

НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ПРИБОРЫ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

В.Г. Волков, гл. спец. АО «МЗ «САПФИР», д-р техн. наук, проф.,
volkvik2009@yandex.ru

П.Д. Гундин, зам. директора АО «МЗ «САПФИР», д-р техн. наук, проф.,
NYU2000@mail.ru

В.В. Карпов, нач. СКБ АО «МЗ «САПФИР», канд. физ.-мат. наук, ko-ckb@mail.ru

С.А. Кузнецов, директор АО «МЗ «САПФИР», info@mzsapphir.ru

Рецензент: Е.А. Рындин, д-р техн. наук, проф., ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,
rynenator@gmail.com

В статье рассматриваются приборы ночного видения (ПНВ), принцип их построения, основные поколения, современное состояние разработки и перспективы развития, главные параметры ПНВ, их виды, особенности применения и конструктивного исполнения.

Ключевые слова: прибор ночного видения, особенности применения, электронно-оптический преобразователь, фотокатод, объектив, фильтр, окуляр, источник питания, инфракрасный осветитель, дальность обнаружения, дальность распознавания, угол поля зрения, разрешающая способность.

NIGHT VISION DEVICES

V.G. Volkov, Chief Specialist, JSC «Ministry of Health «SAPPHIRE», Ph. D., Professor,
volkvik2009@yandex.ru

P.D. Gindin, Deputy Director, JSC «Ministry of Health «SAPPHIRE», Ph. D., Professor,
NYU2000@mail.ru

V.V. Karpov, Head of Bureau, JSC «Ministry of Health «SAPPHIRE», Doctor of Physics and mathematics, ko-ckb@mail.ru

S.A. Kuznetsov, Director, JSC «Ministry of Health «SAPPHIRE», info@mzsapphir.ru

The article discusses the night vision goggles (NVGs), the principle of their construction, the main generations, the current state of development and development prospects, the main parameters of NVGs, their types, application features and design.

Keywords: night vision device, application features, electron-optical converter, photocathode, lens, filter, eyepiece, power source, infrared illuminator, detection range, recognition range, field of view angle, resolution.

Введение

Проблема обеспечения видения при низких уровнях освещенности (сумерки, ночь) и в полной темноте всегда оставалась актуальной как для военной, так и для гражданской техники. Однако решение этой проблемы стало одной из наиболее трудных задач, так как потребовало серьезной научной подготовки и создания значительной технико-экономической базы. Предпосылкой для создания приборов ночного видения (далее — ПНВ) стало открытие в на-

чале XIX века инфракрасного (далее — ИК) излучения. Однако устройство, способное «видеть» предметы не в оптическом (видимом), а в ИК-диапазоне спектра, было создано лишь в 1934 г. Этот момент принято считать началом эры ночного видения [1–3].

Развитие ПНВ можно разбить на ряд этапов, с которыми связано появление их определенных поколений. Каждое последующее поколение отличалось от предыдущего большей дальностью видения, лучшим качеством изображения, снижением массы и габаритов, увеличением времени работы, повышением стойкости к воздействию световых помех и целым рядом других преимуществ. Главным признаком, по которому различаются поколения ПНВ, является их основной элемент — электронно-оптический преобразователь (далее — ЭОП), предназначенный для преобразования невидимого глазом ИК-изображения в видимое и усиления его по яркости [1].

Основные поколения ЭОП

Прежде чем говорить о дальнейшей истории развития ПНВ, разберемся в классификации их поколений. Здесь существует определенная путаница. Принятая среди специалистов в области разработки и производства ПНВ классификация по поколениям определяется главным образом поколением ЭОП [1–3]:

Поколение 0

Поколение 0 — использование 1-, 2- или 3-камерных ЭОП с многощелочным фотокатодом (рабочая область спектра: 0,4–0,8 мкм) или кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом (рабочая область спектра: 0,4–1,1 мкм), в стеклянном корпусе, с выносным высоковольтным источником питания (ВИП), соединяемым с ЭОП высоковольтным кабелем. Стеклянный корпус ЭОП требует защитного герметизированного кожуха для работы в условиях механических нагрузок. Кроме того, излучение с фотокатода рассеивается в стекле корпуса ЭОП. Этот рассеянный свет накладывается на полезное изображение и снижает его контраст.

Сегодня ЭОП нулевого поколения сняты с производства во всем мире и заменены более эффективными, но и более дорогими ЭОП последующих поколений. Только в России и некоторых странах СНГ еще можно купить ПНВ нулевого поколения. Их стоимость обычно составляет 100–200 долл. Слабые характеристики таких ПНВ позволяют рассматривать их только как приборы для технологического контроля, охотничьи прицелы с малой дальностью действия, а также как сувениры или игрушки. Тем не менее они нашли свою нишу на рынке, определив нижний ценовой диапазон ПНВ.

Однокамерный ЭОП нулевого поколения представляет собой цилиндрическую вакуумированную колбу. На внутреннюю поверхность переднего ее торца нанесен фотокатод с внешним фотоэффектом и с нулевым потенциалом, а на внутреннюю поверхность заднего ее торца нанесен люминесцирующий экран, являющийся высоковольтным анодом. В фотокатодe происходит процесс фотоэлектронной эмиссии. В результате создается электронное изображение, соответствующее по плотности фотоэлектронов входному оптическому изображению на фотокатодe. Далее фотоэлектроны ускоряются и фокусируются электронной оптикой на выходной экран, где в результате катодолюминесценции электронное изображение преобразуется в усиленное видимое изображение. Усиление яркости в ЭОП достигается за счет преобразования нейтральных фотонов в заряженные частицы — фотоэлектроны и увеличения их энергии высоким напряжением, создаваемым высоковольтным источником питания и прикладываемым к электродам электронной оптики [3].

Данные ЭОП имеют чувствительность фотокатода 120–250 мкА/лм. Усиление света у них составляет 120–1000, разрешение в центре — 25–35 штрих/мм. Отличительная особенность данного типа ЭОП состоит в том, что четкое изображение наблюдается только в центре, с искажением и меньшим разрешением по краям. Кроме этого, если в поле зрения попадают яркие источники света, например фонари, светящиеся окна домов и т.п., происходит засветка всего изображения, что мешает наблюдению. Из-за низкого усиления однокамер-

ные ПНВ нулевого поколения очень критичны к светосиле оптики и параметрам ЭОП. При наличии 1/4 Луны на небе эти ПНВ еще кое-как работают. При более низкой освещенности необходима дополнительная ИК-подсветка. Для увеличения коэффициента усиления ЭОП иногда последовательно стыкуют две, три или более камер, собирая конструктивно их в один корпус.

В этом вакуумированном корпусе две или более камер разделены тонкой слюдяной перегородкой. На эту перегородку со стороны предыдущей камеры наносится катодолуминесцентный экран, а со стороны последующей камеры — фотокатод. Таким образом, через тонкую прозрачную перегородку осуществляется с минимальными потерями (не более 10 % при толщине перегородки 5 мкм) оптический контакт экрана и фотокатода. Усиленное в предыдущей камере свечение экрана попадает через перегородку на фотокатод и вызывает эмиссию усиленного, по сравнению с током, падающим на экран, фототока. При этом вследствие малой толщины перегородки потери в разрешающей способности изображения невелики. Такой сэндвич «экран-перегородка-фотокатод» получил название каскада усиления, а ЭОП с его применением называется каскадным или многокамерным. Так, в двухкамерном ЭОП содержится один каскад усиления, в трехкамерном — два каскада и т.д. Однако для ПНВ ограничиваются применением двухкамерного или трехкамерного ЭОП из-за неприемлемого возрастания уровня шумов при дальнейшем увеличении числа каскадов. Усиление света в двухкамерном ЭОП составляет $5 \times 10^3 - 10^4$, а в трехкамерном ЭОП — $5 \times 10^4 - 10^5$ раз [3].

Однако при стыковке камер сильно растут искажения и еще больше падает разрешение по краям поля изображения. ПНВ, построенные на основе многокаскадных ЭОП, получаются очень громоздкими и тяжелыми, поэтому в последнее время их практически вытеснили малогабаритные ПНВ первого и второго поколений, имеющие лучшие характеристики и близкую стоимость. Нельзя говорить о предлагаемых торговыми фирмами ночных прицелах и вообще ПНВ первого поколения, так как фактически эти фирмы поставляют ПНВ не первого, а нулевого поколения с использованием однокамерных ЭОП. Поколения 1⁺ не существует, так как торговые фирмы фактически под этим названием поставляют ПНВ на базе одномодульных ЭОП 1-го поколения.

Поколение 1

Поколение 1 — использование ЭОП 1-, 2- или 3-модульных ЭОП с многощелочным фотокатодом с увеличенной ИК-чувствительностью, в металлокерамическом корпусе, со встроенным ВИП и с наличием волоконно-оптических деталей (ВОД) на входе и выходе ЭОП вместо обычного стекла. ВОД представляет собой множество микроскопических стеклянных световодов, способных передавать изображение с большой четкостью. Внешняя поверхность ВОД — плоская, а внутренняя — сферическая, совпадающая с эквипотенциальной поверхностью электростатического поля электронной оптики ЭОП. Это позволило увеличить разрешение по краям поля зрения и уменьшить дисторсию (искажение формы изображения), а также защитило изображение от засветок боковыми точечными источниками света, что позволило работать с этим приборами в городских условиях. Наличие металлокерамического корпуса вместо стеклянного исключает воздействие рассеянного света на полезное изображение и позволяет повысить прочность ЭОП к механическим нагрузкам. Если ЭОП поколения 0 — неразъемные соединения, и в случае выхода из строя одной камеры бракуется весь ЭОП, то для ЭОП поколения 1 достаточно просто заменить вышедший из строя модуль годным модулем.

ВОД соединены с металлическими деталями корпуса (фланцами) ситалло-кристаллическим цементом. Световоды ВОД имеют диаметр 8—10 мкм. Это обеспечивает разрешающую способность до 70—100 штр/мм. Вакуумный корпус модуля состоит из металлических деталей (чашек) и стеклянной или металлокерамической цилиндрической части. Однокамерные модули ЭОП собираются в многомодульные конструкции простым оптическим контактом

плоских поверхностей входных и выходных ВОД. ЭОП первого поколения принято считать сборку из трех модулей, помещенную в единый корпус вместе с миниатюрным источником вторичного питания (первичный источник питания — батарея на 3 В входит в состав ПНВ). Трехмодульный ЭОП первого поколения дает на выходе прямое изображение наблюдаемых объектов с увеличением, близким к единице, и имеет коэффициент преобразования до $(3-5) \times 10^4$. Это несколько ниже, чем в трехкамерных каскадных ЭОП, что связано с конечным пропусканием (около 80 %) каждой из шести используемых в сборке ВОД. Разрешающая способность ЭОП в центре поля зрения составляет 30–25 штр/мм, на краю поля зрения на 10 % ниже [3].

Коэффициент усиления яркости у таких одномодульных ЭОП составляет 1000, а разрешение в центре не хуже 45 штр/мм. ПНВ поколения 1 отличаются от ПНВ нулевого поколения большей четкостью изображения, большей дальностью действия в пассивном и активном режимах и работают при уровнях освещенности, соответствующих 1/4 Луны на небе. ПНВ, созданные на основе ЭОП поколения 1, продаются по ценам 600–800 долл. При изготовлении этих ЭОП стали использовать чувствительный многощелочной фотокатод S-25. Интегральная чувствительность фотокатода — 250–300 мкА/лм. Рабочая область спектра — 0,4–0,9 мкм (продлена в ИК-область спектра). Раньше иногда такие ЭОП называли поколением 1, если они имели фотокатод S-20, и поколением 1⁺, если они имели более чувствительный фотокатод S-25. Однако теперь уже все ЭОП поколения 1 имеют такой фотокатод. В связи с этим более правильным является наименование поколения таких ЭОП поколением 1.

Поколение 2

Поколение 2 — использование одномодульных ЭОП в металлокерамическом корпусе с многощелочным фотокатодом и с микроканальной пластиной (МКП). В 70-е годы на основе технологии волоконной оптики фирмами США был разработан вторично-эмиссионный усилитель в виде микроканальной пластины (МКП). МКП представляет собой тонкую пластинку с наклонными микроканалами, число которых — более 1 млн, а диаметр — 6–10 мкм. Толщина МКП составляет 0,4–0,5 мм. Обе поверхности МКП полируются и металлизируются, между ними прикладывается напряжение в несколько сотен вольт.

МКП используют принцип усиления тока за счет вторичной эмиссии. Внутренняя поверхность микроканалов в результате специальной термообработки содержит слой, преимущественно состоящий из окиси свинца. На поверхности торцов диска МКП, свободные от микроканалов, наносятся низкоомные металлические покрытия. Приложенное к ним напряжение создает внутри всех микроканалов электрическое поле, направляющее фотоэлектроны от входа микроканала к его выходу. Когда в микроканал такой МКП попадает фотоэлектрон, эмитированный фотокатодом, то при столкновении с внутренней стенкой микроканала он вызывает вторичную эмиссию нескольких электронов. Они под действием электрического поля, созданного приложенным к МКП напряжением, будут двигаться в осевом направлении и одновременно под действием начальных скоростей вторичной эмиссии — в радиальном направлении. Поэтому вторичные электроны сталкиваются со стенкой микроканала и вызывают появление новых вторичных электронов. Этот процесс происходит снова и снова, пока электроны движутся внутри микроканала. В результате число электронов, входящих в микроканал, приведет к образованию на выходе микроканала большого числа электронов, определяемого числом соударений электрона о стенки микроканала. Коэффициент усиления тока достигает до 103 при напряжении на МКП 600–800 В. Однокамерный ЭОП, использующий МКП, обеспечивает практически такое же усиление яркости, как и трехмодульный ЭОП. Это дает трехкратный выигрыш по габаритам и массе ЭОП. В каждом микроканале МКП усиление входного фототока происходит независимо от других микроканалов. Это обеспечивает на выходе пространственное распределение тока, точно соответствующее пространственному распределению входного фототока. Ценным свойством МКП является эффект насыщения усиления. Если ток вторичных электронов

в микроканале МКП приближается к постоянному току утечки создаваемым приложенным к МКП напряжением, то он «подсаживает» это напряжение. Это ведет к снижению усиления. Так как в каждом микроканале процесс усиления осуществляется независимо от других микроканалов, то насыщение усиления ведет к ограничению усиления в микроканалах с большим входным фототоком, соответствующим участкам яркой засветки фотокатода. Таким образом, эффект насыщения усиления в микроканалах МКП обеспечивает помехозащищенность изображения в ЭОП от ярких точечных засветок [3].

Электрон, выбитый с катода ЭОП, разгоняется в электрическом поле электростатической линзы, затем попадает в канал МКП и, ударяясь о ее наклонную стенку, выбивает вторичные электроны. В приложенном электрическом поле этот процесс многократно повторяется, позволяя получить коэффициент усиления в десятки тысяч раз.

ЭОП — инверторного типа (с оборачиванием перевернутого на фотокатоде изображения в прямое изображение на экране с помощью электронной оптики ЭОП). ВИП — встроенный. На входе и выходе — ВОД. Один такой модуль ЭОП поколения 2 эквивалентен по коэффициенту усиления яркости 3-модульному ЭОП поколения 1, но имеет массу всего 350 г вместо 850 г и длину всего 65 мм вместо 202 мм ЭОП поколения 1. Как уже говорилось, благодаря МКП улучшается сопротивление засветкам, так как МКП имеет нелинейную световую характеристику, при больших световых нагрузках входит в насыщение и ограничивает возрастание тока, возникающего под воздействием излучения помехи. Интегральная чувствительность фотокатода — 250–300 мкА/Лм. Рабочая область спектра — 0,4–0,9 мкм. Характеристики: усиление света — 25000–50000, разрешение в центре поля зрения — 32–38 штр/мм. Ресурс — 1000–3000 часов. ПНВ, созданные на основе ЭОП поколения 2, продаются по ценам 1000–1500 долл.

Поколение 2⁺

Поколение 2⁺ — использование бипланарных ЭОП в металлокерамическом корпусе с МКП (без инвертирования в электронной оптике, с плоскопараллельным переносом электронов в электростатическом поле между фотокатодом и экраном, без оборачивания изображения (на входе и на выходе — стекло, а на экране — перевернутое изображение) или с оборачиванием изображения (на входе — стекло, на выходе — ВОД с оборачиванием изображения на 180° — так называемый твистер, создающий на выходе ЭОП прямое изображение). ВИП — встроенный. Интегральная чувствительность фотокатода — 400–600 мкА/Лм. Рабочая область спектра — 0,4–0,9 мкм. Масса ЭОП со стеклом на входе и выходе — 55 г, со стеклом на входе и ВОД (твистером) на выходе — 100 г.

Отличительной особенностью этих ЭОП, в отличие от ЭОП второго поколения, является отсутствие оборачивающей электронной оптики, дополнительно разгоняющей поток электронов и поэтому усиливающей изображение по яркости. В ЭОП поколения 2⁺ электрон, выбитый с катода ЭОП, попадает сначала непосредственно на МКП, а затем на люминофор экрана ЭОП. Из-за отсутствия указанной выше электронной оптики ЭОП поколения 2⁺ имеет меньший коэффициент усиления яркости, чем ЭОП поколения 2. Но он обладает повышенной более чем в 2 раза чувствительностью фотокатода и более высокой чувствительностью в ИК-диапазоне спектра. Кроме того, отсутствие оборачивающей электронной оптики позволяет получить более четкую картинку. В результате ПНВ на основе ЭОП поколения 2⁺ работают на открытой местности лучше, чем ПНВ второго поколения. Из-за отсутствия оборачивающей электронной оптики ЭОП поколения 2⁺ называется бипланарным (плоским). ПНВ поколения 2⁺ имеют автоматическую регулировку яркости (АРЯ), защиту от засветок точечными источниками света и хорошее качество изображения по всему полю экрана. Коэффициент усиления яркости у таких ЭОП — до 35000, а чувствительность фотокатода достигает величины 600 мкА/лм и смещена в ИК-область спектра, разрешение — 65–85 штр/мм. Ресурс — 5000–10000 часов. Эти ПНВ относятся к классу профес-

сиональной техники и в настоящее время находятся на вооружении армий большинства западных стран, так как работают при очень низких уровнях естественной ночной освещенности (ЕНО), соответствующих звездному небу ($\text{ЕНО} = 3 \times 10^{-3}$ лк). ПНВ на основе ЭОП поколения 2^+ продаются по ценам 2200–5000 долл.

Поколение 2^{++}

Поколение 2^{++} (Super 2^+ , Super Generation или Super Gen) – тот же бипланарный ЭОП с МКП, что и в поколении 2^+ , но с использованием многощелочного фотокатода с повышенной интегральной чувствительностью до 800 мкА/лм. Рабочая область спектра – 0,4–0,9 мкм. Масса ЭОП со стеклом на входе и выходе – 55 г, со стеклом на входе и ВОД (твистером) на выходе – 100 г. Появление этого ЭОП и соответствующих ПНВ вызвано следующими соображениями. В связи с высокой стоимостью ЭОП 3-го поколения (см. выше), сравнимой с ценой отечественного легкового автомобиля, было принято решение разработать ЭОП, полностью аналогичный конструкции ЭОП 3-го поколения (включая оптические и электрические параметры), но с хорошо освоенным и более дешевым многощелочным фотокатодом. Разработка ЭОП нового поколения проводилась с учетом технологических достижений всех ЭОП предшествующих поколений, в результате чего был создан многощелочной фотокатод сверхминиатюрной конструкции с особо высокой чувствительностью в инфракрасной области (S-25R). На базе таких фотокатодов был создан ЭОП поколения Super 2^+ . Новый многощелочной фотокатод оказался более стойким соединением по сравнению с GaAs фотокатодами ЭОП 3-го поколения и практически не деградировал под действием положительных ионов, возникающих в каналах МКП и бомбардирующих фотокатод. Это позволило отказаться от нанесения на вход МКП защитной ионно-барьерной пленки, применяемой в ЭОП 3-го поколения. В результате эффективность работы ЭОП повысилась на 30–50 %, а значение фактора шума было снижено до 1,5, в то время как для ЭОП 3-го поколения эта величина составляет 3,0–3,5. Интегральная чувствительность повысилась до 800 мкА/лм. Кроме того, в конструкции ЭОП поколения Super 2^+ были применены МКП с большим количеством каналов, что повысило разрешающую способность ЭОП при частотно-контрастной характеристике, не уступающей ЭОП 3-го поколения. Наибольшего успеха в разработке ЭОП поколения Super 2^+ достигла компания DEP-Photonis (Нидерланды). Поэтому некоторые достаточно известные, но не очень порядочные производители ПНВ (особенно российские) запросто обманывают своих покупателей, выдавая ЭОП поколения Super 2^+ , производимые этой компанией, за ЭОП 3-го поколения. **Следует отметить, что компания DEP никогда не производила и не производит ЭОП 3-го поколения. Такие названия, как SuperGen, XD-4, XR-5, на самом деле являются торговыми марками модификаций ЭОП поколения Super 2^+ .** Эти ЭОП отличаются низкими шумами, высокой разрешающей способностью – до 85 штр/мм (XR-5) и высокой интегральной чувствительностью фотокатода – до 800 мкА/лм, что приближает их к ЭОП 3-го поколения. Вышеуказанный рост параметров обеспечил приборам с ЭОП поколения Super 2^+ практически те же дальности действия, что и с ЭОП 3-го поколения. Таким образом, ЭОП поколения Super 2^+ из «временно замещающего» превратился в самостоятельную и более дешевую альтернативу ЭОП 3-го поколения. Несмотря на довольно выдающиеся параметры, ПНВ, созданные на основе ЭОП поколения Super 2^+ , продаются по ценам всего на 10–15 % выше, чем приборы поколения 2^+ .

Поколение 3

Поколение 3 – тот же бипланарный ЭОП с МКП, но с использованием фотокатода с отрицательным электронным сродством на основе арсенида галлия (GaAs) с повышенной чувствительностью (1800–2200 мкА/лм) и с ионно-барьерной пленкой, защищающей фотокатод от воздействия положительно заряженных ионов. Но эта же пленка вызывает рассеяние электронов и снижение отношения «сигнал/шум». По сравнению с поколениями 2^+ и 2^{++} фотокатод ЭОП поколения 3 хуже сопротивляется засветкам. Производство ЭОП

оказалось достаточно сложным и состояло более чем из 400 технологических операций. Из-за быстрого окисления поверхности фотокатода на воздухе сборка ЭОП проводилась с помощью манипуляторов в вакууме около 10^{-10} – 10^{-11} мм рт. ст. Все это определило чрезвычайно высокую стоимость этих ЭОП. Разрешение ЭОП составляет 65–85 штр/мм, ресурс – до 10000 часов. Высокая чувствительность ЭОП 3-го поколения позволяет ПНВ на их основе видеть при освещенности 5×10^{-4} лк, что соответствует звездному небу в облаках. ЭОП 3-го поколения являются ключевой военной технологией. Их применение в ПНВ создает для армии и авиации огромное преимущество над потенциальным противником в боевых действиях в ночное время. Распространение такой высокотехнологичной продукции контролируется всеми без исключения государствами. Это препятствует применению подобных ПНВ в гражданской технике. Поэтому если какая-либо отечественная или иностранная фирма, пусть даже за очень большие деньги, предлагает обыкновенному покупателю приобрести ночной прицел или очки, оснащенные ЭОП 3-го поколения, и не требует при этом предоставить сертификат конечного пользователя (обязательный при такой процедуре), то покупателю стоит всерьез задуматься над тем, ЭОП какого поколения на самом деле будет установлен в такой ПНВ и за что он заплатит свои деньги. Поскольку ПНВ на основе ЭОП 3-го поколения боятся засветки боковыми источниками света, то не рекомендуется приобретать ПНВ 3-го поколения, если угодья, где происходит охота, граничат пусть даже с далекой автомобильной трассой либо на горизонте есть огни дачного поселка или города. Стоимость ПНВ на основе ЭОП 3-го поколения составляет до 10000 долл.

Поколение 3⁺

Поколение 3⁺ – тот же ЭОП поколения 3, но с использованием фотокатода на основе соединения индия-галлия арсенида (InGaAs), работающего в области спектра 0,4–1,3 мкм. В этой области спектра выше уровень природных контрастов и, соответственно, выше дальность действия ПНВ. Кроме того, можно визуализировать излучение лазерных целеуказателей-дальномеров, работающих на длине волны 1,06 мкм. Интегральная чувствительность фотокатода – 1400–1600 мкА/лм.

Поколение 4

Поколение 4 – ЭОП поколения 3, но без ионно-барьерной пленки, с импульсным ВИП. Дело в том, что ионно-барьерная пленка, как уже говорилось, ухудшает отношение «сигнал/шум», но без нее возможно повреждение фотокатода положительно заряженными ионами. Но если ВИП работает в импульсном режиме, то за время действия короткого импульса высоковольтного напряжения сравнительно малоподвижные ионы не успевают достигнуть фотокатода, а более подвижные электроны успевают достигнуть экрана, создавая изображение. Поэтому можно устранить ионно-барьерную пленку и повысить тем самым отношение «сигнал/шум». Кроме того, частота работы ВИП автоматически меняется в зависимости от уровня естественной освещенности, расширяя тем самым динамический диапазон работы ПНВ по освещенности. Интегральная чувствительность фотокатода – 1800–2200 мкА/лм.

Поколение 5

Поколение 5 – ЭОП поколения 4, но вместо фотокатода на основе арсенида галлия используется фотокатод на основе соединения InGaAs и барьеров Шоттки, работающий в области спектра 0,8–1,7 мкм (а при термоэлектрическом охлаждении – и до 2,2 мкм). В этой области спектра выше не только уровень природных контрастов, но и уровень ЕНО, а также возрастает пропускание атмосферы, допускающее работу ПНВ при пониженной ее прозрачности (дымка, туман, дождь, снегопад, даже тактический дым). Можно визуализировать излучение лазерных целеуказателей-дальномеров с длиной волны 1,54 мкм. Это поколение находится пока еще в стадии разработки.

Развитие ПНВ широкого применения в нашей стране стало возможным благодаря творческим усилиям коллектива НИИ прикладной физики, впоследствии НПО «Орион», из ко-

торого выделилось СКБ техники ночного видения. Его коллектив создал научно-технические основы разработки ПНВ, обеспечил их практическое внедрение на предприятиях нашей страны, сформировал коллективы КБ на предприятиях и до настоящего времени играет ведущую роль в развитии этой техники.

Краткая история развития послевоенных приборов ночного видения в СССР

Развитие ПНВ в основном началось с создания НИИ-801, что было вызвано необходимостью оснащения Вооруженных Сил техникой, обеспечивающей ведение боевых действий ночью. Одним из двух подразделений организованного института явился отдел спецтехники, затем отдел № 4 НИИ Прикладной физики (НИИПФ), в который был переименован НИИ-801. На базе отдела 4 в 1983 г. было образовано отделение 1100 НПО «Орион», в 1991 г. ставшее Специальным конструкторским бюро техники ночного видения (СКБ ТНВ) [1].

Костяк отдела спецтехники в 1946 г. составили специалисты, начавшие работу в этой области еще перед Великой Отечественной войной и являвшиеся пионерами ночного видения (В.В. Юдкевич, П.Х. Лихтман, В.Г. Нырыков, И.В. Куренков, С.В. Рюпичев, К.С. Ясиновский — в Ленинграде, Е.С. Ратнер, М.А. Шесминцев, В.В. Новопашин — в Москве).

В годы войны ими были созданы несколько типов приборов для пеленгации навигационных ИК огней и сигнализации для военно-морского флота. Применение этих приборов резко снизило потери наших кораблей.

Среди первых сотрудников отдела спецтехники были Г.М. Кузнецов, Э.И. Гольд, Г.Ф. Захаров, В.И. Руфанов, А.В. Короткевич.

Первым начальником отдела был В.И. Милютин. В это время в отдел входили и лаборатории, разрабатывающие ЭОП, что в большой мере способствовало становлению новой отрасли техники.

В последующие годы отдел претерпел несколько реорганизаций: в 1948 г. были упразднены отделы и образованы отдельные лаборатории (светотехническая, оптическая, источников питания, приборостроительная). В 1960 г. на базе лабораторий был создан отдел № 4 (начальник А.И. Горячев). В 1964 г. на короткое время он был слит с отделом ЭОП, в 1965 г. вновь образован как самостоятельное подразделение (начальник Е.С. Ратнер, с 1967 г. — Ю.Г. Эдельштейн). В 1983 г. после перевода в НПО «Орион» отдел вошел в состав отделения 1100, которое в 1991 г. было реорганизовано в СКБ ТНВ (начальник Н.Ф. Кошавцев) [1].

На протяжении всей своей истории подразделения ПНВ (в составе структурных подразделений НИИПФ, самостоятельного отдела, отделения и СКБ техники ночного видения) располагали специалистами высшей квалификации в области светотехники, оптики, специальной электронной техники. Коллектив подразделений обладал огромным научно-техническим потенциалом в области техники ночного видения.

Работы в области техники ночного видения направлены на поиск новых принципов визуализации изображения в различных областях оптического диапазона спектра и новых технических решений, обеспечивающих совершенствование ПНВ, проведение ОКР пионерного плана, развитие метрологических разработок ЭОП и ПНВ, осуществление головной роли в отрасли и научное руководство работой ЦКБ и заводов.

Начальный период развития ночного видения характеризовался использованием ЭОП с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом и применением ПНВ активного типа, работающих с подсветкой. В этот период начали формироваться физические принципы видения объектов в ПНВ с подсветкой в ближнем ИК диапазоне спектра (Е.С. Ратнер), впервые сформулированы технические решения, обеспечивающие создание ПНВ различного назначения, установлены основные зависимости между видимостью в ПНВ и их характеристиками, определена система параметров ЭОП и ПНВ [1].

Работы, выполненные в НИИ-801 в 40-е и начале 50-х годов, завершились созданием ПНВ активного типа, работающих с подсветкой или по ИК источникам. К таким ПНВ относятся прицелы для стрелкового оружия и противотанковых пушек, самолетный прицел,

работающий по факелу двигателя, комплекс аппаратуры для скрытой навигации судов ВМФ (В.В. Новопашин, П.Х. Лихтман, Е.Н. Васильев).

Новый этап в развитии техники ночного видения начался, когда ведущие специалисты института во главе с Е.С. Ратнером обосновали возможность построения пассивных ПНВ, обеспечивающих видение ночью без искусственной подсветки, за счет естественного света ночного неба, при усилении в ЭОП, гарантирующем «видимость» каждого фотоэлектрона.

Реализация принципа видения в условиях ЕНО потребовала проведения широкого круга исследований, связанных с изучением оптико-физических характеристик внешних условий и их влияния на видимость, с разработкой светосильных оптических систем, с поиском конструктивных приемов построения ПНВ, включающих ЭОП с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом, надежную герметизацию высоковольтных (до 45 000 В) вакуумных блоков и ВИП.

Эти работы, с учетом создания каскадных ЭОП, реализующих необходимое усиление, позволили создать боевые приборы ночного видения пассивного типа. Вначале это были громоздкие наблюдательные станции с входными объективами полуметрового диаметра, в которых для вымораживания ЭОП применялись фреоновые холодильники, а высоковольтный источник питания (ВИП) занимал объем свыше 50 литров (Б.А. Шустов, Е.Н. Васильев, Г.Ф. Захаров) [1].

Затем были отработаны полупроводниковые холодильные устройства на термоэлектрических охлаждающих устройствах на основе эффекта Пельтье, разработана новая элементная база ВИП и уменьшены их габариты, что повлекло за собой существенное изменение облика аппаратуры. В конце 50-х годов появились бесподсветные артиллерийские прицелы (Е.Н. Васильев), серия ночных визиров для кораблей ВМФ (П.Х. Лихтман), начались работы по бесподсветным танковым прицелам (В.В. Новопашин) [1].

Решающий сдвиг в разработке ПНВ связан с созданием и улучшением многощелочного фотокатода, который имел большую чувствительность и на несколько порядков более низкий темновой ток, не требовал охлаждения. В начале 60-х годов удалось сдвинуть границу чувствительности многощелочного фотокатода до 0,8 мкм, поднять ее значение в красной области (правее 0,7 мкм) до 40 мкА/лм. Сравнительные полевые испытания показали, что приборы, в которых были установлены ЭОП с таким неохлаждаемым и традиционным вымораженным фотокатодом, дают примерно одинаковые результаты по дальности видения. Это позволило перейти к повсеместному применению ЭОП с многощелочным фотокатодом.

Дальнейшие работы по оптике, миниатюризации ВИП, отработка конструктивных решений позволили даже на базе сравнительно громоздких и хрупких стеклянных устройств, какими являлись каскадные ЭОП (длина колбы свыше 200 мм), построить прицелы почти для всех типов оружия сухопутных войск, начиная от прицелов для автоматов. Достигнутый уровень этих ПНВ характеризовался тем, что они обеспечивали приемлемую для тактического использования дальность видимости при освещенности 5×10^{-3} лк (ясная звездная ночь).

К концу 60-х годов было создано новое поколение пассивных ПНВ. В эти годы были приняты на вооружение: прицел для автомата НСП-3, прицелы для гранатометов ПГН-1 и ПГН-9, прицел для пушки АПН-4 («Калина»), прицел для БМП 1ПН22 («Щит»), прицел для истребителя танков 1ПН12, прибор командира танка ТKN-3 [1].

Высокая результативность работ коллектива разработчиков ПНВ и ЭОП, а также активная подготовка кадров привели к тому, что в 60-е годы сформировалась новая отрасль, ответственная за создание техники ночного видения. Выпуском ЭОП занимались три электровакуумных завода, разработку и производство приборов вели 5 ЦКБ и оптических заводов. Особенно тесные творческие контакты сложились с ГОИ им. С.И. Вавилова. Академик А.А. Лебедев с момента организации НИИ-801 был его научным руководителем. Ученые

ГОИ принимали непосредственное участие в разработке теории ночного видения (А.С. Луизов, Е.П. Семенов), выполняли оригинальные расчеты светосильных объективов и окуляров (Д.Ю. Гальперин, Д.С. Волосов, В.И. Веснин, А.П. Грамматин, Л.И. Коршунова и др.), непрерывно повышая их качество и совершенствуя методы расчета [1].

В создании различных комплектующих элементов (ИК фильтров, осветителей, первичных источников питания, специфических электрорадиоэлементов, полупроводниковых охладителей и др.) участвовали еще около 20 предприятий.

Испытательные базы для отработки ПНВ были созданы в нескольких промышленных и военных организациях. НИИ-801 установил прочные связи со многими научными учреждениями Академии наук, Министерства обороны, отраслевых министерств. Всего более 100 предприятий в той или иной мере участвовали в работах по технике ночного видения.

В 1969 г. на институт были возложены функции головной научной организации в отрасли по ПНВ. Осуществление головной роли предусматривало [1]:

- ответственность за технический уровень средств ночного видения;
- формирование технической политики, научное прогнозирование и перспективное планирование развития ПНВ, научную координацию исследований и разработок;
- развитие физических основ построения ПНВ, проведение НИР, обеспечивающих постановку ОКР;
- научное руководство разработками, выполняемыми ЦКБ, которое обеспечивало формирование необходимых данных для постановки ОКР, определение требований к комплектующим изделиям, в первую очередь к ЭОП, научно-методическое обеспечение разработок и испытаний.

В это время испытания аппаратуры на разных стадиях отработки, первые результаты применения ПНВ в частях и особенно специальные ночные войсковые учения 1968 г., на которых были собраны образцы всех серийных и опытных ПНВ, выявили ряд принципиальных недостатков приборов, свойственных достигнутому уровню их развития. Эти недостатки заключались в больших габаритах и малом поле зрения, неприемлемых для ряда применений, резком ухудшении видимости при понижении освещенности в особо темное время и при попадании в поле зрения различного рода засветок, возникающих на поле боя.

В 1970–1971 гг. были определены направления дальнейшего совершенствования ПНВ. Прежде всего, была пересмотрена концепция создания только пассивных ПНВ. Было признано необходимым, особенно для танков, строить приборы такими, чтобы они в особо темное время могли работать и с ИК-подсветкой, обеспечивая видимость во всех условиях ночи, то есть был взят курс на создание приборов пассивно-активного типа.

В сравнительно короткое время были найдены технические решения. Появилось несколько вариантов решения этой проблемы, из которых нашли практическое воплощение два. Появились варианты многощелочного фотокатода (разработчики А.С. Шефов, М.И. Шульгина) с повышенной ИК-чувствительностью, предполагая использование одного ЭОП. Другой вариант предусматривал попеременное использование двух ЭОП — для пассивного режима с многощелочным фотокатодом, для активного — с кислородно-серебряно-цезиевым (разработчик — П.В. Тимофеев, ВЭИ). Одновременно были возобновлены работы по ИК прожекторам, прекращенные в конце 50-х годов, была показана возможность модернизации штатных осветителей за счет установки интенсивных газоразрядных ламп, что было предложено Н.Ф. Кошавцевым. Комплекс работ, выполненных в 1971 г., позволил обосновать постановку серии ОКР по прицелам и командирским приборам пассивно-активного типа для танков и БМП (Ю.Г. Эдельштейн, А.А. Толмачев, М.И. Лопаткина, Л.В. Трищенко). Следует отметить, что благодаря достигнутому в конце 60-х годов почти 2–3 кратному повышению чувствительности многощелочного фотокатода удалось показать возможность использования вместо трехкамерных ЭОП двухкамерных и даже однокамерных. Это привело к дальнейшему снижению габаритных характеристик ПНВ, в ряде

случаев к увеличению поля зрения, создало предпосылки к появлению нового поколения ПНВ [1].

В 70-е годы по предложениям института были разработаны и внедрены в производство прицел для стрелкового оружия НСПУ, прицел для пушки АПН-6 («Брусника»), бинокль БН-1 («Блик»), приборы наблюдения ННП-21 («Тополь»), ННП-22 («Дуэт»), приборы разведывательных машин «Вал», «Вереск» и др. (Е.Н. Васильев, Ю.А. Брагин и др.) [1].

Комплекс исследований по световым помехам (Н.Ф. Кошавцев, Т.К. Кирчевская, В.В. Буяльский) и защитным схемам ЭОП (Е.Н. Васильев, Ю.А. Брагин, А.М. Рубец) позволил существенно повысить помехозащищенность ПНВ и обеспечить полную защиту от наиболее типичных помех.

С начала 70-х годов армия стала оснащаться новым поколением ПНВ; технической основой его явились двухкамерные и однокамерные ЭОП, а преимущества заключались в увеличении поля зрения, повышении помехозащищенности и пассивно-активном принципе работы (для танковых приборов).

В этот период интенсивные прикладные НИР, связанные с разработкой электрооптических схем новых приборов, расчетным и экспериментальным обоснованием ожидаемых характеристик, выбором элементной базы, сопровождались углублением теории ночного видения, созданием инженерных методов расчета, уточнением внешних условий (Н.Ф. Кошавцев). В частности, были проведены измерения интенсивности основных источников световых воздействий (вспышек, выстрелов, разрывов, трассеров и т.п.), организованы исследования ЕНО в различных точках Советского Союза и даже в ряде районов Мирового океана. Контрольно-испытательная аппаратура пополнилась целым рядом оригинальных установок, в т.ч. универсальным имитатором засветок для стендовой проверки стойкости ПНВ к помехам (Н.Ф. Кошавцев, В.В. Буяльский, В.А. Павлов), микрополигоном, представлявшим собой масштабную модель испытательного поля с имитацией условий естественного освещения (Э.И. Гольд, И.Б. Кривошапкин), первыми в СССР установками для измерения частотно-контрастных характеристик ЭОП (В.И. Руфанов) и отношения сигнал/шум (Ю.З. Мацковская), универсальным коллиматором для проверки ПНВ на заводах и в войсках и др. [1].

В этот промежуток времени были приняты на вооружение: прицел для индивидуального стрелкового оружия 1ПН51, прицел для станкового гранатомета и пулемета 1ПН52, прицел для пушки 1ПН53, бинокль 1ПН50, прибор наблюдения переносной 1ПН54; пассивно-активный комплекс приборов для танка: прицел — «Буран-ПА», приборы командира — «Агат-С», ТКН-ЗМ, прибор вождения ТВН-5 [1].

В 80-е годы в отделе сложился сильный коллектив специалистов, в том числе конструкторов под руководством А.Ф. Константинова. Благодаря этому появилась возможность осуществления полного цикла НИОКР, включая разработку конструкторской документации.

В 1979—1983 гг. была проведена ОКР по прибору вождения ТВН-5 с бинокулярной лупой (В.И. Креопалов, Н.Г. Буланкин). После образования отделения 1100, впоследствии СКБ ТНВ, и прихода сильных конструкторов Ю.А. Добровольского и Н.М. Шустова были завершены ОКР по ночным очкам «Квакер» (В.И. Креопалов, Ю.А. Брагин), лазерному прицельному комплексу «Канадит» (Ю.Г. Эдельштейн, Л.П. Макеев, Г.В. Иванов). Разработаны ночные очки для пилотирования вертолетов (Ю.Г. Эдельштейн, С.А. Украинский, Н.М. Шустов, Ю.А. Добровольский). Завершены ОКР принятием на вооружение в 1996 г. ОНВ поколения 2⁺ «Наглазник» (Н.Ф. Кошавцев, Ю.А. Добровольский, Ю.А. Брагин, Н.М. Шустов) [1].

Развитие техники ночного видения по конкретным направлениям, сформировавшимся в отделении 1100, а впоследствии в СКБ техники ночного видения, рассмотрено отдельно.

Принцип действия

Принцип действия ПНВ основан на преобразовании инфракрасного (ИК) излучения в видимое и на усилении низких уровней яркости, создаваемых на наблюдаемом объекте свечением ночного неба, звезд и луны в видимой и ближней ИК-области спектра.

Объектив создает перевернутое изображение объекта на полупрозрачном фотокатод ЭОП. Перед фотокатодом ЭОП может быть установлен красный фильтр, который служит для повышения контраста в изображении объекта. Световой поток, попадая на фотокатод, возбуждает фотоэлектроны. Распределение их плотности соответствует распределению освещенности на фотокатод. Фотоэлектроны такого «электронного изображения» ускоряются электрическим полем, формируемым с помощью электронной оптики ЭОП. Ускорение электронов происходит за счет энергии высоковольтного источника питания (ВИП), который подает на экран ЭОП высоковольтное напряжение. Ускоренные фотоэлектроны фокусируются электронной оптикой на катодолуминесцирующий экран. Последний под воздействием фотоэлектронов излучает свет в видимой области спектра. Экран обычно изготавливается из люминофора желто-зеленого цвета свечения. Электронная оптика оборачивает изображение, которое наблюдается глазом через окуляр.

ВИП подключен к первичному источнику питания — бортсети или аккумуляторной батарее. В состав ПНВ может входить ИК-осветитель. Он состоит из ИК-излучателя (лампа с ИК-фильтром, ИК-светодиод или ИК-полупроводниковый лазерный излучатель), оптики формирования (коллимирования) его излучения и ИК-фильтра (устанавливаемого только для лампы и подавляющего ее видимое и ультрафиолетовое излучение). Излучатель подключен к блоку его питания (преобразователь напряжения или блок накачки), который питается от автономного источника или от общего источника.

Осветитель служит для работы прибора в почти полной темноте. Его использование не обязательно: он применяется только в активных либо в пассивно-активных приборах и эффективен лишь при условии нормальной прозрачности атмосферы.

Основные поколения ПНВ

Выше речь шла о поколениях главным образом ЭОП. Теперь рассмотрим поколения уже ПНВ на их основе.

Исторически ПНВ на основе ЭОП появились первыми. Их создание было связано прежде всего с успехами в области разработки ЭОП в 30–40-х годах XX века. Они использовались для военных целей. Первые образцы таких ПНВ с успехом были использованы во время Второй мировой войны. Эти были активные ПНВ **нулевого поколения**. Их отличительные особенности:

- линзовые объективы;
- ЭОП с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом (S-1), чувствительным в области спектра от 0,4 до 1,2 мкм; однокамерные, стеклянная конструкция;
- наличие ИК-прожектора, выполненного на базе обычной лампы накаливания, но с ИК-фильтром, пропускающим излучение только в области спектра 0,8–1,2 мкм и отсекающим видимую его область;
- выносной источник питания, конструктивно отделенный от ЭОП.

В дальнейшем уже после войны, в 50-х годах были разработаны каскадные ЭОП, в связи с чем можно было использовать ЭОП двух- и трехкамерного типа. Это привело к резкому увеличению их коэффициента усиления по яркости (от единиц для однокамерного до нескольких тысяч для трехкамерного), хотя и сопровождалось уменьшением разрешающей способности (соответственно с 60–100 до 30 штр/мм).

ПНВ нулевого поколения не могли работать в пассивном режиме (без подсвета) из-за высокого уровня темновых шумов фотокатода S-1, обусловленных значительным уровнем его термоэмиссии; можно было вести наблюдение или при использовании подсвета, или при исключительно высоком уровне естественной освещенности, либо требовалось термоэлектрическое охлаждение фотокатода. Дальность действия таких ПНВ была невысока. С одной стороны, это определялось малым коэффициентом усиления яркости ЭОП с фотокатодом S-1 и низкой чувствительностью последнего (которая в известной степени компен-

сировалась работой в ближней ИК-области спектра, где выше уровни природных контрастов по сравнению с видимой областью). С другой стороны, излучение подсвета рассеивалось в атмосфере, причем главным образом в обратном направлении. Излучение обратного рассеяния создавало фоновую помеху, которая накладывалась на изображение наблюдаемого объекта и снижала контраст в его изображении. Это обстоятельство ограничивало дальность действия ПНВ даже при нормальной прозрачности атмосферы, а при пониженной ее прозрачности (дымка, туман, дождь, снегопад и пр.) ПНВ просто становился неработоспособным. Излучение ИК-подсвета демаскировало прибор при условии его применения для полиции или для военных целей. Демаскировка может быть обеспечена как с помощью любого индикатора их излучения или аналогичного ПНВ, так и непосредственно невооруженным глазом, который при низких уровнях освещенности мог воспринимать ИК-излучение ближнего диапазона вплоть до 1,2 мкм. Из-за наличия в составе ПНВ ИК-прожекторов ПНВ обладают значительными массой, габаритами и энергопотреблением. ЭОП нулевого поколения, как и все малогабаритные преобразователи изображения, имеют электростатическую фокусировку последнего. Но при этом из-за наличия плоского стеклянного входа и выхода разрешающая способность ЭОП резко падает от центра к краям поля зрения до уровня не более 2–3 штр/мм. Из-за этого эффективная величина поля зрения ПНВ не превышает 1/4 его номинального значения. ЭОП стеклянной конструкции не переносят засветок, излучение которых рассеивается по всему стеклянному корпусу ЭОП. ПНВ нулевого поколения неустойчивы к световым помехам. Единственный способ борьбы с ними — выключение прибора. ЭОП нулевого поколения имеют выносной источник питания, что также увеличивает массу и габариты ПНВ. Используемые в ПНВ линзовые объективы также обладали значительной массой и габаритами, а также сравнительно низким качеством изображения.

В 60-х годах были разработаны новые многощелочные (МЩ) фотокатоды типа S-20. Их высокая чувствительность и низкая термоэлектронная эмиссия позволили отказаться от ИК-прожектора (или свести к минимуму время его применения — только для особо темных ночей). Коэффициент усиления таких ЭОП составлял от 50–100 тысяч (в однокамерных) до 250–500 тысяч (в трехкамерных). В результате появилась возможность создания чисто пассивных (без подсвета) или пассивно-активных (с подсветом только при значительном падении уровня естественной ночной освещенности) ПНВ. Все остальные указанные недостатки приборов нулевого поколения оставались прежними.

Существенного прогресса удалось добиться благодаря созданию в 70-х годах новых ЭОП в металлокерамическом корпусе модульной конструкции с ВОД на входе и выходе вместо прежних стеклянных окон и с новыми фотокатодами S-25. Так появились ПНВ **первого поколения**.

ПНВ первого поколения на основе указанных выше модульных ЭОП обладают, соответственно, более высоким качеством изображения.

Их появление совпало с достигнутым прогрессом в области разработки многощелочных фотокатодов с повышенной инфракрасной чувствительностью S-20 и S-25. Это позволило повысить дальность действия ПНВ по сравнению с приборами нулевого поколения.

Однако ПНВ первого поколения имели целый ряд недостатков. Их продольные габариты (и соответственно масса) оставались сравнительно велики из-за значительного продольного габарита ЭОП. В используемых трехмодульных ЭОП наблюдались снижение разрешающей способности от модуля к модулю, возрастание искажения изображения на краях поля зрения за счет дисторсии. Сравнительно велика была и инерционность изображения, обусловленная наличием трех люминесцирующих экранов. Оставалась высокой чувствительность к засветкам от ярких источников света, что приводило к свертыванию изображения или появлению ореолов, приводящих к потере видимости. Применение электрических

резистивных или фотоэлектрических средств защиты от световых помех не обеспечило кардинального решения проблемы видимости в таких условиях.

В 70-х годах появились микроканальные ЭОП-поколения, что позволило разработать и ПНВ второго поколения. В отличие от ЭОП первого поколения ЭОП **второго поколения** содержит только один модуль, но его коэффициент усиления яркости практически не уступает величине, характерной для трехмодульного ЭОП первого поколения. В ЭОП второго поколения дополнительно устанавливается микроканальная пластина (МКП), содержащая большое количество микроканалов. Микроканалы имеют наклон во избежание сквозного пролета электрона без соударений о стенки микроканала. Однородное электрическое поле, существующее между МКП и экраном, обеспечивает формирование изображения без фокусировки. Это уменьшает продольные габариты ЭОП. Его разрешающая способность превышает разрешение трехмодульного ЭОП первого поколения, но функция передачи модуляции выше за счет уменьшения количества модулей и ВОД, а дисторсия по этой же причине стала примерно в 3 раза меньше.

Недостатком ЭОП с МКП является снижение отношения «сигнал/шум» по сравнению с ЭОП первого поколения за счет шумов МКП. Однако это может быть компенсировано за счет оптической системы. В ЭОП с МКП предусмотрена автоматическая регулировка яркости, позволяющая работать в широком диапазоне изменения освещенности. Эти ЭОП менее чувствительны к световым помехам, чем ЭОП первого поколения, так как засветка в них локализуется за счет насыщения соответствующих микроканалов только в пределах размера изображения источника световой помехи, не создавая ореола.

ЭОП второго поколения может быть выполнен в виде двух вариантов: с внутренним усилением (инверторного типа); бипланарного типа.

Первый вариант, по существу, представляет собой модуль ЭОП первого поколения, но содержащий дополнительно МКП, установленную непосредственно перед экраном ЭОП. Электронная оптика оборачивает (инвертирует) изображение, обеспечивая ускорение потока фотоэлектронов и, соответственно, дополнительное усиление по яркости. Возможно также увеличение или уменьшение масштаба изображения с помощью электронной оптики. Электронное изображение проектируется на МКП, усиливается в ней и с выхода МКП переносится на экран. Достоинством такого ЭОП является значительное усиление и инвертирование изображения внутри ЭОП. Недостатки — сравнительно большие габариты и масса, а также дисторсия, хотя и в 3 раза меньшая, чем у ЭОП первого поколения.

Второй вариант ЭОП с МКП использует прямой перенос изображения в плоскопараллельном электростатическом поле. Такие бипланарные ЭОП обеспечивают воспроизведение изображений практически без искажений и без изменения масштаба изображения.

При прямом переносе изображения не происходит его оборачивания (инвертирования). В связи с этим перевернутое изображение на фотокатод ЭОП остается перевернутым и на его экране. Это требует применения окулярной системы с оборачиванием изображения. В ряде случаев это неудобно. Поэтому бипланарный экран ЭОП наносят на волоконно-оптический оборачивающий элемент (твистер), который обеспечивает разворот изображения на 180° за счет поворота на 180° выходного торца элемента по отношению к входному. Достоинства варианта без оборачивания изображения — его простота и низкая стоимость за счет наличия стеклянного входа и выхода. Однако наличие ВОД на выходе ЭОП обеспечивает возможность его стыковки либо с другим ЭОП, либо с ТВ-камерой. Наличие сферической поверхности на выходе ВОД упрощает окуляр, так как благодаря такому решению ВОД превращается в часть окулярной оптики. Недостатком бипланарных ЭОП является несколько меньшее усиление яркости, чем в ЭОП инверторного типа, так как ускоряющее напряжение в них меньше из-за небольшого расстояния между фотокатодом и МКП. Достоинствами таких ЭОП являются минимальные масса и габариты. В связи с этим они и нашли наибольшее распространение в технике ПНВ.

В ПНВ **третьего поколения** используются, соответственно, ЭОП третьего поколения, которые отличаются от ЭОП второго поколения бипланарного типа только использованием фотокатода с отрицательным электронным средством на основе арсенида галлия вместо многощелочного фотокатода. Это обеспечивает в 5–7 раз большую чувствительность, чем у ЭОП второго поколения. Недостатком ЭОП является большая стоимость.

Поколение 3⁺ ПНВ использует ЭОП поколения 3⁺. В этих ЭОП применяется фотокатод на основе соединения индия-галлия арсенида (InGaAs), работающий в области спектра 0,4–1,3 мкм. В этой области спектра выше уровень природных контрастов и, соответственно, выше дальность действия ПНВ. Кроме того, можно визуализировать излучение лазерных целеуказателей-дальномеров, работающих на длине волны 1,06 мкм.

Промежуточное положение занимают бипланарные ЭОП поколения 2⁺, выполненные на базе нового многощелочного фотокатода, чувствительность которого только в 2 раза ниже, чем у фотокатода на основе арсенида галлия. Создание таких ЭОП – попытка найти компромисс между необходимостью повышения чувствительности и снижения стоимости ЭОП.

В настоящее время развивается четвертое поколение ПНВ, которое не имеет четкой ориентации на какой-то отдельный тип ЭОП. К этому поколению могут быть отнесены ПНВ на основе ЭОП третьего поколения, но без наличия в ЭОП ионно-барьерной пленки, а также ПНВ, выполненные на основе гибридно-модульных преобразователей изображения (ЭОП + матрица ПЗС) или на базе твердотельных преобразователей изображения, работающих в области спектра 0,7–1,7 мкм. В области 1,5–2,0 мкм, как уже говорилось, обеспечиваются меньшее поглощение излучения при его прохождении в туманах и дымах, а также более высокий уровень природных контрастов. Однако чувствительность таких преобразователей значительно ниже, чем у ЭОП. В связи с этим их применение ограничено сугубо узкими задачами, либо они должны входить в состав многоканального комплекса.

ПНВ пятого поколения используют ЭОП пятого поколения с фотокатодом на основе соединения InGaAs и барьеров Шоттки, работающий в области спектра 0,8–1,7 мкм (а при термоэлектрическом охлаждении – и до 2,2 мкм). В этой области спектра, как известно, выше уровень природных контрастов и уровень ЕНО, а также возрастает пропускание атмосферы, допускающее работу ПНВ при пониженной ее прозрачности. Можно визуализировать излучение лазерных целеуказателей-дальномеров с длиной волны 1,54 мкм.

Одновременно с развитием ЭОП совершенствовались их источники питания, которые в ОЭП с первого по третье поколение имеют микроминиатюрное исполнение, включают в свой состав систему автоматической регулировки яркости, а конструктивно встроены в корпус ЭОП, к которому подводится только напряжение первичного источника питания (1,5 В; 2,2–3 В; 9 В) в зависимости от типа ЭОП.

В пассивно-активных приборах вместо ИК-прожекторов стали использоваться малогабаритные осветители на базе ИК-светодиодов и полупроводниковых лазерных излучателей.

Если в ПНВ нулевого поколения использовались только линзовые объективы и окуляры, то в приборах последующих поколений уже широко используются зеркально-линзовые объективы. В окулярной системе находит применение «голографическая» оптика, допускающая не только снижение массы, но и одновременного видения изображения как с экрана ЭОП, так и непосредственно объектов наблюдения, минуя ЭОП.

На рис. 1–8 представлен внешний вид различных типов современных ПНВ, а на рис. 9 – типичное изображение в ПНВ. На основе ПНВ возможно построение лазерного ночного прицельного комплекса (рис. 3а, б, рис. 9в) [1]. Он содержит ночной наголовный монокуляр или очки ночного видения, которые крепятся на голове на специальном оголовье или на защитном шлеме-каска. Комплекс содержит также лазерный целеуказатель, который крепится на оружии и выверяется так, чтобы при стрельбе пули попадали бы в пятно подсвета, наблюдаемого в ПНВ и не видимого невооруженным глазом. Достаточно придать оружию



Рис. 1а. Ночной псевдобиноклярный бинокль «Альфа-3122»



Рис. 1б. Биноклярный ночной бинокль



Рис. 2а. Ночной наголовный монокуляр МДН-1



Рис. 2б. Удерживаемый в руках ночной монокуляр и изображение в нем



Рис. 3а. Ночной универсальный прицельный комплекс «Альфа-1962»



Рис. 3б. Лазерный целеуказатель для комплекса «Альфа-1962»



Рис. 4а. Псевдобинокулярные очки ночного видения



Рис. 4б. Бинокулярные очки ночного видения



Рис. 4в. Очки ночного видения для пилота



Рис. 5. Ночной прицел ПН2М на базе ЭОП



Рис. 6. Ночной танковый прицел



Рис. 7. Дневно-ночной бинокль ОАО ПО КМЗ



Рис. 8. Переносной ночной прибор наблюдения ПДНК ОАО НПЗ



Рис. 9а. Изображение солдата армии США и техники в ПНВ



Рис. 9б. Изображение солдат армии США на местности в ПНВ



Рис. 9в. Изображение солдата армии США с ночным лазерным прицельным комплексом в ПНВ

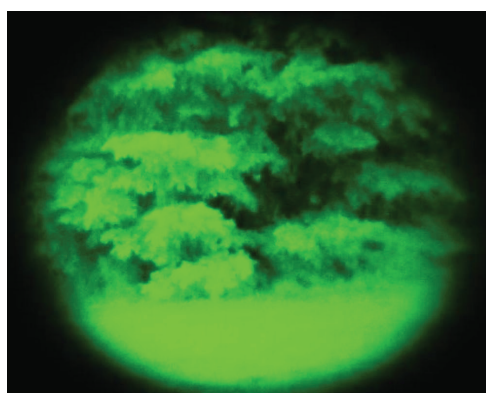


Рис. 9г. Изображение леса в ПНВ



Рис. 10а. Изображение местности в ПНВ



Рис. 10б. Изображение львицы в ПНВ

положение, при котором пятно подсвета совпадает с целью, — и можно открывать огонь. Это позволяет вести стрельбу из любого положения оружия и с ходу.

Перспективы развития ПНВ

Дальнейшее развитие техники ночного видения было связано с созданием новых поколений ЭОП (модульные ЭОП с волоконно-оптическими пластинами, ЭОП с микроканальным усилением, бипланарные ЭОП и др.), созданием активно-импульсных ПНВ, устройств на основе гибридно-модульных преобразователей изображения (ЭОП, стыкованный с матрицей ПЗС).

Продвижение по указанным выше направлениям связано с решением целого ряда научно-технических проблем, а именно [1, 2]:

- повышение характеристик ЭОП, в первую очередь увеличение чувствительности фотокатода, его диаметра с 18 до 25, 40 мм и разрешающей способности;
- создание ЭОП, чувствительных в ИК-области спектра до 1,5–1,7 мкм, для работы при ЕНО и в области 3–5 мкм — для визуализации теплового изображения;
- разработка и реализация методов оптимальной обработки пороговых оптических изображений в присутствии световых помех;
- развитие методов расчета нетрадиционных оптических систем (киноформных, внеосевых, голографических) для применения в портативных и наголовных ПНВ;
- реализация новейших оптических технологий полимерной, киноформной, градиентной оптики, специальных просветляющих, защитных, небликующих и дихроичных покрытий;
- внедрение полимерных и композиционных конструктивных материалов, прогрессивных методов формообразования;
- микроминиатюризация электронных схем, включая высоковольтные источники питания;
- внедрение микропроцессорной техники и современного программного обеспечения;
- создание миниатюрных встраиваемых в ПНВ модулей осветителей на основе ИК полупроводниковых лазеров и светодиодов;
- разработка систем автоматической фокусировки и регулировки рабочего режима приборов.

На основе достижений НПО «Орион» в области разработки ПНВ стало возможным освоение производства ПНВ промышленностью России. В настоящее время ПНВ серийно производят ОАО ЛЗОС, ОАО ЗОМЗ, ОАО КОМЗ, ОАО НПЗ, ОАО ЦКБ «Точприбор», ОАО «Геофизика-НВ», ОАО СОТ, ОАО «Дедал», Филиал ОАО «Катод» (г. Москва), ОАО ВОМЗ, ОАО КМЗ, ОАО «Инфратех» и др. [1].

За рубежом также промышленностью производятся ПНВ всех поколений (за исключением нулевого поколения). Ведущее положение при этом занимает фирма Litton (США). Разработка ПНВ за рубежом ведется в том же направлении, что и в России с незначительным опережением отечественных разработок. Преимуществом зарубежных ПНВ является лучшая чистота поля зрения (отсутствие различных дефектов — точек, пятен и др.), а также лучшее качество изображения. Недостатками зарубежных ПНВ по сравнению с ПНВ России являются их высокая стоимость и сравнительно низкие эксплуатационные характеристики [1].

ПНВ на протяжении уже нескольких десятилетий занимают важное место в современной технике. ПНВ широко используются в военной технике для обеспечения боевых действий ночью (разведка, прицеливание, вождение боевых машин всех типов). За последние годы ПНВ активно применяются и в гражданской технике для разведки и добычи полезных ископаемых, спасательных работ, астрономических исследований, производственного и экологического контроля, ночной навигации и вождения автотранспортных средств в специаль-

ных климатических и погодных условиях, ночной видеосъемки, работы спецслужб, правоохранительных органов и таможенных служб, в медицине, для ночной охоты и рыбной ловли, в системах охраны, пожаротушения и др. [1].

Интерес к ПНВ год от года возрастает. Это создает стимул для дальнейшего развития ПНВ и непрерывного их совершенствования.

Список литературы

1. Волков В.Г., Гиндин П.Д. Достижения в технике видения: в 2-х кн. Кн. 1. М.: Техносфера, 2019. 580 с.
2. Волков В.Г., Гиндин П.Д. Элементы приборов визуализации изображения: в 2-х кн. Кн. 1. М.: Техносфера, 2024. 872 с.
3. Бегучев В.П., Бурлаков И.Д. Приборы ночного видения. М.: АО «НПО «Орион», 2022, 160 с.

References

1. Volkov V.G., Gindin P.D. (2019) *Dostizheniya v tekhnike videniya: v 2-kh kn. Kn. 1.* [Achievements in Vision. Technology: in 2 books. Book 1] *Tekhnosfera* [Technosphere]. Moscow. 580 p.
2. Volkov V.G., Gindin P.D. (2024) *Elementy priborov vizualizatsii izobrazheniya: v 2-kh kn. Kn.* [Elements of Image Visualization Devices: in 2 books. Book 1] *Tekhnosfera* [Technosphere]. Moscow. 872 p.
3. Beguchev V.P., Burlakov I.D. (2022) *Pribory nochnogo videniya* [Night Vision Devices] *АО «НПО «Орион»* [JSC NPO «Orion»]. Moscow. 160 p.