

От НИИ 801 к Государственному научному центру Российской Федерации АО «НПО «Орион»

И. Д. Бурлаков, В. П. Пономаренко, В. В. Старцев

АО «НПО «Орион» успешно преодолел порог тридцатилетия со дня присвоения ему статуса Государственного научного центра Российской Федерации (ГНЦ РФ), полностью оправдав идею создания научных организаций нового типа для сохранения ведущих научных школ мирового уровня, быстрого развития научного потенциала страны в области фундаментальных и прикладных исследований, подготовки высококвалифицированных научных кадров, воплотившуюся в Указе Президента Российской Федерации от 22 июня 1993 года № 939. К настоящему времени в ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» получены впечатляющие результаты в развитии ряда приоритетных научных направлений, базовых и критических технологий федерального уровня, в области информационно-телекоммуникационные системы, технологии микро-, фото- и наноэлектроники, оптоэлектроники и фотоники.



*Академик
С. И. Вавилов*

Научно-производственное объединение «Орион» ведет свою историю от НИИ инфракрасной техники и электронной оптики (НИИ 801) и НИИ прикладной физики (НИИ ПФ). НИИ 801 создан сразу после окончания Великой Отечественной войны в феврале 1946 года распоряжением Совнаркома

СССР. Инициатор создания института прези-

дент академии наук СССР, основатель отечественной научной школы физической оптики, уполномоченный Правительства СССР по инфракрасной технике, академик Сергей Иванович Вавилов (1891–1951). По его предложению первым научным руководителем был назначен крупный советский физик, Герой Социалистического Труда, академик А. А. Лебедев (1893–1969).

Одной из основных задач вновь создаваемого института было определено «...проведение всесторонних исследований с целью создания новых высокочувствительных преобразователей невидимых лучей в видимые». Этим подчеркивалось решающее значение оптики и инфракрасной техники, прежде всего, для развития обороноспособности государства. Все события прошедшего XX и текущего XXI веков лишь подтвердили справедливость этой концепции. Задачи проведения фундаментальных, поисковых и прикладных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в области физики фотоэлектрических явлений, инфракрасной техники, оптической сенсорики, физики и технологии полупроводниковых фоточувствительных материалов, физики и техники приборов ночного видения, перспективных оптико-электронных систем широкого народно-хозяйственного и оборонного назначения были возложены на ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» Постановлением Правительства Российской Федерации от 5 июня 1994 года № 649. Наиболее значимые научно-технологические результаты, полученные в ГНЦ за последнее десятилетие существенно обогатили реализацию порученного научного направления.

Новые поколения тепловизионных фотосенсоров

К тепловизионным диапазонам относят области электромагнитного оптического излу-

Бурлаков Игорь Дмитриевич, зам. ген. директора по инновациям и науке, д.т.н.

Пономаренко Владимир Павлович, главный конструктор, д.ф.-м.н.

Старцев Вадим Валерьевич, генеральный директор.

АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

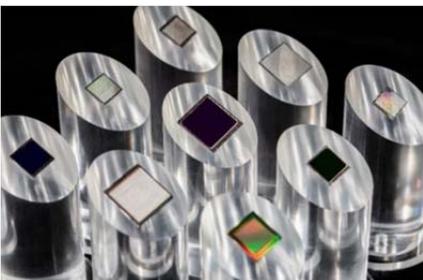
чения с длинами волн 1,5–2,5, 3–5 и 8–12 мкм, соответствующие окнам прозрачности земной атмосферы.

Научно-технологические проблемы создания тепловизионной аппаратуры с использованием линейчатых фоторезистивных приемников с числом элементов 10–200 были в основном решены к концу XX века. Их постепенное внедрение в реальные системы управления огнем, танков, системы переднего обзора самолетов, вертолетов и др. привели к созданию унифицированных модульных систем, сделавших рентабельным и экономически выгодным массовый выпуск таких приборов. Параметры многих из разработанных одноэлементных и линейчатых фотосенсоров и созданных на их основе систем фактически достигли своего теоретического предела. Вместе с тем, стратегия развития современных видов высокоточного вооружения требовала существенного увеличения дальности обнаружения малоразмерных целей, повышения вероятности их распознавания, снижения массогабаритных характеристик, энергопотребления, отказа от оптико-механических систем сканирования изображения и т. п. Это стимулировало разработку технологий нового поколения фотоприемных устройств, к которым стали относить двумерные (матричные и субматричные) структуры формата $N \times M$, в которых N и M могло достигать от 128 до 4096. Использование «смотрящих» матричных фотосенсоров обеспечивало отказ от оптико-механического сканирования, что кардинально снижало габариты и вес, повышало надежность и устойчивость аппаратуры к механическим нагрузкам. Для использования в

сканирующей оптико-электронной аппаратуре разрабатывались субматрицы формата $N \times M$ с числом элементов в строке $M = 4 \div 16$ и более. Сканирующая система обеспечивает движение изображения наблюдаемой сцены в направлении, параллельном строкам. Режим временной задержки и накопления (ВЗН) при считывании сигналов с элементов строк осуществляет пространственно-временное преобразование, заключающееся в суммировании сигналов от M элементов строки с задержкой синхронно со сканированием. При таком накоплении сигнала происходит увеличение отношения сигнал/шум $\sim \sqrt{M}$ раз, что значительно улучшает пороговую чувствительность прибора, а также устойчивость формируемого изображения к появлению отдельных неработающих элементов. По сложности технологии матричные и субматричные фотосенсоры во много раз превосходили все созданные к началу этих разработок.

В последнее десятилетие в АО «НПО «Орион» была завершена разработка не только физико-технологических основ нового поколения матричных фотосенсорных устройств для тепловизионной техники, но и впервые в РФ создана серийная технология и введена в эксплуатацию современная производственная линия по их промышленному выпуску.

«Увидеть первым – значит победить» – так лаконично сформулировал принцип применения фотосенсорики в военном деле С. И. Вавилов. Среди наиболее важных завершённых разработок последнего десятилетия, подтверждающих эти слова, следует отметить создание в АО «НПО «Орион» научно-технических основ и промышленных технологий:



Матричные фоточувствительные элементы нового поколения на основе различных полупроводниковых соединений



Участок теххимии в производственном комплексе серийного производства новых поколений фотосенсорики



МФПУ нового поколения формата 640x512 элементов на основе фотодиодов из антимонида индия для области спектра 3–5 мкм

– матричных фотоприемных устройств (МФПУ) и формирователя сигналов изображения на основе фотодиодов из антимонида индия на область спектра 3–5 мкм формата 640×512 элементов (шаг 15 мкм) для оптико-электронной аппаратуры бронетанковой техники. В настоящее время ведется крупносерийный выпуск этих изделий в обеспечение оперативных нужд ВС РФ. Эта работа удостоена премии Правительства РФ в области науки и техники 2020 года;

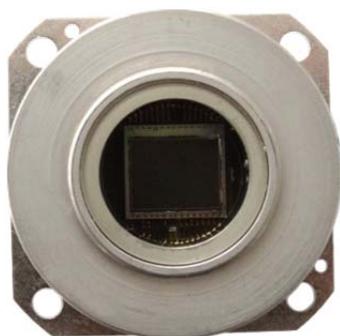
– МФПУ на основе квантовых ям из гетероструктур арсенид галлия/алюминий-галлий-мышьяк для области спектра 8–10 мкм формата 384×288 элементов (шаг 25 мкм) и 640×512 элементов для оптико-электронной аппаратуры новейших систем управления огнем;

– МФПУ на основе фотодиодов из твердого раствора индий-галлий-мышьяк (InGaAs) для коротковолновой области спектра 0,9–1,7 мкм формата до 640×512 элементов (шаг 15 мкм) для неохлаждаемой малогабаритной оптико-электронной аппаратуры наблюдения и целеуказания.

Создание матричного фотосенсора из InGaAs обеспечило разработку малогабаритной ИК-камеры наблюдения в коротковолновом спектральном диапазоне для различных применений: промышленность, оборона, транспорт, медицина, искусствоведение, обнаружение пожаров и др.

Создан модельный ряд камер коротковолнового ИК-диапазона спектра с различными выходными интерфейсами Gigabit Ethernet, CameraLink, USB 2.0 и др. Область использования ИК-камер постоянно расширяется.

Совместно с Третьяковской галереей и Государственным научно-исследовательским институтом реставрации было проведено уникальное исследование древней иконы «Чудо Св. Георгия о змие» (начало XVIII века) с использованием разработанной камеры коротковолнового ИК-диапазона, позволившее обнаружить ранее неизвестные фрагменты изображения и открывшее новое направление в отечественной рефлектометрии произведений искусства.



МФПУ и малогабаритная камера коротковолнового диапазона



Изображение фрагмента иконы в видимом диапазоне спектра



Изображение фрагмента иконы в спектральном диапазоне 0,9–1,7 мкм

АО «НПО «Орион» с 2022 года с учетом накопленного научного задела начал разработку совершенно новых матричных фотосенсоров с использованием структур на основе коллоидных квантовых точек с расширенной областью спектральной чувствительности 0,4–2,0 мкм.

Разработки матричных фотосенсоров не исчерпываются инфракрасными спектральными диапазонами. В прошедшем десятилетии было создано первое отечественное МФПУ формата 320×256 элементов на основе твердого раствора нитрид алюминия-галлия для ультрафиолетовой области спектра, включая «солнечно-слепые» и «видимо-слепые» приборы.

Таким образом, разработки ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» фактически обеспечили возможность перехода отечественной оптоэлектронной техники на элементную базу второго поколения и импортозамещение в части изделий фотоэлектроники по целому ряду важнейших изделий оптико-электронного приборостроения.

Космическая фотосенсорика

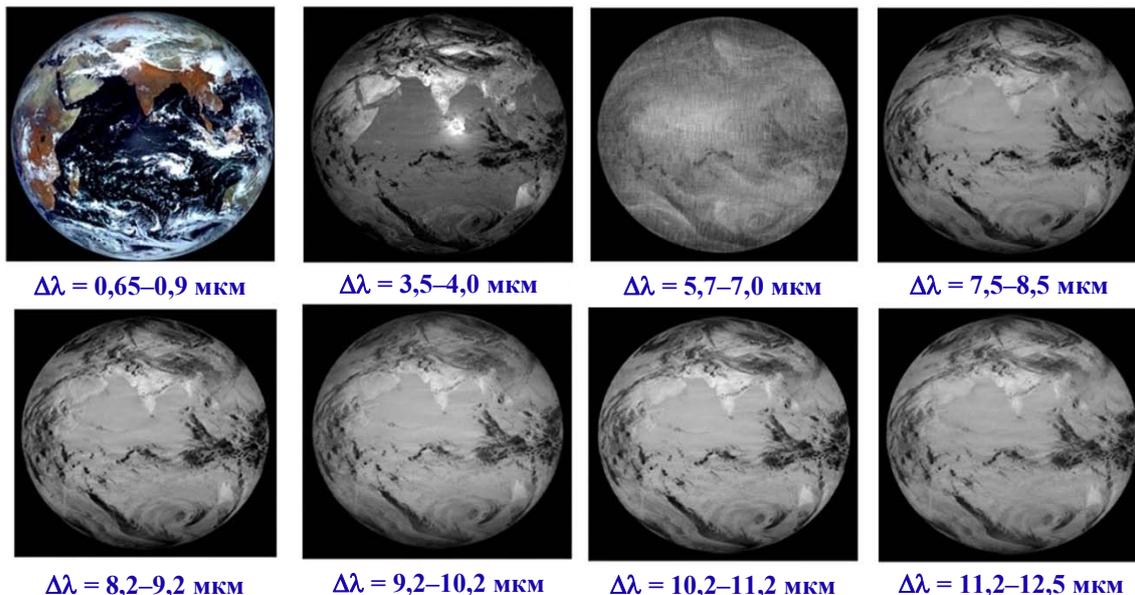
Возможности сверхдальней тепlopеленгации и дистанционного зондирования поверхности Земли и мирового океана в инфракрасном диапазоне привлекали внимание специалистов с 1950-х годов еще до запуска первого искусственного спутника.

Создание фотосенсоров для космической аппаратуры всегда было одной из приоритетных научных задач АО «НПО «Орион». Достаточно вспомнить, что на третьем искусственном спутнике Земли (1958 г.) была размещена аппаратура для изучения корпускулярного излучения Солнца, разработанная и изготовленная в НИИ 801. В последующие годы интенсивных исследований космического пространства фотоприемники АО «НПО «Орион» успешно работали на космических аппаратах, запущенных на Луну, Марс, Венеру, комету Галлея и др. В минувшем десятилетии АО «НПО «Орион» были разработаны несколько уникальных приборов фотосенсорика для использования на борту космических аппаратов:

– многоэлементный фотоприемник для инфракрасного Фурье-спектрометра, предназначенный для измерений спектров исходящего излучения земной атмосферы с борта космического гидрометеорологического и океанографического комплекса мониторинга Земли четвертого поколения;

– сверхдлинноволновое инфракрасное фотоприемное устройство для спектрометра, исследующего химический состав и структуру атмосферы Марса с борта космического аппарата «ЭкзоМарс-2016» в рамках совместного российско-европейского проекта по исследованию Марса с орбиты искусственного спутника;

– уникальный комплект многорядных инфракрасных МФПУ формата 4×288 элементов на основе материала кадмий-ртуть-теллур (КРТ) с чувствительностью в различных диапазонах инфракрасной области длин волн от 3,5 мкм до 12,5 мкм – ключевых элементов аппаратуры геостационарного многоспектрального гидрометеорологического комплекса МСУ-ГС с характеристиками, соответствующими мировому уровню. Комплекс осуществляет дистанционное зондирование Земли с космических аппаратов (КА) серии «Электро-Л», обеспечивая получение информации о поверхности и происходящих процессах в атмосфере в виде изображений всего видимого диска Земли в различных диапазонах ИК-области спектра с новым, ранее недостижимым качеством. Обработка получаемых данных позволяет определять вертикальные профили температуры и влажности в тропосфере, направление ветра и другие параметры в интересах оперативной метеорологии и климатологии. Аппаратура МСУ-ГС на двух КА «Арктика-М», находящихся на высокоэллиптических орбитах, обеспечивает круглосуточное непрерывное наблюдение полярных районов для решения задач гидрометеорологии, экологии и информационного обеспечения хозяйственной деятельности арктического региона, судоходства по трассе Северного морского пути и навигации кросс-полярных авиационных маршрутов.



Визуальное представление информации, получаемое прибором МСУ-ГС за один сеанс съемки (первое изображение синтезировано из трёх спектральных каналов $0,5 \pm 0,65 \text{ мкм}$, $0,65 \pm 0,8 \text{ мкм}$ и $0,8 \pm 0,9 \text{ мкм}$)

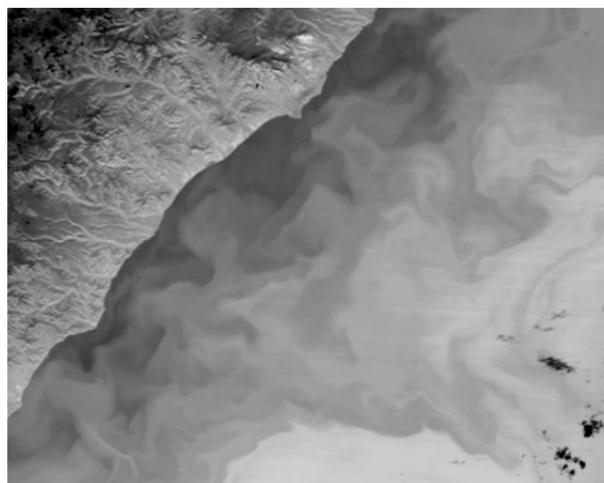


ИК ФПУ с МКС Стирлинга

— комплект из двух охлаждаемых многорядных ИК ФПУ формата 4×288 элементов на основе КРТ на спектральные диапазоны $3-5 \text{ мкм}$ и $8-12 \text{ мкм}$ с работающей по циклу Стирлинга микрокриогенной системой охлаждения – ключевых компонентов аппаратуры космического комплекса оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций МСУ-ИК-СРМ, размещенного на КА «Канопус-В-ИК».

МСУ-ИК-СРМ, работающее на высокоэллиптической орбите, предназначено для обнаружения лесных пожаров, оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций. Изображения с МСУ-ИК-СРМ с пространственным разрешением 200 м , подробно показывают фактические фронты пожаров и их локальные особенности, что позволяет более полно оценить пожарную си-

туацию, характер и тип пожара, направление его распространения, площадь огневой зоны, локальную интенсивность и др. Высокое радиометрическое разрешение МСУ-ИК-СРМ позволяет регистрировать локальные разности температуры до $0,1 \text{ К}$.



Изображение МСУ-ИК-СРМ в диапазоне $8,4-9,4 \text{ мкм}$ с тепловым распределением в Японском море

В АО «НПО «Орион» проводится дальнейшая многоплановая разработка крупноформатных многорядных фотоприемных устройств ИК области ИК-спектра для тепловизионной аппаратуры обнаружения малоразмерных объектов с космических аппаратов, находящихся на геостационарной орбите.

Полупроводниковое материаловедение

Исходным материалом для разработок и промышленного выпуска матричных фотоприемных устройств являются эпитаксиальные структуры, получаемые различными методами. Применение метода молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) обеспечивает изготовление образцов гетероэпитаксиальных структур большого диаметра, с хорошей морфологией, плоскостностью и электрофизическими свойствами, задаваемыми в процессе синтеза.



Технологический участок молекулярно-лучевой эпитаксии

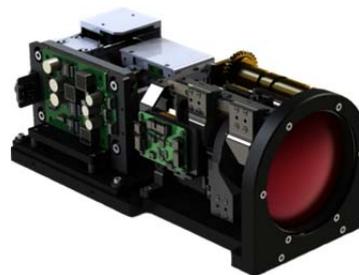
В результате проведения в последнее десятилетие ряда научно-исследовательских материаловедческих работ в АО «НПО «Орион» создан участок и научно-промышленная основа отечественной молекулярно-лучевой технологии изготовления гетероэпитаксиальных структур из КРТ, антимонида индия и ряда твердых растворов из элементов II, III, V и VI групп Периодической системы, позволяющая получать полупроводниковые структуры для матричных фотоприемных устройств ИК-диапазона спектра.

Оптоэлектронное приборостроение

К функциям, возложенным на ГНЦ РФ АО «НПО «Орион», также относится проведение опытно-конструкторских работ в области оптоэлектроники, включая приборы ночного видения, оптикоэлектронные системы, микрокриогенные системы охлаждения, методы обработки изображений в оптикоэлектронной оборонной и гражданской технике. Разработаны и осваиваются в производстве оптико-электронные модули (ОЭМ) средне-волнового ИК-диапазона спектра на основе отечественного МФПУ формата 640×512 элементов с шагом 15 мкм , в том числе с варио-объективами и электронным блоком обработки, формирующим видеосигнал теплового изображения. ОЭМ могут использоваться для решения различных задач, таких как вождение транспорта в условиях плохой видимости, для охраны особо важных объектов и акваторий, контроля утечек тепла и т. п.

Актуальной задачей при создании оптоэлектронной аппаратуры является разработка

методов цифровой обработки инфракрасных изображений, позволяющих добиться существенного улучшения распознавания объектов, особенно при неблагоприятных условиях наблюдения, а также нивелировать нелинейности и дефекты чувствительности матричных элементов. В АО «НПО «Орион» развиты новые методы и алгоритмы обработки ИК-изображений, включая алгоритмы локального контрастирования, контрастно-ограниченной адаптивной и гистограммной эквализации, автоматической регулировки усиления, ретинекса и некоторые другие.



Оптико-электронный тепловизионный модуль для диапазона спектра $3\text{--}5 \text{ мкм}$ на основе отечественного МФПУ формата 640×512 элементов

Одной из важнейших задач импортозамещения является разработка отечественных микрокриогенных систем охлаждения (МКС), обеспечивающих рабочие температуры фотоприемных устройств криогенного уровня. В АО «НПО «Орион» созданы научно-технологические и конструкторские основы, разработан ряд отечественных МКС для температур криостатирования 70–110 К, с холодопроизводительностью не менее 0,5 Вт и диапазоном температур окружающей среды $-55 \div +65$ °С.

Разработка малогабаритных высокоэффективных лазерных систем наведения и прицеливания является одной из актуальных задач оптоэлектронного приборостроения. Помимо специальных задач, они используются в спорте, охоте, тренировках военнослужащих и т. п. Коллективу специалистов ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» за разработку лазерных целеуказателей, в том числе работающих в невидимых глазом спектральных диапазонах и двухспектральных, была присуждена премия Правительства Российской Федерации 2022 года в области науки и техники для молодых ученых.

Фундаментальные и прикладные исследования. Научная школа.

Подготовка высококвалифицированных научных кадров

«Никаких новых технологий не будет без фундаментальных исследований» – эти слова принадлежат замечательному российскому ученому, одному из основоположников мировой науки о стекле академику М. М. Шульцу, Герою Социалистического Труда, лауреату двух Государственных премий СССР. Указ Президента Российской Федерации от 22 июня 1993 года № 1193 связывает развитие научного потенциала страны в области фундаментальных и прикладных исследований с созданием благоприятных условий для сохранения и развития в Российской Федерации ведущих научных школ мирового уровня.

Научная школа «Фундаментальные и прикладные исследования в области микрофотэлектроники на основе узкозонных полупроводников» в ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» была поддержана грантом Президента Рос-

сийской Федерации по поддержке ведущих научных школ (грант НШ-2787.2014.9). С момента её создания эта научная школа не только сохранила свои ведущие позиции в области инфракрасной фотоэлектроники с использованием узкозонных полупроводников, но и обеспечила развитие ряда новых направлений квантовой фотосенсорики, основными из которых являются фундаментальные и поисковые исследования по созданию новых поколений приборов фотосенсорики, поисковые исследования новых фоточувствительных материалов и структур, включая квазиульмерные и квазидвумерные наноматериалы.

Выполняя проект Российского фонда фундаментальных исследований «Исследование фундаментальных механизмов обнаружения слабых сигналов оптического излучения с использованием 2D-материалов для создания на их основе эффективных фотоприемных устройств» в АО «НПО «Орион» впервые в мире были получены фоточувствительные элементы на основе массивов произвольно ориентированных 2D-нанослоев Bi_2Te_3 и восстановленного оксида графена (rGO), а также гетероструктур с их использованием. Без охлаждения реализована фоточувствительность в различных областях электромагнитного излучения, изготовлены полевые фототранзисторы, что открывает перспективы создания фотосенсоров с управляемой напряжением спектральной чувствительностью.

В АО «НПО «Орион» в 2020–2022 гг. впервые Российской Федерации были получены малоразмерные фоточувствительные элементы на основе структур из квазиульмерных коллоидных квантовых точек с чувствительностью в диапазоне длин волн от 0,4 до 2,0 мкм.

Проведены комплексные физико-технологические исследования новых пассивирующих покрытий на поверхности антимолибдидов, позволяющие внедрить новые технологические процессы в серийное производство охлаждаемых МФПУ. Эта работа удостоена премии Правительства Москвы 2022 года молодым ученым.

За период 2014–2023 гг. ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» пополнил портфель результатов интеллектуальной деятельности, в том числе: 74 патента РФ на изобретение,

17 патентов РФ на полезную модель, 30 свидетельств о государственной регистрации топологий интегральных микросхем, 157 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, 28 секретов производства (ноу-хау).

Для подготовки высококвалифицированных научных кадров в области фотоэлектроники в АО «НПО «Орион» работает аспирантура, осуществляющая подготовку по специальностям 1.3.11 – Физика полупроводников, 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств, 2.2.6 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы, действует докторский диссертационный совет.

На базе АО «НПО «Орион»:

- работают 2 базовые кафедры – Московского физико-технического института (национального исследовательского университета) и Российского технологического университета – МИРЭА, студенты и аспиранты которых привлечены к решению стоящих перед ГНЦ наиболее современных научных и технологических задач;

- создан учебно-производственный центр, основными задачами которого являются:

- привлечение молодежи к работе в высокотехнологичном комплексе предприятия;

- взаимодействие с высшими учебными заведениями и учреждениями среднего профессионального образования, в том числе, по вопросам целевого приема в высшие учебные заведения;

- внедрение различных современных видов обучения персонала предприятия, в том числе с использованием электронных форм.

ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» имеет соглашения и договора о взаимодействии с рядом ВУЗов и колледжей. В подразделениях предприятия проходят практику учащиеся ВУЗов и колледжей, проводятся экскурсии для учащихся школ, колледжей и ВУЗов с целью популяризации науки и привлечения к учебе в профильных ВУЗах с последующим трудоустройством на предприятие. В 2022–2023 году практику прошли 134 человека, в том числе 84 учащихся средних учебных заведений и 50 студентов ВУЗов.

ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» совместно с холдингом «Швабе» с 2018 года проводит корпоративный конкурс «Сила света» – интеллектуально-образовательное мероприятие для талантливой молодежи в возрасте от 14 до 18 лет, увлеченной естественными и техническими науками. Многие участники конкурса, прошедшие подготовку в ГНЦ РФ АО «НПО «Орион», стали победителями и призерами финала в различных номинациях конкурса.

ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» является:

- учредителем и издателем научных журналов «Прикладная физика» и «Успехи прикладной физики», представленных в перечне ВАК и базах данных РИНЦ и «Chemical Abstracts»;

- организатором Международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, проходящей каждые 2 года. Ежегодно проводится научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов.



XXVI Международная конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения (2022 г.)

ГНЦ РФ АО «НПО «Орион» на сегодняшний день является одним из наиболее квалифицированных и динамично развивающихся научных центров страны в области технологий оптоэлектроники и фотоники, активно участвует в решении ключевых задач национального развития, стоящих перед отечественной наукой, а научно-технические и технологические разработки ученых и специалистов ГНЦ способствует укреплению обороноспособности и технологического суверенитета нашей страны.