

УДК 621.56, 621.383.4
EDN: IQSEYX

PACS: 07.20.Mc, 85.60.Gz

Определение продольных и поперечных перемещений охлаждаемого пальца микрокриогенной системы© Е. П. Лобачев, Г. И. Некрасов*, Д. Д. Бабенко, Н. А. Семенченко,
А. В. Полесский, М. В. Банников, М. С. Сорокин

АО «НПО «Орион», Москва, 111538 Россия

* E-mail: gleb.nekrasov.18@mail.ru

Статья поступила в редакцию 9.06.2026; после доработки 24.06.2026; принята к публикации 06.08.2026
Шифр научной специальности: 2.2.6.

Представлены результаты исследований влияния работы интегральной криогенной системы на охлаждаемые ИК-фотоприемные устройства. Показано, что продольные перемещения находятся ниже порога точности измерений, тогда как поперечные зависят от скорости вращения ротора и лежат в диапазоне 4,3–11,9 мкм, что необходимо учитывать при разработке алгоритмов компенсации смещения изображения в процессе эксплуатации МФПУ.

Ключевые слова: газовая криогенная машина, цикл Стирлинга, микрокриогенная система, температура криостатирования.

DOI: 10.51368/1996-0948-2026-4-103-107

Введение

При работе охлаждаемых матричных фотоприемных устройств (далее – МФПУ) важно чтобы влияние от продольных и поперечных перемещений системы охлаждения на изображение было минимально. При этом нет значений напрямую регламентирующих данную величину в нормативных документах в действующих стандартах РФ и СНГ [1].

В западных стандартах также не предусматриваются конкретные значения линейного перемещения, а проводятся испытания устройства в условиях, имитирующих реальную эксплуатацию. Подтверждение работоспособность МФПУ проводится измерением основных фотоэлектрических параметров (ЭШРТ, вольтовая чувствительность, дефектность),

среди которых нет контроля перемещения матрицы [2].

В научной литературе есть работы по определению линейного перемещения МФЧЭ при работе криосистем, в частности – в работах [3, 4]. Описаны методики измерения ориентации матрицы фоточувствительных элементов МФПУ, контроля продольных и поперечных перемещений охлаждаемого пальца микрокриогенной системы (далее – МКС), наклона охлаждаемого пальца МКС.

Метод исследования

Схема установки для измерения линейных перемещений плоскости раstra перемещений приведена на рисунке 1.

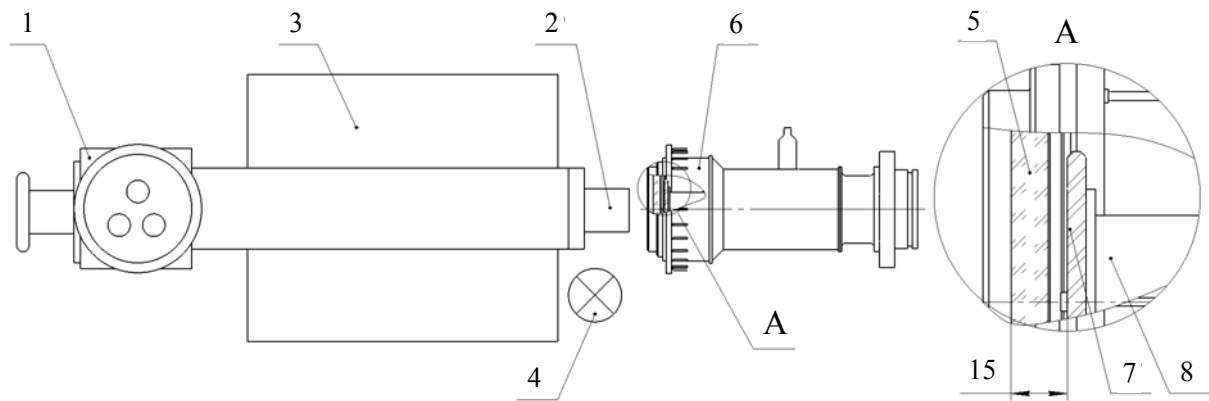


Рис. 1. Схема контроля перемещений фоточувствительного элемента с помощью микроскопа:
 1 – окуляр, 2 – микрообъектив, 3 – рейтер микроскопа, 4 – источник света, 5 – входное окно,
 6 – вакуумный криостатируемый корпус, 7 – растр, 8 – охлаждаемый палец МКС

Установка устроена следующим образом: перед объективом микроскопа (2) установлен исследуемый вакуумный криостатируемый корпус (6), интегрированный с МКС модели Крио 2000. Используемый объектив имеет числовую апертуру $A = 0,64$, рабочее расстояние 8 мм. В работе [3] упоминался интерес к проведению испытаний с входным окном, выполненным из лейкосапфира, для увеличения точности измерений. Для исследования линейных перемещений был изготовлен вакуумный криостатируемый корпус с лейкосапфировым входным окном. Расстояние между наружным торцом входного окна и плоскостью установки МФЧЭ на растре равно 3 мм, как показано на рисунке 2. Фиксация линейных перемещений осуществлялась по золотым дорожкам, нанесенными на растр. В качестве ориентира для определения максимальной амплитуды перемещения плоскости установки МФЧЭ на растре был выбран угол золотой дорожки.

В случае контроля смещения положения плоскости установки МФЧЭ на растре точность измерения определяется чувствительностью поперечной и продольной наводок, причем чувствительность поперечной наводки определяет точность измерения в поперечном к оптической оси направлении, а продольной – вдоль оптической оси [4].

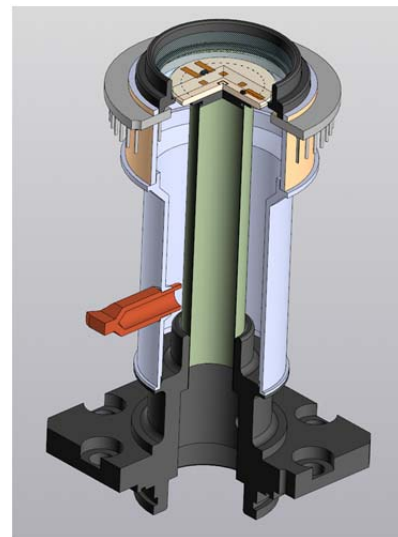


Рис. 2. Трехмерная модель вакуумного криостатируемого корпуса

Чувствительность поперечной наводки определяется формулой:

$$T = \frac{1}{6} \cdot \varepsilon_p, \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_p = \frac{\lambda}{2A}$$

где ε_p – линейный предел разрешения прибора, λ – длина волны, A – числовая апертура.

Чувствительность продольной наводки определяется следующим выражением:

$$\Delta z = \frac{0,2}{A^2}, \text{ мкм.}$$

При контроле в видимом диапазоне предельная точность измерений с использованием выбранного микрообъектива составляет 0,06 мкм для измерений в направлении, перпендикулярном оптической оси и 0,39 мкм – вдоль оптической оси. Любое перемещение, вызванное различными причинами, будет визуально не заметно, если оно меньше этих величин.

Результаты измерения

На рисунке 3 показана золотая дорожка шириной 350 мкм в состоянии покоя. При включении МКС наблюдается дрожание плоскости установки матрицы ФЧЭ, причем в за-

висимости от скорости вращения ротора МКС величина перемещений различна. На рисунках 4а и 4б показаны крайние положения, описывающие амплитуду перемещений.

На рисунке 5 показана полученная экспериментальная зависимость поперечных перемещений плоскости установки матрицы ФЧЭ для всего диапазона частот вращения стационарного режима, используемого в МФПУ различных исполнений. Значения по оси ординат соответствуют средне-квадратичному отклонению контролируемой точки по двум направлениям. Минимальная амплитуда перемещений, равная 4,3 мкм, была зафиксирована на скорости вращения 20 Гц, а максимальная, равная 11,9 мкм – на 33,3 Гц.

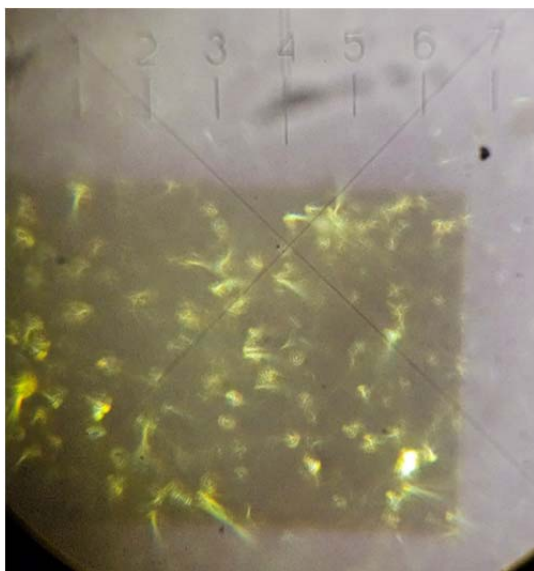
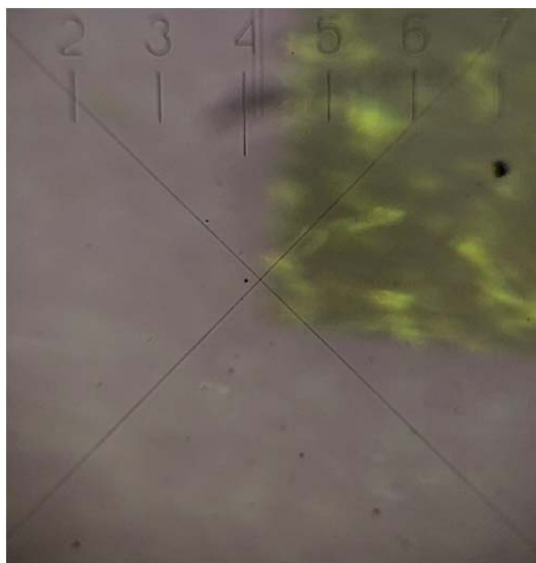
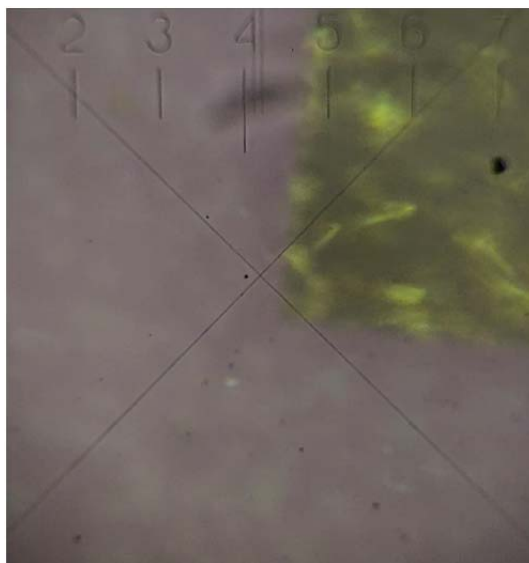


Рис. 3. Золотая дорожка на растре



а)



б)

Рис. 4. Перемещение плоскости матрицы ФЧЭ, установленной на растр: а) – крайнее левое положение, б) – крайнее правое положение

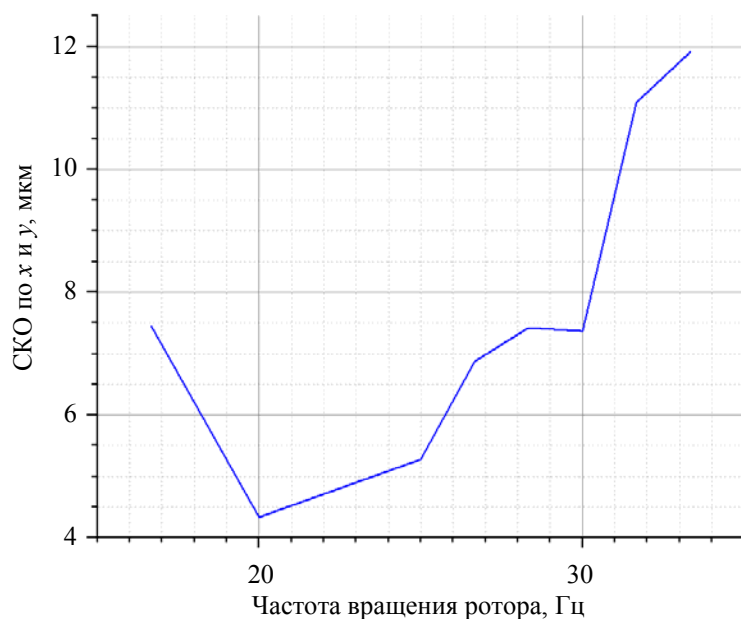


Рис. 5. Перемещение плоскости матрицы ФЧЭ с разными частотами вращения ротора МКС

Перемещения вдоль оптической оси при работе МКС визуально не наблюдались, то есть максимальная амплитуда – менее 0,39 мкм.

Как видно из графика холодопроизводительности на рисунке 6 с увеличением частоты вращения ротора МКС повышается холодопроизводительность. С увеличением

степени износа уменьшается КПД одного цикла МКС, и тем самым МКС для поддержания температуры криостатирования МФПУ будет увеличивать обороты, а это означает, что по мере увеличения наработки МКС в эксплуатации величина перемещения будет увеличиваться.

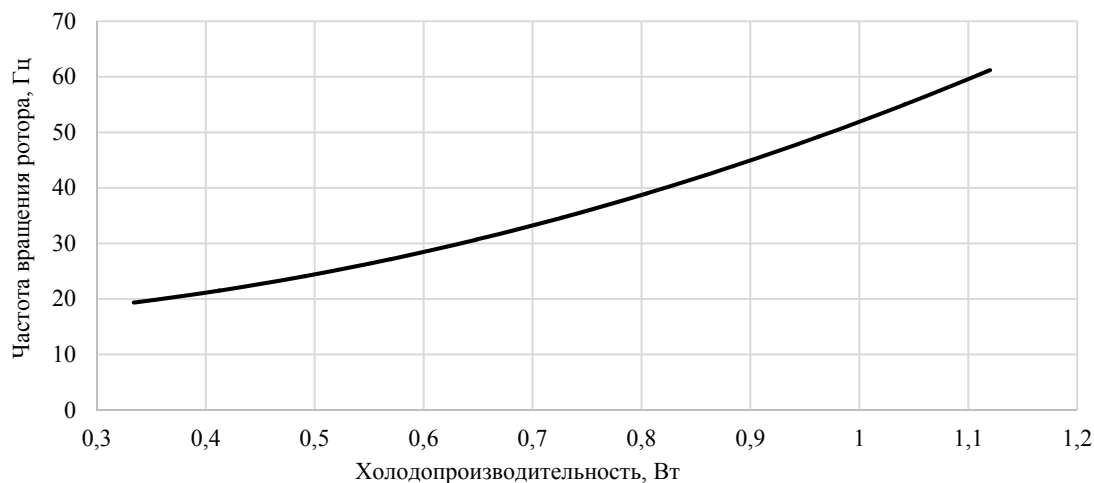


Рис. 6. График холодопроизводительности опытной МКС

Закключение

В ходе исследования линейных перемещений плоскости установки МФЧЭ при работе опытных образцов МКС производства АО «НПО «Орион» было обнаружено, что величина продольных перемещений меньше точности измерения, а величина поперечных за-

висит от скорости вращения ротора. В зависимости от режима работы МКС величина перемещений изменяется от 4,3 мкм до 11,9 мкм. Поэтому при создании алгоритмов компенсации смещения для охлаждаемых МФПУ требуется закладывать увеличение амплитуды перемещений с увеличением наработки МКС в эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 59606-2021 Оптика и фотоника. Устройства фотоприёмные второго и последующих поколений. Методы измерений фотоэлектрических параметров и определения характеристик.
2. MIL-STD-810F
3. Еремчук А. И., Полесский А. В., Самвелов А. В., Сысоев Д. А., Хамидуллин К. А. / Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 2. С. 220–223.
4. Полесский А. В., Самвелов А. В., Семенченко Н. А., Смирнова Е. А., Хамидуллин К. А. / Прикладная физика. 2014. № 1. С. 83–87.

PACS: 07.20.Mc, 85.60.Gz

Determining of the longitudinal and transverse displacements of a coldfinger in a cryocooler manufactured

E. P. Lobachev, G. I. Nekrasov*, D. D. Babenko, N. A. Semenchenko,
A. V. Polesskii, M. V. Bannikov, and M. S. Sorokin

RD&P Center ORION, JSC, Moscow, 111538 Russia

*E-mail: gleb.nekrasov.18@mail.ru

Received 9.06.2026; revised 24.06.2026; accepted 06.08.2026

The results of a study examining the impact of an integrated cryogenic system on cooled IR photodetectors are presented. It is shown that longitudinal displacements are below the measurement accuracy threshold, while transverse displacements depend on the rotor speed and range from 4.3 to 11.9 μm . This must be taken into account when developing algorithms for compensating for image shift during operation of the photodetector.

Keywords: gas cryogenic machine, cryocooler, Stirling's cycle, microcryogenic machine, cold tip temperature.

REFERENCES

1. GOST R 59606-2021 Optics and photonics. Photodetector devices of second and next-generations. Methods for photoelectric parameters measuring and determination of characteristics
2. MIL-STD-810F
3. Eremchuk A. I., Polessky A. V., Samvelov A. V., Sysojev D. A., and Hamidullin K. A., Usp. Prikl. Fiz. (Advances in Applied Physics) **1** (2), 220–223 (2013) [in Russian].
4. Polesskii A. V., Samvelov A. V., Semenchenko N. A., Smirnova E. A., and Khamidullin K. A., Applied Physics, № 1, 83–87 (2014) [in Russian].

Об авторах

Лобачев Егор Петрович, инженер 2 категории отдела вакуумных конструкций и криосистем, АО «НПО «Орион» (111538, Россия, Москва, ул. Косинская, 9). E-mail: egorloba@bk.ru

Некрасов Глеб Игоревич, к.т.н., старший научный сотрудник отдела вакуумных конструкций и криосистем, АО «НПО «Орион» (111538, Россия, Москва, ул. Косинская, 9). E-mail: gleb.nekrasov.18@mail.ru SPIN-код: 6957-1320, AuthorID: 976504

Бабенко Дмитрий Дмитриевич, к.т.н., старший научный сотрудник отдела вакуумных конструкций и криосистем, АО «НПО «Орион» (111538, Россия, Москва, ул. Косинская, 9). E-mail: rainbowdm1802@gmail.com SPIN-код: 9634-1880, AuthorID: 1172254

Семенченко Наталья Александровна, начальник отдела, АО «НПО «Орион» (111538, Россия, Москва, ул. Косинская, 9). E-mail: nafara@mail.ru SPIN-код: 8094-5126, AuthorID: 775858

Полесский Алексей Викторович, д.т.н., директор по НИОКР, АО «НПО «Орион» (111538, Россия, Москва, ул. Косинская, 9). E-mail: polesskiyav@orion-ir.ru SPIN-код: 3992-4520, AuthorID: 571156

Банников Максим Викторович, и.о. начальника отдела вакуумных конструкций и криосистем, заместитель начальника НТЦ МФЭ, АО «НПО «Орион» (111538, Россия, Москва, ул. Косинская, 9). E-mail: maxnutnet@yandex.ru

Сорокин Михаил Сергеевич, техник 2 кат., АО «НПО «Орион» (111538, Россия, Москва, ул. Косинская, 9).