

УДК 681.7.08

PACS: 85.60.Gz

DOI: 10.51368/2307-4469-2023-11-5-416-420

EDN: SIDBRA



## Фотоприемники и фотоприемные устройства второго поколения: методы измерения

*А. В. Полесский, А. А. Лопухин, Н. А. Соломонова, К. А. Хамидуллин,  
А. Д. Деомидов, Н. А. Семенченко*

*Приведены способы решения задачи обеспечения прослеживаемости и повторяемости измерений параметров фотоприемных устройств второго поколения. Представлена усовершенствованная структурная схема измерительных методик, разделение на группы методик измерения ФПУ второго поколения и контроля вспомогательного оборудования.*

*Ключевые слова:* фотоприемное устройство, фотоприемник, методы измерения, метрологическое обеспечение, погрешность, контроль оборудования.

### Введение

Для создания современных и перспективных отечественных оптико-электронных систем и комплексов требуется разработка и организация серийного производства фотоприемных устройств (ФПУ) второго поколения. Фоточувствительные элементы последних представляют собой двумерные матричные структуры форматов  $N \times N$  («смотрящие» матрицы для несканирующих систем) или  $M \times N$  (для систем с оптико-механическим

сканированием изображения). ФПУ второго поколения в настоящее время применяются во всех современных системах наземного, воздушного, морского и космического базирования.

Разработка и серийный выпуск отечественных ФПУ второго поколения невозможны без решения вопросов метрологического обеспечения, включающих в себя создание системы параметров и характеристик ФПУ второго поколения, разработку научно-технических основ методов измерения и их реализацию в комплекс оптико-электронной измерительной аппаратуры.

Долгое время в Российской Федерации при контроле и испытаниях ФПУ второго поколения применялась контрольно-измерительная аппаратура, построенная на основе методов, описанных в [1], которые ориентированы на одно- и малоэлементные фотоприемники первого поколения. Это не позволяло проводить комплексную оценку качества приборов, обеспечивать прослеживаемость их параметров к стандартизированным средствам измерений и эталонам и, в конечном итоге, отставание этого важнейшего научно-технического направления от зарубежного уровня.

За рубежом контрольно-измерительная аппаратура для ФПУ второго поколения раз-

**Полесский Алексей Викторович**<sup>1,2</sup>, главный конструктор по НИОКР, к.т.н.

E-mail: av22236@bk.ru

**Лопухин Алексей Алексеевич**<sup>1</sup>, нач. участка, к.т.н.

**Соломонова Наталья Алексеевна**<sup>1</sup>, рук. проектов.

**Хамидуллин Камиль Алиевич**<sup>1</sup>, нач. отдела.

**Деомидов Александр Дмитриевич**<sup>1</sup>, вед. инженер.

**Семенченко Наталья Александровна**<sup>1</sup>, инженер I кат.

<sup>1</sup> АО «НПО «Орион».

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

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет.

Россия, 119454, Москва, пр-т Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 15.08.2023

После доработки 29.08.2023

Принята к публикации 7.09.2023

© Полесский А. В., Лопухин А. А., Соломонова Н. А.,  
Хамидуллин К. А., Деомидов А. Д., Семенченко Н. А.,  
2023

рабатывается и выпускается такими компаниями как CI-Systems (Израиль) [2], NGH (Франция) [3], Inframet (Польша) [4], а исследования проводятся в национальном институте стандартов и технологий США [5]. Однако реализованные за рубежом принципы функционирования, обработки информации, сведения о метрологических параметрах не публикуются открыто. В зарубежных стандартах посвященных контролю параметров ФПУ второго поколения дано только общее описание методик измерения и описаны подходы к построению измерительного оборудования, однако детали, влияющие на результаты измерений, не раскрыты.

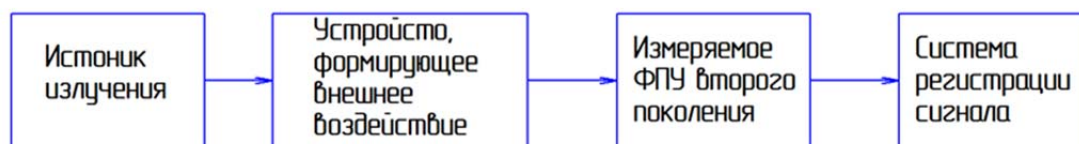
До 2014 года значительный объем ФПУ второго поколения и оборудования в Российской Федерации поставлялись из-за рубежа, и

к настоящему моменту наметился их острый дефицит в отечественной промышленности.

Поэтому задача формирования методик измерений параметров и характеристик ФПУ второго поколения является актуальной. Схемы измерения параметров и формулы для их расчета известны, однако для создания на их основе методик измерения необходимо решить вопрос с погрешностями измерения.

### Структура и взаимосвязь методик измерения ФПУ второго поколения

Структурная схема работы любого измерительного стенда/установки для контроля параметров ФПУ второго поколения приведена на рисунке 1.



*Рис. 1. Обобщенная структура измерительного оборудования для контроля параметров и характеристик ФПУ второго поколения*

В качестве источника излучения используются, как правило, абсолютно черное тело, лампа накаливания или ультрафиолетовые светодиоды. Устройство, формирующее внешнее воздействие – это спектрометр или монохроматор для измерений спектральных характеристик, специализированный объектив (оптический зонд) для измерения размера фоточувствительного элемента (ФЧЭ) и коэффициента фотоэлектрической связи (ФЭС) и т.д. Система регистрации сигнала – это специализированный блок, подающий управляющие воздействия на ФПУ (тактовую диаграмму, управляющее слово и т. д.), блок оцифровки поступающего сигнала и программное обеспечение (ПО), которое из фактически измеряемых параметров (величина сигнала (ед. АЦП) и зависимость величины сигнала (ед. АЦП) от

параметров внешних воздействий) рассчитывает все характеристики и параметры ФПУ.

Из структурной схемы работы стендового оборудования видно, что для обеспечения расчета погрешностей измерения помимо основных методик измерения, которые наиболее полно приведены в [1], [2], необходимы методики контроля вспомогательного оборудования (блоки электронной обработки (БЭО), ПО, источники излучения и т. д.). При этом для вспомогательного оборудования должны быть нормированы некоторые специфические параметры, не отраженные в нормативной документации на данное оборудование (описании типа, ГОСТ и др.).

Для обеспечения прослеживаемости измерений удобно связи между методиками отобразить в виде схемы, приведенной на рисунке 2.

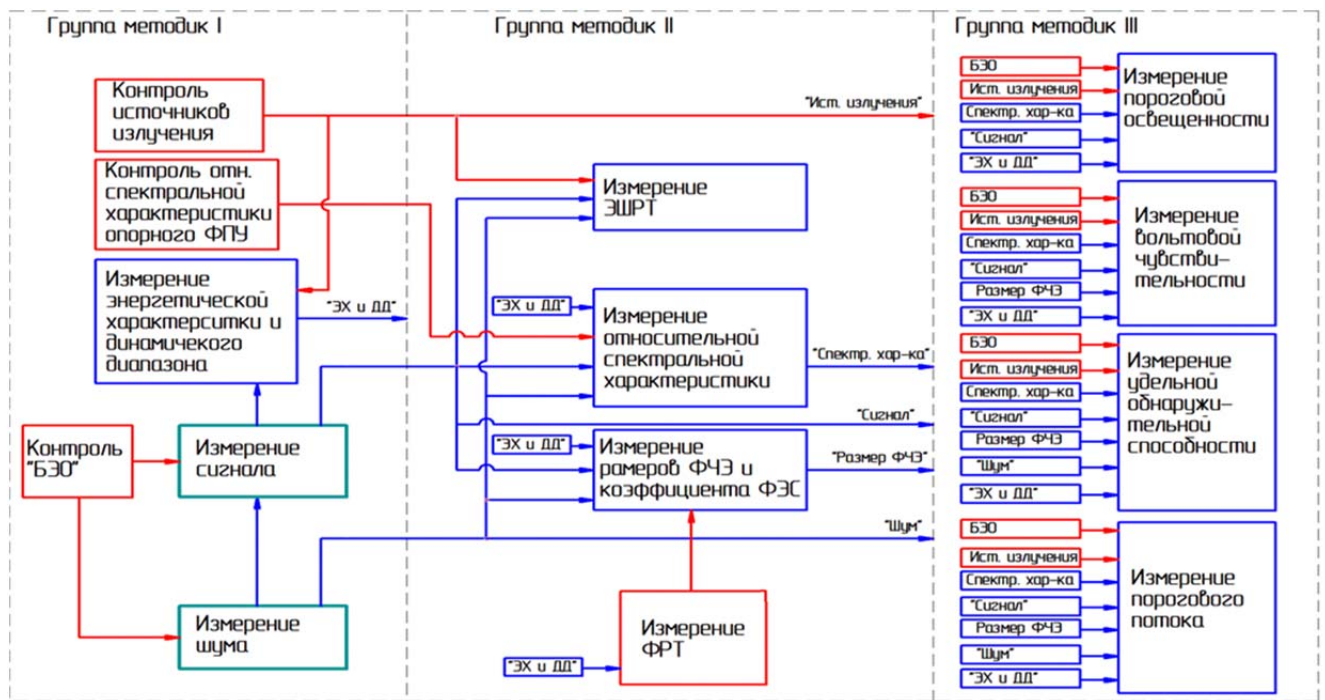


Рис. 2. Структура и взаимосвязь методик измерения ФПУ второго поколения

На рисунке 2 синим цветом показаны методики измерения параметров ФПУ второго поколения. Зеленым цветом – «базовые» методики измерения сигнала, шума именно на основании величины сигнала и шума. Красным цветом отмечены методики контроля используемого вспомогательного оборудования.

### Разделение методик измерения ФПУ

Для удобства работы и анализа погрешностей измерения методики измерения ФПУ второго поколения и контроля вспомогательного оборудования поделены на группы.

К первой группе относятся методики, используемые при выполнении всех последующих измерений, к ним относятся контроль измерительных БЭО и ПО, контроль источников излучения (ламп накаливания, светодиодов, абсолютно черных тел). Погрешности измерения, реализуемые данными методиками, должны быть минимальны, поскольку в процессе измерения ФПУ второго поколения данные измерения будут выполняться многократно, и эти погрешности будут многократно суммироваться.

Вторая группа методик – это методики измерения эквивалентной шуму разности температур (ЭШРТ), относительной спектральной характеристики, размеров фоточувствительного элемента и коэффициента фотоэлектрической связи. Так же ко вторым группам методик относятся методики расширения динамического диапазона (ДД) с высокой линейностью и измерения пятен рассеяния. Для определения погрешности измерения методик данной группы необходимо знать погрешности измерения методик первой группы.

К третьей группе методик относятся измерение пороговой освещенности, вольтовой чувствительности, порогового потока и удельной обнаружительной способности. Пороговая освещенность и динамический диапазон выделены в отдельную подгруппу, поскольку для их определения не нужно выполнять чрезвычайно сложное и трудоемкое измерения размера фоточувствительной площадки. Погрешности определения данных параметров ФПУ будут максимальными, поскольку в них входят погрешности измерения первых двух групп методик.

Предложенная система параметров ФПУ второго поколения приведена в таблице.

Таблица

## Система параметров ФПУ второго поколения

Параметр	ФПУ второго поколения		
	Одиночный ФЧЭ	Среднее значение	Разброс
Значение шума (при заданном оптическом сигнале)	да	да	да
Значение сигнала (при заданном оптическом потоке)	да	да	да
Измерение динамического диапазона по:	выходному сигналу	да	нет
	сигнальной характеристике	да	да
	энергетической характеристике	да	да
Относительная спектральная характеристика чувствительности	да	в заданной области	нет
ЭШРТ	да	да	да
Коэффициент фотоэлектрической связи	да	нет	нет
Эффективный размер фоточувствительной площадки	да	нет	нет
Пороговый поток и пороговая освещенность	да	да	да
Вольтовая чувствительность и ее разброс	да	да	да
Удельная обнаружительная способность	да	да	да

## Заключение

Приведенная организационная структура методик измерения параметров ФПУ второго поколения позволила полноценно решить задачу метрологического обеспечения, в частности, определения состояния измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах измерений (величин) и оценены их неопределенности, в т. ч. когда пределы погрешностей результатов измерений не выходят за установленные пределы.

Данная организационная структура является основой разработанного ГОСТ Р 59606-2021 «Оптика и фотоника. Устройства фотоприемные второго и последующих поколений. Методы измерений фотоэлектрических параметров и определения характеристик», который устанавливает методы измерения фотоэлектрических параметров фотоприемных

устройств второго и последующих поколений, чувствительных к излучению в ультрафиолетовом и в инфракрасном диапазоне спектра.

## ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 17772-88. Приемники излучения и устройства приемные полупроводниковые фотоэлектрические. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 65 с.
- CI Systems [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ci-systems.com/Home/> (дата обращения: 18.03.2019).
- HGH Infrared [Электронный ресурс]. URL: <https://hgh-infrared.com/> (дата обращения: 18.03.2019).
- Inframet [Электронный ресурс]. URL: <https://www.inframet.com/> (дата обращения: 18.03.2019).
- National Institute of Standards and Technology [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nist.gov> (дата обращения: 18.03.2019).

## Second generation photodetectors and photodetector devices: measurement methods

*A. V. Polesskiy<sup>1,2</sup>, A. A. Lopukhin<sup>1</sup>, N. A. Solomonova<sup>1</sup>, K. A. Khamidullin<sup>1</sup>,  
A. D. Deomidov<sup>1</sup> and N. A. Semchenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Orion R&P Association, JSC  
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia  
E-mail: av22236@bk.ru

<sup>2</sup> MIREA – Russian Technological University  
78 Vernadsky Ave., Moscow, 119454, Russia

*Received 15.08.2023; revised 29.08.2023; accepted 7.09.2023*

***This article is devoted to solving the problem of ensuring the traceability and repeatability of second-generation photodetectors' parameters measurements. There are presented an improved block diagram of measuring methods, the division into groups of second-generation FPU measurement methods and control of auxiliary equipment.***

*Keywords:* photodetector, photodetector devices, measurement methods, metrological support, errors, equipment control.

DOI: 10.51368/2307-4469-2023-11-5-416-420

### REFERENCES

1. GOST 17772-88. Semiconducting photoelectric detectors and receiving photoelectric devices. Methods of measuring photoelectric parameters and determining characteristics. - M.: USSR State Committee for Standards, 1988. - 65 p.
2. CI Systems [Website]. URL: <https://www.ci-systems.com/Home/> (date of the application: 18.03.2019).
3. HGH Infrared [Website]. URL: <https://hgh-infrared.com/> (date of the application: 18.03.2019).
4. Inframet [Website]. URL: <https://www.inframet.com/> (date of the application: 18.03.2019).
5. National Institute of Standards and Technology [Website]. URL: <https://www.nist.gov> (date of the application: 18.03.2019).