борзилов А.Г., Лавринов В.В. Программа, формирующая управляющие сигналы с моделируемыми углами наклона для двухкоординатного дефлектора // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017660132 от 14 сентября 2017. Правообладатель: ИОА СО РАН (RU).

[7]. Лавринов В.В. Динамическое управление адаптивно-оптической коррекцией турбулентных искажений лазерного излучения // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т.30, № 10. С. 893-901.

[8]. Antoshkin L. V., Borzilov A. G., Lavrinov V. V., Lavrinova L. N. Measuring methods of arrival angles of the laser radiation in the system of adaptive optics // Proceedings of SPIE. 2018. V.10833. P. 108332G.

Л.В.Антошкин, А.Г.Борзилов, П.А.Коняев, В.В.Лавринов, Л.Н.Лавринова, А.А.Селин, И.М.Цороев, ИОА СО РАН

★ ★ ★

Полупроводниковый импульсный лазер с высокой энергетической яркостью ЛПИ-940-7500

ООО «НПП «Инжект», Саратов – диплом II степени



здесь полупроводникового импульсного лазера

В ООО «НПП «Инжект» начат серийный выпуск разработанного

с высокой энергетической яркостью – мод. ЛПИ-940-7500, предназначенного для широкого применения в различных отраслях промышленности и научных исследованиях. Его внешний вид представлен на **рис.1**.



Рис.1 Внешний вид
полупроводникового импульсного лазера ЛПИ-940-7500

Основные области применения ЛПИ-940-7500:

- ИК лазерные осветители с высокой оптической мощностью
- Подсветка приборов ночного видения, ТВ камер
- Системы наблюдения за сверхскоростными процессами
- Биофотоника, лазерная медицина
- Лазерная обработка материалов
- Научные исследования

Устройство в целом состоит из излучателя – импульсного инжекционного излучателя лазера, смонтированного в корпусе-рукоятке, и источника питания. Их основные параметры приведены ниже в **табл.1** и **2**. На **рис.2** и **3** приведены спектральная (с максимумом вблизи 942 нм) и ватт-амперная характеристики лазера ЛПИ-940-7500.

В широко распространённой технологии сборки наборных ЛД решеток используется способ монтажа, при котором каждая ЛД линейка собирается на индивидуальном теплоотводе (радиаторе). При этом типичное значение шага от между рядами в наборной ЛД решетке составляет от ~ 350 мкм до 2 мм.

В настоящей работе была создана усовершенствованная конструкция наборной ЛД решетки, в которой отсутствуют теплоотводы (радиаторы) между диодными лазерными линейками, что значительно уменьшает величину шага от линейки к линейке. Подобная конструкция обеспечивает изготовление наборной ЛД решетки с высокой плотностью сборки (в зарубежной литературе используется термин «*High Density Stack*»). В процессе сборки ЛД линейки соединяются в пакет пайкой с помощью твердого припоя, который сводит к минимуму ползучесть припоя, образование нитевидных кристаллов (вискеров) и обеспечивает высокую степень надежности излучателя. В результате шаг между ЛД линейками в излучателе имеет величину ~150 мкм. Этот шаг составляет при-

мерно 40% от наименьшего стандартного шага, который может быть получен с помощью обычного метода сборки, при котором каждая ЛД линейка монтируется на индивидуальный теплоотвод. В результате плотность выходной оптической мощности лазерного излучения примерно 2 раза больше, чем в случае использования стандартного метода сборки ЛД линеек на индивидуальных теплоотводах. Для излучателя, использованного в данном лазере, плотность выходной оптической мощности лазерного излучения составляет ~ 9740 Вт/см² при кондуктивном охлаждении корпуса излучателя.

Число ЛД линеек в излучателе и длина волны излучения могут выбираться потребителем, исходя из требований, предъявляемых к излучателю в конкретном применении. Наборная ЛД решетка может изготавливаться с длиной волны излучения в интервале 780-985 нм. Эта длина волны обеспечивается конструкцией и составом активной области применяемой гетероструктуры.

По основным техническим параметрам лазер с высокой энергетической яркостью ЛПИ-940-7500 соответствует зарубежным аналогам. Известны излучатели, выпускаемые ведущей американской корпорацией Northrop Grumman (Cutting Edge Optonics), США, например, ARR179P2000HDS20 (High Density Stack) с выходной мощностью излучения 2,0 кВт и ARR179P6000HDS20 (High Density Stack) – 6,0 кВт.



Рис.2 Спектр излучения лазера ЛПИ-940-7500, измеренный с помощью спектрометра МС-300.

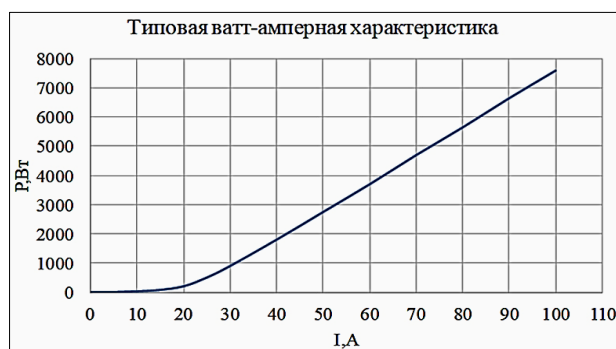


Рис.3 Ватт-амперная характеристика лазера ЛПИ-940-7500, измеренная в рабочем режиме: 100 нс, 10 кГц при температуре +25 °С.

Табл.1 Основные параметры лазера ЛПИ-940-7500

Основные технические характеристики	Значения	Единицы измерения
Средняя мощность импульса лазерного излучения, не менее	7500	Вт
Длина волны максимума спектра лазерного излучения *	940 ± 5	нм
Ширина огибающей спектра лазерного излучения (по уровню 0,5 от максимума), не более	$< 6,0$	нм
Длительность импульса тока накачки (по уровню 0,5 от максимума)	100	нс
Частота повторения импульсов	1-10000	Гц
Размеры излучающей области излучателя **	11 x 7	мм
Расходимость лазерного излучения в плоскости относительно р-п перехода (по уровню 0,5 от максимума)	$\theta_{ } < 15$ $\theta_{\perp} < 45$	угл. град
Амплитуда импульса тока накачки, не более	100	А
Напряжение на излучателе при рабочем токе накачки, не более	220	В
Ресурс работы	10^9	импульсов
Рабочая температура теплоотвода	+25	°С
Габаритные размеры корпуса излучателя	32 x 28 x 9	мм
Масса излучателя	50	г
Габаритные размеры корпуса-рукоятки	215 x 110 x 75	мм
Масса рукоятки в сборе, включая вес излучателя, радиатора, платы, вентилятора и кабельного ввода.	650	г

Примечания:

* Длина волны излучения решетки лазерных диодов может устанавливаться интервале 780-985 нм, что обеспечивается конструкцией и составом активной области гетероструктуры.

** Возможны другие размеры излучающей области - по требованию Заказчика.

По сравнению с этими аналогами излучатель лазера ЛПИ-940-7500 имеет не только большую мощность излучения, но и герметичный корпус, что делает его удобным для встраивания в различные лазерные системы и обеспечивает применение в лабораторных и цеховых условиях. Излучатель лазера изготавливается по модульному принципу, что позволяет провести его модификацию и масштабирование выходной оптической мощности по техническим требованиям Заказчика. Планируемая дополнительная доработка конструкции излучателя позволит реализовать диодные лазерные излучатели с плотность выходной оптической

мощности лазерного излучения, увеличенной до уровня 25 кВт/см².

В конструкции лазера ЛПИ-940-7500 используются только комплектующие, изготовленные в России, поэтому его применение в новых отечественных разработках исключает потребность в импортных комплектующих, устраняет зависимость от монопольного поставщика и открывает новые возможности для создания отечественных лазерных систем для различных областей применения.

**Д.А.Автайкин, А.В.Козырев, А.И.Куницкий,
В.А.Панарин, С.Н.Соколов, М.Ю.Старынин,
Л.И.Шестак, ООО «НПП «Инжсект»**

Номинация «Информационно-управленческие технологии и системы фотоники»

Импульсный ветровой лидар ИВЛ-10000

АО «Лазерные системы», Санкт-Петербург – диплом II степени



Лазерные системы дистанционного зондирования – лидары (LIDAR – *Light Detection And Ranging*) в современном мире широко востребованы в метеорологии, экологии, климатологии, в сфере обеспечения безопасности полетов, ветроэнергетике, для предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера.

Существенное развитие лазерной техники в последние десятилетия послужило основой разработки и внедрения коммерчески доступных систем дистанционного измерения параметров атмосферы. Наибольшее распространение получили лидарные системы анализа атмосферы на предмет распределения аэрозольного состава воздуха (облакомеры), а также скорости и направления ветра (доплеровские лидары) для решения прикладных метеорологических задач, в частности, информационного обеспечения метеорологических служб аэропортов об опасных ветровых явлениях.

В задачах управления воздушным движением и обеспечения безопасности авиатранспорта лидарный мониторинг скорости ветра играет важнейшую роль. Это связано с тем, что в районах аэропортов необходимо измерять распределение ветрового поля на различных высотах; контролировать параметры видимости и облачности с высоким временным и пространственным разрешением; детектировать вихревые следы самолетов вблизи взлетно-посадочных полос.

Одной из причин фатальных авиапроисшествий за период 2010-2014 год (88 случаев) является потеря управляемости в полете, на ее долю приходится 43% из всего числа фатальных происшествий. Среди основных причин происшествий можно выделить факторы, связанные с метеорологической обстановкой, в частности опасные ветровые явления в виде сдвига ветра и микропорыва, на которые приходится до 11% происшествий [1]. Основные причины потери управляемости в полёте представлены на **рис. 1**.

В связи с этим в последнее время обсуждаются требования по оснащению аэропортов системами предупреждения о маловысотном сдвиге ветра и других опасных ветровых явлениях. В частности, в соответствии с современными требованиями ИКАО, доплеровские лидары должны являться необходимым элементом оснащения различных метеорологических служб [2]. Кроме того, последние авиапроисшествия ускоряют процесс интеграции подобных систем, и уже идет речь о разработке критериев обязательного оснащения аэропортов системами предупреждения о маловысотном сдвиге ветра на основе дистанционных доплеровских лидарных комплексов [3]. Доплеровские, или ветровые лидары занимают особую нишу лидарных систем благодаря особенностям технических решений, используемых при их разработке. В настоящее время в мире несколько предприятий (Lockheed Martin, Leosphere, Mitsubishi Electric и др.) серийно выпускают ветровые лидары.

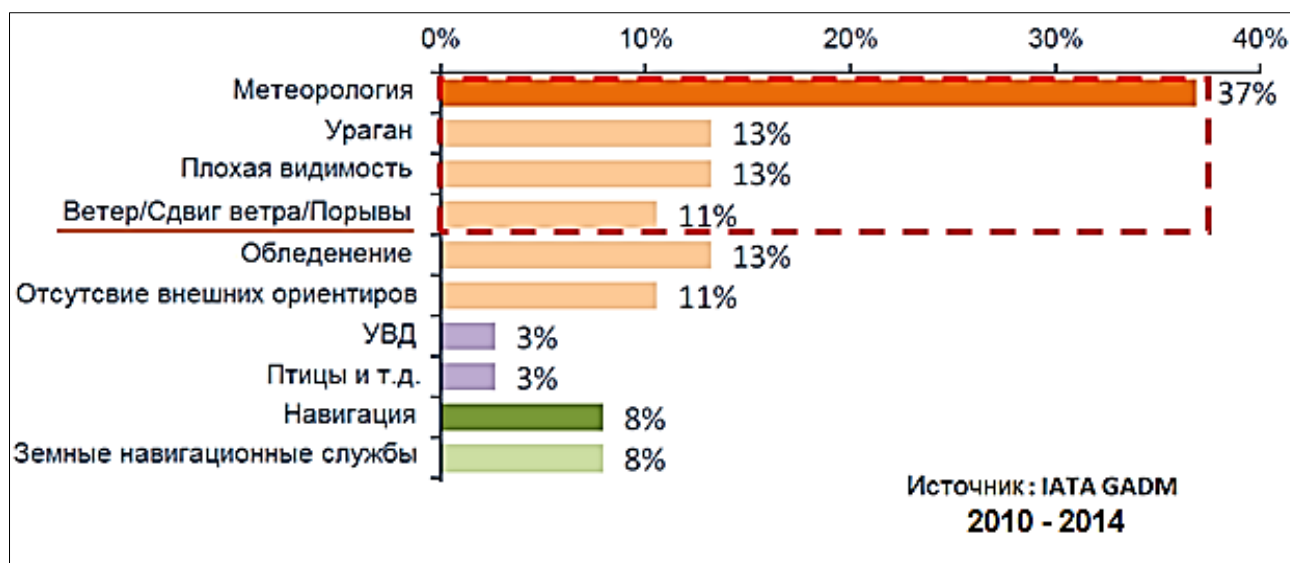


Рис.1 Основные причины потери управляемости в полёте.

АО «Лазерные системы» является отечественным разработчиком и единственным серийным производителем таких устройств в России. Компания занимается разработкой мобильных и стационарных лазерных комплексов на основе лидарных технологий с 2002 года, а ветровых лидаров – с 2007 года. В 2021 году на предприятии серийно выпускается линейка лидарного оборудования для дистанционного определения параметров ветра: распределения по высоте скорости и направления, определения сдвига ветра, а также уровня турбулентности воздушного потока.

В ветровых лидарах для определения скорости ветра используется эффект Доплера, который заключается в изменении частоты обратно рассеянного оптического излучения на увлекаемом ветром атмосферном аэрозоле. В доплеровских лидарах используется оптическое излучение с длиной волны 1.5 мкм, что определяет доплеровский сдвиг ≈ 1.3 МГц для радиальной скорости 1 м/с. Такой частотный сдвиг возможно измерить только с помощью гетеродинного или, другими словами, когерентного детектирования. Гетеродинное детектирование в оптическом диапазоне является весьма трудоемкой задачей как в плане реализации оптических схем, так и в плане обработки оцифрованных данных с приемника. В частности, основным требованием для эффективного когерентного приема является высокая степень пространственной и временной когерентности зондирующего излучения и излучения локального гетеродина. Определение скорости ветра посредством быстрого преобразования Фурье в режиме реального

времени невозможно без использования высокопроизводительных программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Специалистам АО «Лазерные системы» по результатам детального анализа научных и инженерных проблем гетеродинного приема в оптическом диапазоне удалось разработать универсальные, высокоэффективные и надежные схемы доплеровских лидаров различного назначения. Выбор рабочей длины волны 1.5 мкм обусловлен безопасностью для глаз и возможностью использования оптоволоконных компонент. Последние выполнены на основе специализированного волокна с сохранением поляризации и обеспечивают компактность и надежность оптической схемы. В лидарах используются высококогерентные источники лазерного излучения как непрерывного (ПЛВ-300), так и импульсного типа (ИВЛ-10000). Оснащение лидаров сканирующим узлом на основе вращающейся призмы или двухзеркальным сканирующим узлом, обеспечивающим сканирование в произвольных углах места и азимута, позволяет определять вертикальный профиль скорости ветра, горизонтальное и вертикальное поля скоростей и ветровые аномалии в этих плоскостях, а также становится возможным целенаправленное детектирование вихревых следов за самолетом.

С помощью когерентных доплеровских лидаров, производимых АО «Лазерные системы», возможно осуществление непрерывного круглосуточного мониторинга ветровой обстановки на малых (ПЛВ-300) и средних высотах (ИВЛ-10000). Сегодня эти лидары успешно эксплуатируются в ряде аэропортов и предприятий России, СНГ и зарубежных стран. В 2013 году ветровой лидар ПЛВ-300 для мониторинга ветровой обстановки на малых высотах с целью обеспечения безопасности при взлете и посадке самолетов производства АО «Лазерные системы» получил сертификат Межгосударственного авиационного комитета (МАК).

Импульсный ветровой лидар ИВЛ-10000 – это новое поколение в линейке лидарного оборудования «Лазерных систем» с увеличенным диапазоном дальности измерений до 10000 метров. Его основой является высококогерентный импульсный волоконный лазер с увеличенной выходной энергией и оптимизированной приемопередающей оптической системой. Используемые технические решения и оборудование обладают высокой надежностью и эффективностью при измерении направления и скорости ветра, отслеживании опасных метеоявлений, прогнозировании ветровой обстановки.

Функциональные возможности лидара ИВЛ-10000 позволяют производить:

- построение высотного профиля скорости и направления ветра;



Рис.2 Внешний вид лидаров ИВЛ-10000.

Табл.1 Основные характеристики ИВЛ-10000

Диапазон дальности измерений*	от 120 до 10000 м и более (1 сек накопления, пространственное разрешение 58 м)
Пространственное разрешение	11/40/58 м
Длительность импульса	200/400/800 нс
Диапазон измерения радиальных скоростей	от -55 до 55 м/с
Абсолютная погрешность измерения радиальной скорости	± 0.25 м/с
Углы сканирования по азимуту и углу места	0°... 360°
Скорость сканирования	0.5 – 5 °/с (с измерением параметров ветра) до 45 °/с (без измерения параметров ветра)
Режимы сканирования	PPI, RHI, LOS, VAD/DBS Бесконечный цикл Задаваемая пользователем длительность
Время накопления	от 0.1 до 15 с
Источник излучения	Импульсный лазер на 1.55 мкм
Потребляемая мощность	не более 800 Вт
Масса	160 кг
Габаритные размеры	1740 x ϕ 1140 мм
Ограничения	Оптимальные условия применения: 0.3 < МДВ, км < 100 0 < Дождь, мм/ч < 5.1 0 < Снег, мм/ч < 0.5 0 < Ветер, м/с < 60 -50 < Т внеш, °C < +50 10 < Влажность, % < 100

* макс. дальность измерения зависит от атмосферных условий, времени накопления, пространственного разрешения и др.

- построение поля скорости и направления ветра, картографирование ветрового поля на разных высотах;
- определение ветровых параметров вдоль посадочных и взлетных глиссид;
- определение высотности, плотности, количества облачных слоев, нижней границы облачности;
- обнаружение сдвига ветра;
- обнаружение и мониторинг зон турбулентности, вихрей, вихревых следов самолетов;
- предупреждение об опасных ветровых явлениях.

ИВЛ-10000 обеспечивает 3D-картографирование ветровых полей во всей верхней полусфере пространства. Сканирующая двухзеркальная система позволяет осуществлять измерения в следующих режимах:

- ✓ Plan Position Indicator (PPI) - круговое сканирование в заданном диапазоне углов азимута с постоянным углом места;
- ✓ Range Height Indicator (RHI) - сканирование в вертикальной плоскости в заданном диапазоне углов места с постоянным азимут;
- ✓ измерение вертикального профиля ветра;
- ✓ измерение профиля ветра в произвольном заданном направлении.

Внешний вид лидара ИВЛ-10000 представлен

на **рис.2**, основные технические характеристики приведены в **табл.1**.

Реализованные режимы сканирования позволяют визуализировать ветровое поле в различных плоскостях и определять в автоматическом и полуавтоматическом режиме опасные зоны горизонтального или вертикального сдвига ветра, микропорывы и другие опасные ветровые явления на ответственных участках глиссады. Благодаря использованию в лидаре ИВЛ-10000 оригинальных аппаратных и программных решений дистанция детектирования параметров ветрового поля увеличена до 10 километров и более, что удовлетворяет требованиям ИКАО и ФАА (США) по обнаружению ветровых аномалий в зоне аэропорта. На **рис.3** показаны результаты измерений скорости ветра лидаром ИВЛ-10000 на дистанциях 12 километров в режиме сканирования PPI.

Микропорыв и сдвиг ветра являются относительно крупномасштабными ветровыми аномалиями и могут достигать сотен метров, однако существуют не менее опасные мелкомасштабные аномалии, называемые спутными вихрями или вихревыми следами. При полете самолета за ним образуется пара вихревых следов, исходящих с законцовок крыла, из-за разности между скоростями обтекания поверхностей крыла и особенностей его формы. Распределение

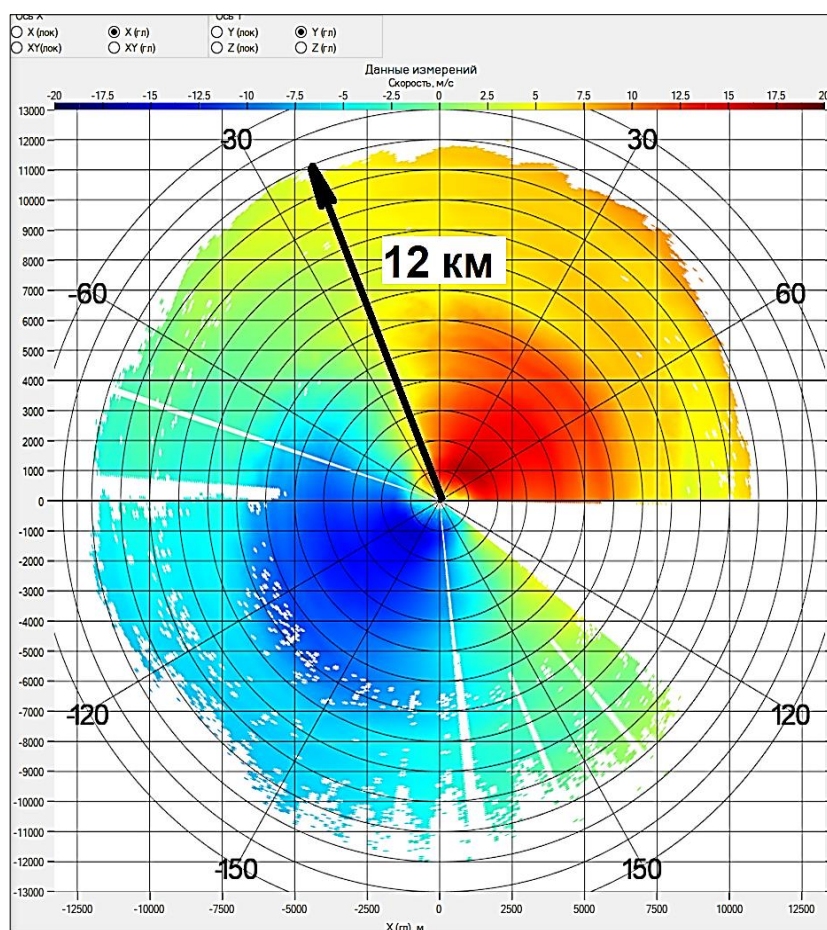


Рис.3 Измерение скорости ветра лидаром ИВЛ-10000 на дистанции 12 км.

тангенциальной скорости течения воздуха за самолетом, размер вихрей и их взаимное расположение определяются типом самолета, внешними условиями его полета и атмосферной турбулентностью. Попадание других летательных аппаратов в вихрь за самолетом может представлять для них серьезную опасность, особенно если следующий самолет имеет меньшие размеры и находится на ответственном участке глиссады при взлете или посадке. Отличительной особенностью вихрей, образующихся за самолетом, является их взаимодействие с поверхностью земли, в некоторых случаях происходит отскок вихря от земли без его разрушения и ослабления силы.

Международная организация гражданской авиации ICAO разработала рекомендации, регламентирующие величину безопасной дистанции между предыдущими и следующими самолетами в зависимости от их категории. Эта дистанция, или время, определяет пропускную способность аэропорта. Уменьшение этого времени позволяет увеличить пропускную способность аэропорта, но при этом главное – учитывать безопасность и комфорт полета.

Характерные размеры вихревых следов составляют от нескольких метров до 20-30 метров, а расстояние между ними – порядка 40-70

метров (определяется типом самолета). Для надежного детектирования вихревых следов пространственное разрешение лидара должно быть не хуже характерных размеров вихревых следов.

В лидаре ИВЛ-10000 реализован режим изменяемого пространственного разрешения, позволяющий проводить измерения с улучшенным пространственным разрешением 11 метров, что позволяет с высокой точностью локализовывать и определять параметры вихревых следов за самолетом.

Лидарные комплексы «Лазерных систем» имеют сертификаты на всю линейку оборудования:

- сертификат типа средства измерения, выданный Межгосударственным авиационным комитетом;
- свидетельства об утверждении типа средств измерений, выданные Федеральным Агентством по техническому регулированию и метрологии;
- оборудование разработано в соответствии с ГОСТ и СанПиН Российской Федерации.

Таким образом, ветровой лидар ИВЛ-10000 является универсальным серийно выпускаемым лидарным средством диагностики состояния ветрового поля на дистанциях свыше 10 километров для оперативного обнаружения опасных ветровых явлений различного пространственного и временного масштаба. Оригинальные технические решения позволяют в режиме реального времени определять сдвиги ветра на дистанции более 10 километров, а также детектировать мелкомасштабные вихревые следы за самолетом. Решение указанных задач делает этот лидар незаменимым средством ветровой диагностики в аэропортах, так как дистанции детектирования, пространственное разрешение и время обновления информации удовлетворяет требованиям ИКАО и ФАА.

Литература

- [1]. IATA Loss of Control In-Flight Accident Analysis Report ISBN 978-92-9252-775-4 2015 International Air Transport Association
- [2]. Документ ИКАО: Doc 9426 ICAO, Air Traffic Services Planning Manual, Part II, Chapter 3, Appendix A. ICAO, 2007
- [3]. Документ A39-WP/287 Аэродромные системы дистанционного обнаружения маловысотного сдвига ветра.

От авторского коллектива **М.А.Коняев**, научн. сотр. АО «Лазерные системы»

Катулин.

Взлетная полоса Самарского филиала ФИАН

А.Майорова, В.Афримович, Самарский филиал ФИАН

3 мая 2021 года исполнилось 85 лет со дня рождения крупного ученого, специалиста в области лазерной физики, доктора физико-математических наук, профессора, дважды лауреата Государственной премии, основателя и первого директора Самарского филиала ФИАН Виктора Анатольевича Катулина.

В А.Катулин родился в 1936 году в г.Байрам-Али Туркменской ССР. В 1960 г. закончил физический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, три года по окончании университета проработал в Москве, в Институте физики атмосферы АН СССР, а с 1963 года до безвременной кончины в 1998 году жизнь Виктора Анатольевича была неразрывно связана с Физическим институтом им. П.Н.Лебедева Академии наук (ФИАН) и лазерами.



Работу в ФИАНе В.А.Катулин начинает в лаборатории (впоследствии отделении) квантовой радиофизики (КРФ) под руководством лауреата Нобелевской премии академика Н.Г.Басова с разработок полупроводниковых лазеров с оптической накачкой. В качестве активной среды первого такого лазера был выбран кристалл арсенида галлия (GaAs), охлаждаемый жидким азотом в стеклянном сосуде Дьюара. Результаты первых исследований индуцированного излучения и генерации полупроводникового кристалла GaAs при возбуждении его светом ОКГ на рубине с модулированной добротностью описаны в [1]. В.А.Катулину принадлежит решающая роль в создании первых в мире однофотонных, а затем и двухфотонных полупроводниковых лазеров с оптической накачкой. В своих мемуарных статьях [2,3] соратник Виктора Анатольевича А.З.Грасюк отмечает, что эти лазеры можно назвать лазерами Басова-Катулина. Результат получил мировое научное признание.

А талантливый физик-экспериментатор В.А.Катулин легко переключается с миниатюрных полупроводниковых лазеров на разработку мощных высокоэнергетических оптических квантовых генераторов – с 1966 года основным направлением его исследований становятся йодные лазеры с оптической накачкой. Их создание требует усилий большого коллектива, объединяющего исследователей из разных институтов. Виктор Анатольевич возглавляет группу молодых физиков-экспериментаторов, которая заняла

достойное место в этом коллективе, получившем уникальные, рекордные характеристики разрабатываемых крупномасштабных йодных лазеров. За создание этих лазеров в 1980 году В.А.Катулин в составе коллектива авторов был удостоен Государственной премии СССР.

Научную историю отделения КРФ по созданию мощных импульсных лазеров в период с 1965 по 1969 годы В.А.Катулин совместно с В.С.Зуевым кратко описали в 1997 году в статье [4].

А с 1972 года учёный и руководимый им коллектив занимаются разработкой йодного лазера наносекундных импульсов с оптическим возбуждением излучением открытого электрического разряда непосредственно в лазерной среде, аналогов которому не было в мире. За эти исследования, а именно за создание мощных импульсных йодных лазерных систем «Искра-4» и «Искра-5» с выходной мощностью излучения до 100 ТВт для исследований в области термоядерного синтеза в составе коллектива авторов в 1997 году В.А.Катулин получил еще одну Государственную премию (Государственную премию Российской Федерации).

Но вернемся к 1980 году, когда по совместной инициативе областного руководства и лауреата Нобелевской премии академика Н.Г.Басова в г.Куйбышеве (ныне Самара) для решения фундаментальных и прикладных задач в области создания новых лазерных систем и технологий организуется филиал Физического института им. П.Н.Лебедева АН СССР (Постановление Президиума АН СССР № 314 от 20 марта 1980 года). Предполагалось, что уникальные разработки ФИАН в области лазерных технологий должны найти свое применение в крупных машиностроительном и авиакосмическом секторах куйбышевской промышленности. Возглавлять, а вернее, создавать на самарской (куйбышевской) земле первый академический институт Н.Г.Басов поручил молодому доктору наук В.А.Катулину.

Вспоминая первого директора, сотрудники



СФ ФИАН отмечают: «С чем обычно у нас ассоциируется лазер? С мощной энергией и узкой направленностью излучения. Вот и Катулин, подобно лазерному лучу, обладал огромной энергией, напором и целеустремленностью в достижении цели. А иначе как можно было справиться с этой огромной работой по организации и становлению целого института?!» Целеустремленность, огромные энергия и трудолюбие, способность к бескорыстному служению делу, умение брать на себя ответственность за дело и людей, доброта и отзывчивость позволили Виктору Анатольевичу и собранному им молодому коллективу, костяк которого составляли талантливые выпускники ведущих вузов Москвы (МГУ, МИФИ, МФТИ) и аспирантуры ФИАН, проделать огромную работу по созданию и развитию Института. Эта работа включала освоение площадей, ремонт помещений, создание экспериментально-технической базы, и постоянный научный поиск, быстрое получение новых прорывных результатов в области лазерных технологий, установление сотрудничества с вузами и предприятиями города и страны. Систематическую подготовку молодых кадров В.А.Катулин также взял на себя, возглавив созданную кафедру оптики и спектроскопии Куйбышевского государственного университета.

Вспоминает одна из старейших сотрудниц СФ ФИАН, и.о. зам. директора по науке Светлана Павловна Котова: «Я думаю, что большой заслугой Виктора Анатольевича и его успехом является созданный им коллектив. Коллектив единомышленников, грамотных специалистов, любящих свое дело, преданных науке и вслед за Виктором Анатольевичем готовых делиться своими знаниями и опытом – ведь большинство наших сотрудников преподает в университетах. Во всех вузах г. Самары, где есть специальности, связанные с лазерной физикой, оптикой, работают наши сотрудники».

Свое 10-летие филиал встречал в новом здании на Ново-Садовой, 221, и к тому моменту коллектив уже мог гордиться многими достигнутыми результатами. Например, разработанным и изготовленным единственным в мире прото-

типе промышленного импульсно-периодического электроионизационного СО-лазера замкнутого цикла; теоретически разработанными новыми физическими принципами создания импульсных химических лазеров, основанных на явлении фотонного разветвления цепной реакции и термоцепного взрыва; предложенными и успешно внедряемыми в промышленность Самары и Поволжского региона технологиями лазерной сварки, в частности, моделью процесса глубокого плавления металлов импульсным лазерным излучением миллисекундного диапазона длительности; успехами в разработке химического кислородно-йодного лазера; найденным и экспериментально реализованным новым классом пучков, названных спиральными, исследовать фундаментальные свойства и открыть уникальные приложения которых, еще предстояло.

Но впереди был постперестроечный период с его переходом в совершенно другую экономику, с резким сокращением целых секторов промышленности, где и были востребованы разрабатываемые в Самарском филиале лазерные технологии. Еще более сильным ударом стал для Филиала преждевременный и такой несправедливый уход из жизни в 1998 году в возрасте всего 62 лет основателя и директора СФ ФИАН Виктора Анатольевича Катулина. И как бы ни хотелось говорить, что несмотря ни на что, динамичное развитие Института продолжалось без потерь – это было бы нечестно. Конечно, потери были. Уходили люди – кто-то уезжал заниматься наукой за границу, кто-то находил другие (и часто весьма успешными) применения своим способностям в иных сферах. Закрывались успешные проекты и целые направления, в частности, касающиеся разработки мощных технологических лазеров. Но созданный В.А.Катулиным коллектив, Институт выстоял, выполнил многие поставленные задачи и нашел новые задачи в актуальных направлениях. Здесь нельзя не отметить роль головного института (ФИАН), региональных властей, рек-



торов ведущих самарских вузов, которые оказывали поддержку СФ ФИАН на всех этапах его становления.

В настоящее время в Самарском филиале ФИАН работают более 90 человек, в том числе около 50 исследователей. В составе Института три лаборатории: лаборатория когерентной оптики (и.о. зав. лабораторией к.ф.-м.н. С.П.Котова), лаборатория лазерно-индуцированных систем (зав. лабораторией д.т.н. С.И.Яреско), лаборатория физико-химической кинетики (и.о. зав. лабораторией д.ф.-м.н. П.А.Михеев) и теоретический сектор (и.о. зав. сектором д.ф.-м.н. Н.Е.Молевич).

По мнению нынешнего директора СФ ФИАН д.ф.-м.н. Валерия Николаевича Аязова, сегодня СФ ФИАН имеет прочные научные позиции в регионе, России и мире: «Конечно, мы продолжаем и довольно успешно разработку новых лазеров и лазерных технологий и приложений. У нашего коллектива большой опыт и компетенции в этих областях. Я хочу напомнить, что, например, разработанные в СФ ФИАН прототипы генераторов синглетного кислорода использовались практически во всех лабораториях мира, где проводились исследования химического кислородно-йодного лазера. За создание научной и технологической базы и разработку принципов построения мощных химических кислород-йодных лазеров различного назначения в 2008 году в составе коллектива авторов д.ф.-м.н. М.В.Загидуллин и к.ф.-м.н. В.Д.Николаев получили Премия Правительства РФ. А, например, первые в России опыты по микроманипуляции с использованием остросфокусированных лазерных пучков и, что важно, спиральных лазерных пучков, также проводились в нашем институте под руководством д.ф.-м.н. В.Г.Волостникова и к.ф.-м.н. С.П. Котовой. Сегодня исследования в области создания мощных лазеров в институте продолжаются. Так, в лаборатории физико-химической кинетики под руководством д.ф.-м.н. П.А.Михеева впервые в мире получена генерация лазера на метастабильных атомах аргона с поперечной оптической накачкой. Эти исследования проводятся совместно с Самарским университетом, с которым у нас вообще тесное сотрудничество, и университетом Эмори (США). В теоретическом секторе под руководством д.ф.-м.н. Н.Е.Молевич проводятся исследования по формированию, контролю и управлению пространственно-временной структурой оптического поля широкоапертурных лазерных систем. Исследования прикладного характера по синтезу структур и материалов с заданными свойствами под воздействием лазерного излучения ведутся в лаборатории лазерно-индуцированных процессов. Мы занимаемся технологиями аддитивного выплавления микроразмерных функциональных изделий импульсным

лазерным излучением и лазерной пробивкой глубоких отверстий в сапфире (к.ф.-м.н. А.А.Гусев). Но наука – это постоянный поиск. Здесь очень важно не бояться менять направления, искать новые приложения. И в этом филиал достиг определенных успехов. Сегодня мы очень успешно занимаемся горением, газодинамикой, астрофизикой и астрохимией. Признанием наших результатов стал выигранный Мегагрант, в рамках которого в СФ ФИАН будет создан Центр лабораторной астрофизики, где будут изучаться происхождение и эволюция органических молекул в нашей Галактике. Мы с оптимизмом смотрим в будущее».

Светлана Павловна Котова дополняет: «Мне бы еще хотелось выделить наши разработки по жидкокристаллическим оптическим элементам. Нашими сотрудниками в конце 90-х годов был впервые в мире предложен (к.ф.-м.н. А.Ф.Наумов) и разработан модальный принцип построения управляемых жидкокристаллических линз, корректоров, фокусаторов, представляющих большой интерес для адаптивно-оптических систем. А сегодня совместно с лабораторией оптоэлектронных процессов ФИАН (и.о. зав. лабораторией д.ф.-м.н. Е.П.Пождаев) мы создали секторную спиральную фазовую пластинку на новых жидких кристаллах, быстроедействие которой достигает трёх килогерц, что на один-два порядка больше, чем у известных жидкокристаллических пространственно-временных модуляторов света.

<...> В.А.Катулин в своё время собрал вокруг себя молодых амбициозных ученых, и за эти большие чем сорок лет существования филиала на самарской земле коллектив, конечно, постарел. Наша цель – обеспечить постоянный приток молодежи. Молодые сотрудники у нас есть, и они замечательные. Наши молодые ученые два года подряд становятся лауреатами конкурса научных работ ФИАН: в 2019 году сотрудники лаборатории физико-химической кинетики Я.А.Медведков и А.П.Торбин стали лауреатами премии им. П.Н.Лебедева – техника физического эксперимента, а в 2020 году премию им. Д.В.Скобелевича – физика высоких энергий, ядерная физика, астрофизика – получили наши теоретики С.А.Белов, Д.И.Завершинский и Д.С.Рячиков. У нас есть лауреаты премии Президента, лауреаты различных губернских грантов и премий. Филиал живет. Он продолжает получать научные результаты мирового уровня, публиковать высокорейтинговые статьи, сотрудничать с вузами, с научными организациями в Самаре, России, с крупными зарубежными научными центрами, мы проводим мероприятия различного уровня – всероссийского и международного, и к нам любят приезжать. Хочется сохранять этот уровень – уровень, который был задан В.А.Катулиным».

Литература

- [1]. Басов Н.Г., А.З.Грасюк, В.А.Катулин, (1965) Индуцированное излучение в арсениде галлия при оптическом возбуждении, Докл. АН СССР, том 161, номер 6, 1306–1307.
- [2]. Грасюк А.З. (2012). Н.Г.Басов – один из величайших учёных двадцатого века. // Квантовая электроника, 42 (12), 1054-1063.
- [3]. Грасюк А.З. (2012). Когерентное суммирование лазерных пучков – от идеи до реализации. //

Лазер-Информ N 21 (492).

- [4]. Зуев, В.С., Катулин В.А. (1997). Научные основы мощных фотодиссоционных лазеров (из научной истории 60-х гг. Отделения квантовой радиофизики Физического института им. П.Н.Лебедева). // Квантовая электроника, 24(12), 1105-1113.

Использовались материалы сайта СФ ФИАН:

http://fian.smr.ru/katulin_1.htm;

<http://fian.smr.ru/sfhistory.shtml>;

http://fian.smr.ru/sffian_1.htm

ХРОНИКА

Торжественное заседание учёного совета СФ ФИАН



В Самарском филиале Физического института им. П.Н.Лебедева РАН (СФ ФИАН) 19 мая 2021 года состоялось

торжественное заседание Учёного совета, посвященное 85-летию со дня рождения *В.А.Катулина* – основателя и первого директора филиала. В заседании приняли участие более 70 человек, из которых 40 в условиях коронавируса смог вместить конференц-зал СФ ФИАН, еще более 30 человек подключились к онлайн-трансляции. С приветственными словами к участникам заседания обратились Министр образования и науки Самарской области *В.А.Акопьян*, помощник директора ФИАН по научной работе д.ф.-м.н. *С.Ю.Савинов*, представители администрации Октябрьского района Самары, ведущих самарских ВУЗов и научных организаций.

Директор Самарского филиала ФИАН д.ф.-м.н. *В.Н.Аязов* представил презентацию «СФ ФИАН: прошлое, настоящее и будущее», в которой отметил, что Самарский филиал ФИАН нельзя представить без *Виктора Анатольевича Катулина*. Именно он сформировал коллектив единомышленников, высококвалифицированных специалистов и энтузиастов, заложил традиции – все то, что позволило институту динамично развиваться все эти годы. *В.Н.Аязов* рассказал о новых проектах филиала, связанных с созданием центра лабораторной астрофизики, об исследованиях в таких перспективных направлениях как создание новых функциональных материалов и квантовых технологий, в частности, развития методов контроля молекулярных квантовых состояний и квантово-информационных технологий на основе молекул.

Особо интересной, одновременно торжественной и трогательной стала часть заседания, посвященная воспоминаниям соратников и коллег *В.А.Катулина*. О ранних годах работы *Виктора Анатольевича* в Отделении квантовой

радиофизики ФИАН под руководством лауреата Нобелевской премии *Н.Г.Басова* вспоминали сотрудники ФИАН д.ф.-м.н. *А.З.Грасюк* и д.ф.-м.н. *И.Г.Зубарев*, о работе по организации *В.А.Катулиным* первого академического института на Самарской (в то время Куйбышевской) земле, роли местного партийного руководства, ректоров ведущих вузов в становлении филиала ФИАН, о совместной работе в обществе «Знание» рассказал председатель общественной палаты Самарской области, академик РАН, президент Самарского университета, научный руководитель Института систем обработки изображений РАН д.т.н. профессор *В.А.Сойфер*. Среди выступавших были президент Лазерной ассоциации, руководитель Секретариата технологической платформы «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии — фотоника» профессор *И.Б.Ковш*, зав. кафедрой оптики и спектроскопии – кафедрой, которую основал и до своего ухода из жизни возглавлял *В.А.Катулин* – д.ф.-м.н. *В.В.Ивахник*, сотрудники Филиала – и те, кто стоял у истоков, и те, кто приходил потом, кто посвятил всю жизнь Филиалу и кто работает в других местах – *В.Д.Николаев*, *Н.Г.Куприянова*, *Н.Л.Куприянов*, *С.П.Котова*, *И.Н.Завестовская*, *Н.Н.Лосевский*, *П.О.Скобелев* (в кратком сообщении трудно перечислить всех). Прозвучало много теплых слов в адрес *Виктора Анатольевича Катулина*. Присутствующие вспоминали его талант физика-экспериментатора и выдающиеся организаторские способности, отмечали огромные работоспособность и энергию, жизнелюбие, его бескорыстное служение делу, отзывчивость, заботу о людях. А Самарскому филиалу ФИАН желали развития, новых значимых результатов, проектов и сотрудников, способных ставить и решать самые смелые задачи. Ведь сегодняшнее и будущее динамичное развитие СФ ФИАН, научные результаты его коллектива и являются лучшей памятью о *В.А.Катулине* – выдающемся ученом, организаторе и замечательном человеке.

ИНТЕРНЕТ-НОВОСТИ

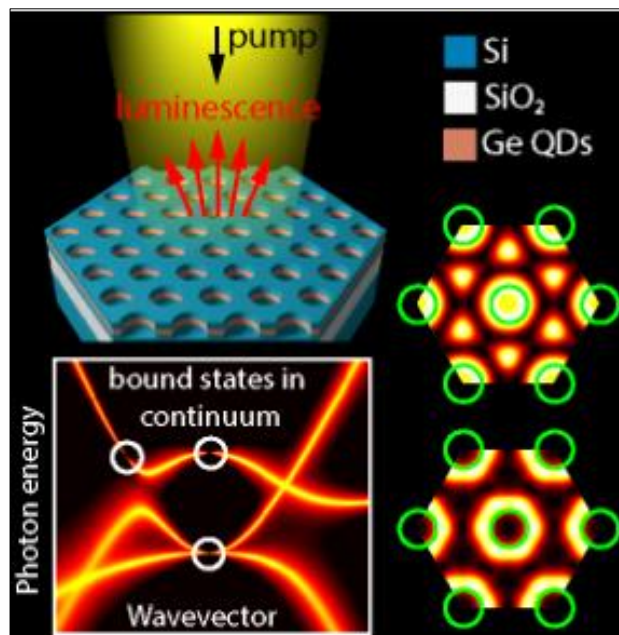
Высокоэффективные источники излучения для кремниевой оптоэлектроники и нанопотоники

Новый подход к увеличению эффективности источников излучения на кремнии предложен российскими учеными, объединившими свои усилия для решения этой актуальной задачи. В настоящее время компактные эффективные источники излучения востребованы в различных областях современной фотоники. Но особенно остро в них нуждаются кремниевая оптоэлектроника и нанопотоника. Кремний уже более 50 лет является основным материалом для интегральной электроники. Но его использованию в качестве источника излучения препятствует не прямой характер строения его энергетических зон. В то же время создание на кремнии источников излучения позволило бы объединить достоинства интегральных электронных схем обработки информации и быстродействующих оптоволоконных линий ее передачи.

Коллектив авторов, в который вошли ученые из Института физики микроструктур РАН – филиала ИПФ РАН, Нижегородского государственного университета, Сколтеха, ИОФ РАН, ИТМО и МГУ, предложил для создания источников излучения на кремнии использовать высокодобротные состояния электромагнитного поля в двумерных фотонных кристаллах. Несмотря на то, что такие состояния находятся в непрерывном спектре (континууме), они характеризуются низкими радиационными потерями. В физике эти состояния получили отдельное название – связанные состояния в континууме, или «*bound states in the continuum*» (BIC). Несмотря на то, что BIC были впервые предсказаны в квантовой механике около века назад, обнаружение и активное их изучение в оптике началось только в последнее десятилетие. Пристальное внимание, уделяемое BIC в оптике, объясняется множеством их потенциальных применений.

Авторами работы впервые проведен детальный теоретический анализ собственных мод фотонного кристалла с гексагональной решеткой типа пчелиных сот, который позволил выделить высокодобротные BICs моды. Они также экспериментально показали, что взаимодействие излучения германиевых квантовых точек, сформированных на кремнии, с BICs состояниями приводит к росту максимальной интенсивности сигнала люминесценции квантовых точек более чем в 100 раз, а интегральной интенсивности – более чем в 10 раз.

Предложенный авторами подход, основанный на использовании высокодобротных мод фотонных кристаллов с гексагональной симметрией, открывает новые возможности для создания компактных, эффективных источников излучения, в том числе тех, технология формирования которых совместима с кремниевой интегральной технологией. Такие источники излучения найдут широкое применение в оптоэлектронике, различных биологических приложениях, опти-



ческих сенсорах химических элементов и т.д. В ближайших планах команды авторов – реализация электрической накачки структур с германиевыми квантовыми точками, встроенных в фотонные кристаллы.

Результат опубликован в статье «Photonic bound states in the continuum in Si structures with the self-assembled Ge nanoislands» в журнале *Laser&Photonics Reviews* (импакт-фактор в Web of Science – 10,6).

Коллектив авторов: Дьяков С.А. и Гиппиус Н.А. (Сколтех); Новиков А.В. и Красильник З.Ф. (ИФМ РАН и ННГУ); Степихова М.В., Юрасов Д.В. и Шалеев М.В. (ИФМ РАН); Богданов А.А. (университет ИТМО); Туходеев С.Г. (МГУ и ИОФ РАН).

<https://scientificrussia.ru/articles/vysokoeffektivnye-istochniki-izlucheniya-dlya-kremnievoj-optoelektroniki-i-nanofotoniki>

«Лазер-Информ»

Издание зарегистрировано в
межведомственной комиссии
МГСНД 26.12.91. Рег. № 281
© Лазерная ассоциация.
Перепечатка материалов и их
использование в любой форме
возможны только
с разрешения редакции.

Отпечатано в НТИУС 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, ЛАС
Тел: (495)333-0022 Факс: (495)334-4780
E-mail: info@cislaser.com
http://www.cislaser.com
Банковские реквизиты ЛАС:
р/с 40703810538000006886
В ПАО «Сбербанк» г.Москва
к/с 30101810400000000225
БИК 044525225