

УДК 53.084

## РАЗРАБОТКА НОВОЙ МОДИФИКАЦИИ АНЕРОИДНОГО БАРОДАТЧИКА ДЛЯ РАДИОЗОНДА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ, ИЗУЧЕНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

А. Н. Квашнин

*В статье рассматривается конструкция модернизированного бародатчика с анероидной барокоробкой. Приводятся результаты испытаний этого бародатчика на стабильность данных градуировки во времени и при температурах ниже нуля. Обсуждаются также результаты испытаний работы бародатчика в составе радиозондов при их полётах в стратосфере для измерения космических лучей (к. л.).*

**Ключевые слова:** бародатчик, радиозонд, космические лучи, полёты, стратосфера.

*Введение.* С 1957 года на Долгопрудненской научной станции (ДНС) ФИАН проводятся регулярные измерения космических лучей в стратосфере [1, 2]. Измерения проводятся с помощью радиозондов, разработанных на Долгопрудненской научной станции [3–5]. Для регистрации высоты подъёма радиозонда до начала двухтысячных годов использовался механический бародатчик с анероидной барокоробкой заводского изготовления. Но завод закончил выпуск этих бародатчиков и в лаборатории, собственными силами, был разработан и изготовлен аналогичный бародатчик, но более простой по конструкции, с барокоробкой из бронзы марки БрБ<sub>2</sub>-0.13. В последнее время появились претензии к его работе и было решено обновить конструкцию бародатчика, а также изучить его характеристики. В новой конструкции изменена подвеска оси и, для облегчения настройки, увеличена длина стрелки на 30%. Эта работа проводилась в течение 1.5 лет в 2022 и 2023 годах.

*Конструкция бародатчика и его испытания.* Основные элементы обновлённого бародатчика – анероидная коробка, стрелка на осевой подвеске и шкала контактов, по которой движется конец стрелки и замыкает контакты. Все элементы размещаются на небольшой текстолитовой пластине. Стрелка укреплена на латунной оси, концы которой вставляются в углубления на торцах двух болтов, вкрученных навстречу друг другу

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: kvashnin37@list.ru.

в концы дюралевой прямоугольной скобы. Ось проходит через отверстия в стрелке и жёстко связана с ней при помощи пайки. Расширение барокоробки с изменением давления при подъёме в стратосферу передаётся на стрелку с помощью флажка, укреплённого на барокоробке. В начальном положении стрелка удерживается возвратной пружиной, вторая пружинка прижимает стрелку к контактной шкале. Конец стрелки, при изменении давления, движется по контактной шкале, на которой на заданных расстояниях друг от друга нанесены 7 контактных полосок. Конец стрелки, двигаясь по шкале и входя на полоску, замыкает контакт. При этом во входной цепи расширителя импульсов радиозонда к существующей ёмкости подсоединяется дополнительная ёмкость, и ширина импульсов, поступающих на передатчик, меняется с 900 мкс на 1300 мкс. Когда стрелка сходит с полоски контакт исчезает, дополнительная ёмкость отсоединяется, а импульсы становятся прежними (900 мкс). Конструкцию бародатчика можно видеть на фотографии рис. 1.

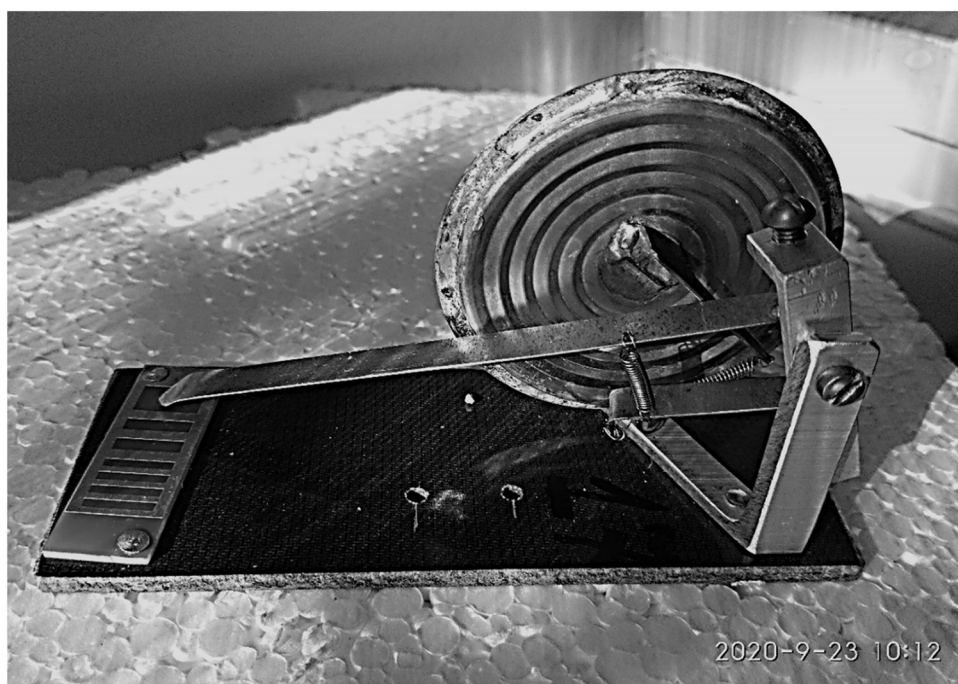


Рис. 1: Бародатчик, новая модификация, общий вид.

Бародатчик перед запуском радиозонда предварительно градуируется в барокамере. В результате градуировки получается 14 точек значений давления в моменты замыкания и размыкания контактов. Регистрируя во время приёма сигналов радиозонда на наземном приёмном пункте время моментов изменения ширины импульсов, мы можем

восстановить высотный ход радиозонда и построить график зависимости высоты радиозонда (давления) от времени. Количество импульсов радиозонда регистрируется за каждую минуту. Время регистрации записывается. Построив по полученным данным график зависимости высоты радиозонда от времени, мы можем определить давление для каждой минуты и построить кривую высотного хода потока космических лучей.

Поднимаясь в стратосферу, радиозонд проходит через области достаточно низких температур, поэтому важно знать как при этом меняются его характеристики и насколько. Поэтому разработанная конструкция бародатчика была подвергнута испытаниям на изменение калибровочных данных при работе при минусовых температурах. Так как во время изготовления детали бародатчика подвергаются механическому и температурному воздействию, требуется время для снятия появившейся остаточной деформации, возникшей в металле элементов его конструкции. Для выяснения длительности этого процесса было изготовлено десять экземпляров бародатчиков и проводилась их градуировка в барокамере с произвольными промежутками времени в течение 220 дней. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Изменение результатов градуировки бародатчиков со временем  
после их изготовления*

| № бародатч. | Дата изготовления | Дата 1-й градуировки | Время установления до стабильности после 1-й градуировки, сутки |
|-------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 10          | Июнь 2022 г.      | 06.10.2022 г.        | 40                                                              |
| 12          | Июнь 2022 г.      | 06.10.2022 г.        | 50                                                              |
| 13          | Июнь 2022 г.      | 06.10.2022 г.        | 45                                                              |
| 14          | Август 2022 г.    | 06.10.2022 г.        | 100                                                             |
| 15          | Август 2022 г.    | 06.10.2022 г.        | 107                                                             |
| 16          | Август 2022 г.    | 06.10.2022 г.        | 100                                                             |
| 17          | Август 2022 г.    | 06.10.2022 г.        | 110                                                             |
| 18          | Август 2022 г.    | 06.10.2022 г.        | 109                                                             |
| 19          | Август 2022 г.    | 06.10.2022 г.        | 100                                                             |
| 20          | Август 2022 г.    | 06.10.2022 г.        | 106                                                             |

В последнем столбце табл. 1 приведена длительность восстановления бародатчика до стабильного состояния после первой градуировки. Разброс по величине этой длитель-

ности обусловлен, в основном, разными датами изготовления бародатчиков. Суммируя это время и время от даты изготовления до первой градуировки, получаем, что восстановление стабильного состояния бародатчика происходит примерно через 5–6 месяцев после его изготовления. Поэтому бародатчики, подлежащие выпуску в стратосферу не сразу после градуировки (хранение), следует градуировать через 5–6 месяцев после изготовления. Если использовать их раньше этого срока, то градуировать следует непосредственно перед выпуском радиозонда.

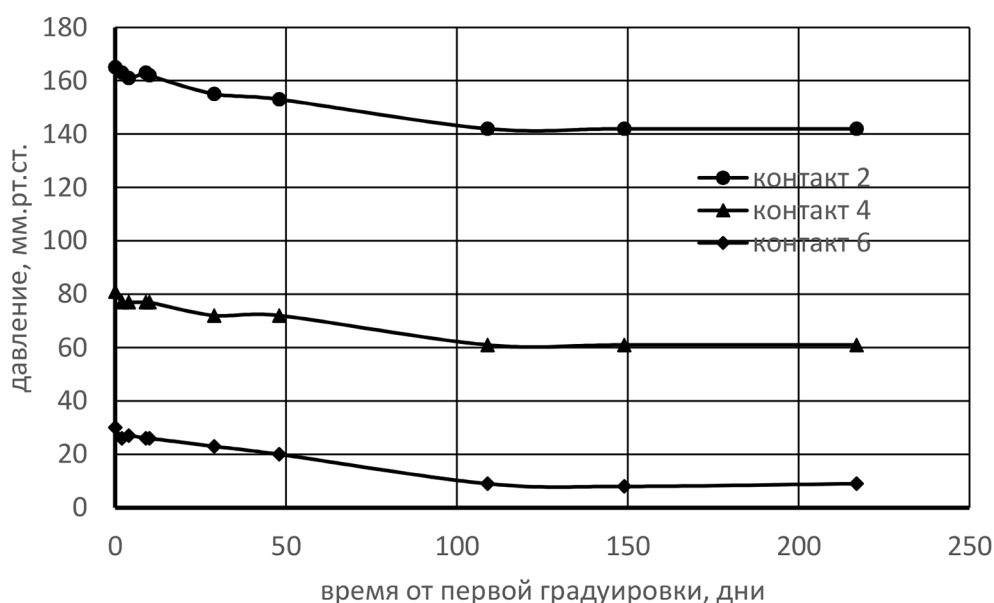


Рис. 2: Результаты градуировки бародатчика № 17 в течение 220 дней.

На рис. 2, в качестве примера, приведен график данных градуировки бародатчика № 17 в зависимости от времени.

По горизонтальной оси отложено время в сутках, считая от первой градуировки, по вертикальной оси отложено давление на трёх контактах бародатчика, 2, 4 и 6, в момент схода стрелки с контакта. Из рис. 2 видно, что после 110 дней результаты градуировки становятся стабильными.

Для того чтобы понять, как влияет изменение градуировки на экспериментальные данные, на рис. 3 приведены данные измерения космических лучей радиозондом с бародатчиком № 17 при полёте в стратосферу. Данные были обработаны с использованием результатов градуировки бародатчика через месяц после его изготовления и результатов градуировки за день до полёта. Видим, что высотная кривая счёта импульсов при обработке данных эксперимента с данными градуировки в первом случае и с данными

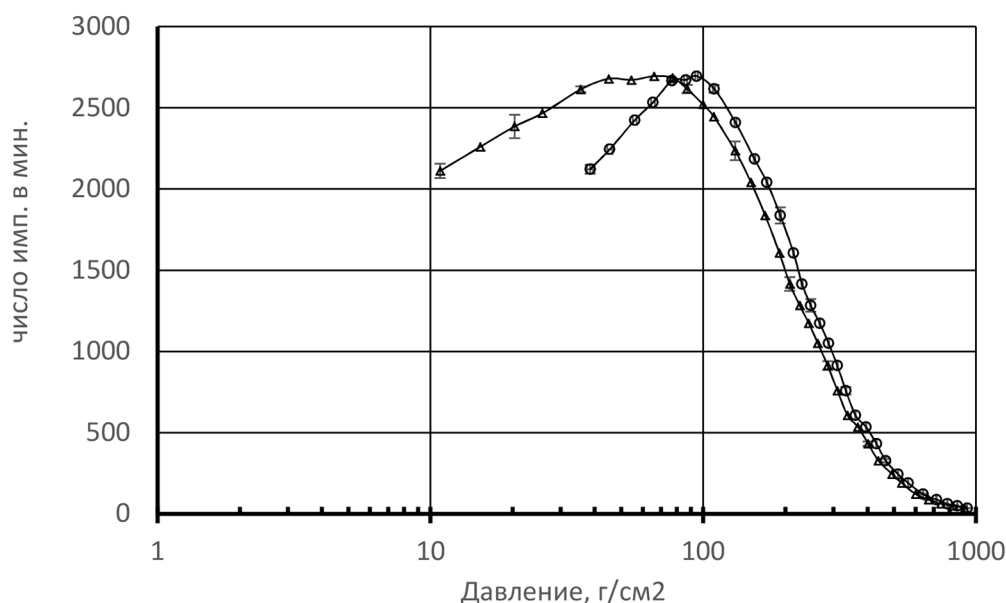


Рис. 3: Влияние изменения данных градуировки на экспериментальные данные. Треугольниками обозначены результаты обработки измерений с данными градуировки через полтора месяца после изготовления бародатчика. Кружочками – с данными градуировки за день до измерений.

градуировки во втором случае сильно различаются. Что подтверждает вывод о том, что градуировку следует проводить либо через 5–6 месяцев после изготовления (см. табл. 1), либо, если не выдерживать это время, то градуировать непосредственно перед запуском радиозонда.

Так как температура внутри радиозонда может понижаться до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , необходимо было выяснить как бародатчик реагирует на отрицательные температуры. Для этого он помещался внутрь пенопластовой коробки с сухим льдом. Температура в коробке измерялась при помощи спиртового термометра, конец которого, через отверстие в пенопластовой коробке, размещался в области нахождения барокоробки. Это устройство помещалось в барокамеру и проводилась градуировка. Также проводилась градуировка при комнатной температуре до заморозки и после заморозки. Определялась разница данных градуировки при комнатной и минусовой температурах. Так как в полёте в стратосферу температура не опускается ниже  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , охлаждение бародатчика проводилось только до  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В эксперименте по проверке реагирования на минусовые температуры использовалось несколько бародатчиков. Результаты испытаний двух из них приведены на рис. 4.

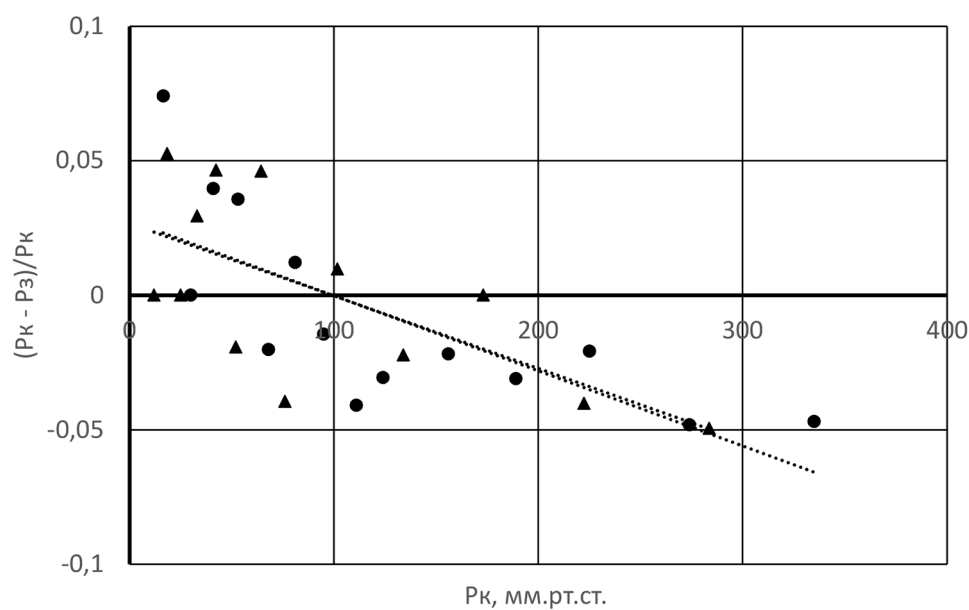


Рис. 4: Температурное изменение показаний бародатчика при охлаждении до  $-24^{\circ}\text{C}$  –  $-32^{\circ}\text{C}$  ( $P_z$ ) относительно показаний при комнатной температуре ( $P_k$ ); кружки – бародатчик № 7, треугольники – бародатчик № 2.

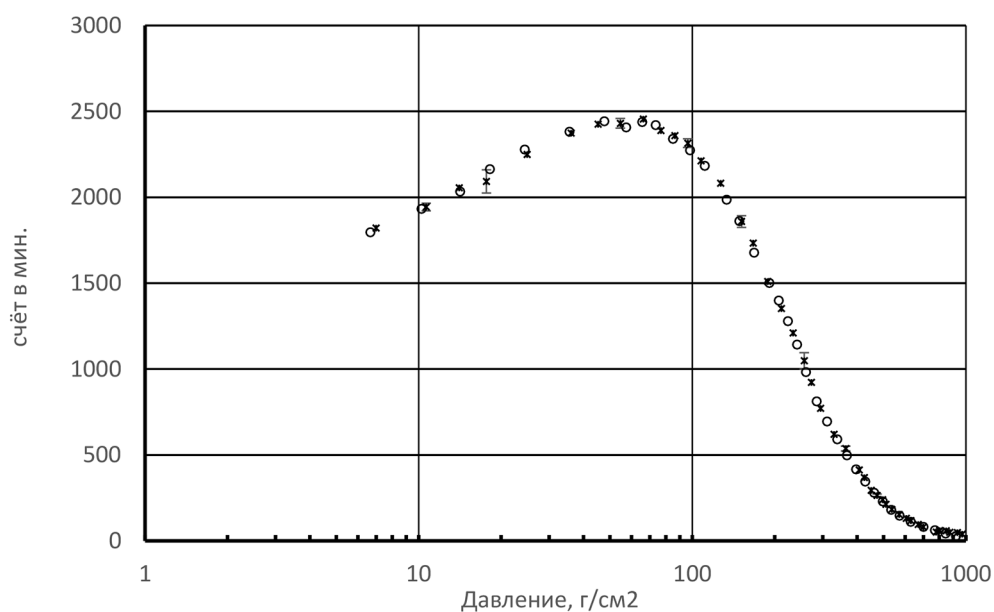


Рис. 5: Сравнение высотных кривых в полётах 1979 г. и 2023 г.

По горизонтальной оси отложены величины давления при входе и сходе стрелки бародатчика с контактов во время градуировки при комнатной температуре ( $P_k$ ). По

вертикальной оси отложена разность показаний бародатчика на 7 контактах, при входе и сходе с контакта, во время градуировки при комнатной температуре ( $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и давлений ( $P_3$ ) при минусовой температуре, отнесённая к показаниям бародатчика на тех же контактах при комнатной температуре. На рис. 5 по точкам для каждого бародатчика проведены линии тренда. Видим хорошее совпадение этих линий, что говорит об идентичности реагирования бародатчиков на низкие температуры. Изменение результатов градуировки при изменении температуры в данном диапазоне (от  $-24$  до  $-32$ )  $^{\circ}\text{C}$  составляет не более 5 процентов, что допустимо в данном эксперименте.

Для проверки правильности работы бародатчика новой модификации было проведено сравнение высотных кривых, полученных с данным бародатчиком и с заводским бародатчиком. Результаты приведены на рис. 5.

Для сравнения были взяты измерения к. л. в стратосфере в декабре 1979 года и в августе 2023 года. Выбирались высотные кривые с одинаковым счётом в максимуме интенсивности. На рис. 5 видно хорошее совпадение кривых по всем высотам (в пределах ошибок), что говорит о корректной работе разработанного нами бародатчика.

*Выводы.* Разработанный бародатчик удовлетворяет условиям эксперимента и может использоваться в схеме радиозонда для измерения интенсивности космических лучей в стратосфере при соблюдении условий градуировки, указанных выше.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Ю. И. Стожков, В. С. Махмутов, Н. С. Свиржевский, Успехи Физических Наук **192**(9), 1054 (2022). DOI: 10.3367/UFNe.2021.06.039215.
- [2] G. A. Bazilevskaya, A. K. Svirzhetskaya, Space Science Reviews **85**(3-4), 431 (1998). DOI: 10.1023/A:1005029832052.
- [3] П. Н. Агешин, А. Н. Чарахчян, Геомагнетизм и аэрономия **6**(3), 617 (1966).
- [4] А. К. Свиржевская, Ю. И. Стожков, Труды Всесоюзной конференции по физике космических лучей, Ташкент, ч. 2, вып. 3, стр. 63-66 (1969).
- [5] Ю. И. Стожков, Модуляция космических лучей солнечной активностью и общим магнитным полем Солнца, диссертация на соискание учёной степени доктора физ.-мат. наук, 1970, стр. 17-18.

Поступила в редакцию 4 февраля 2025 г.

После доработки 25 апреля 2025 г.

Принята к публикации 28 апреля 2025 г.